



NORTH-WEST UNIVERSITY
YUNIBESITHI YA BOKONE-BOPHIRIMA
NOORDWES-UNIVERSITEIT
POTCHEFSTROOMKAMPUS

WETENSKAPLIKE BYDRAES
REEKS H: INTREEREDE NR. 219

DIE ROL VAN ANALITIESE CHEMIE IN

NATUURWETENSKAPLIKE NAVORSING

Prof J.Ldu Preez

Intreerede gehou op 5 Oktober 2007

Die Universiteit is nie vir menings in die publikasie aanspreeklik nie.

Navrae in verband met *Wetenskaplike Bydraes* moet gerig word aan:

Die Kampusregistrateur
Noordwes-Universiteit
Potchefstroomkampus
Privaatsak X6001
POTCHEFSTROOM
2520

Kopiereg © 2008 NWU

ISBN 978-1-86822-557-6

DIE ROL VAN ANALITIESE CHEMIE IN NATUURWETENSKAPLIKE NAVORSING

Intreerede
Prof JL du Preez
5 Oktober 2007

Dit is 'n onderwerp wat my baie na aan die hart lê, en dit is ook nie net tot die navorsing beperk nie, maar raak alle aspekte van die alledaagse lewe.

Ek wil graag 'n kort historiese oorsig gee van die ontwikkeling van analitiese chemie uit die natuurwetenskappe. Daarna wil ek die huidige stand van analitiese chemie in die natuurwetenskap toelig.

Ek gaan nie oor al die beskikbare tegnieke praat nie, want dit sal te lank neem.

Wat is analitiese chemie?

Philip J Elving van PennState college gee die volgende definisie:

Analitiese chemie sluit al die tegnieke en metodes in vir die verkryging van inligting oor die samestelling, identiteit, en suiwerheid van materie in terme van die tipe, hoeveelheid en groeperings van atome en molekules, sowel as die bepaling van die fisiese eienskappe en gedrag daarvan.

Uit hierdie definisie is dit duidelik dat dit 'n baie wye gebied is wat waarneming van alle fisiese en chemiese eienskappe van materie insluit asook die gedrag, of reaksies daarvan.

Leonardo da Vinci (15 April 1452 – 2 Mei 1519)

was 'n wiskundige, ingenieur, uitvinder, medikus, skilder, beeldhouer, musikant en skrywer



Galileo Galilei (15 Feb 1564 - 8 Jan 1642) was 'n fisikus, wiskundige, sterrekundige, en filosoof.



Die' veelsydige mense het 'n belangrike rol in die ontwikkeling van die wetenskap in die breë gespeel.

In later eeue het mense meer begin spesialiseer - oor die werk meer geword het, of die mense dommer en luier was, moet u self besluit.

Van die laat 1600's was daar mense soos Robert Boyle, Becher en Stahl wat hoofsaaklik in chemie geëksperimenteer het.



Meeste van die werk was proefondervindelik van aard - hulle het maar eksperimente gedoen en dan die resultate genoteer, en sodoende agter gekom wat gebeur as sekere bestanddele gemeng word. Die werk het hoofsaaklik gegaan oor die reaksie van metale, sure en gasse.

Daarbenewens het mense soos Paracelsus die geneeskunde bestudeer. Die astrologie en magiese (towersy) het egter nog steeds 'n groot rol in die geneeskunde gespeel, en is aangevul met medisinale plante en minerale waarvan die werkingsmeganismes nog onbekend was. Paracelsus was een van die eerste mense wat geglo het dat siektes veroorsaak word deur aanvalle van iets buite die liggaam.

Antoine Lavoisier (1743-1794) staan bekend as die vader van moderne chemie.



Hy het die eerste weergawe van die wet op massabehoud gepostuleer. Hy het kwantitatiewe chemiese eksperimente uitgevoer waar alle bestanddele akkuraat afgeweg is, en kon bewys dat die produkte wat vorm na 'n chemiese reaksie steeds dieselfde weeg as voor die eksperiment ten spyte daarvan dat dit heeltemal van samestelling verander het.

Sy werk oor verbranding het getoon dat verbranding die kombinasie van 'n bestanddeel met suurstof is. Lavoisier, Berthollet en ander Franse wetenskaplikes het 'n stelsel van chemiese nomenklatuur ontwikkel wat chemici van verskillende agtergronde instaat gestel het om beter te kommunikeer. Van hierdie name word vandag nog gebruik, soos sulfaat, sulfiet en swawelsuur.

Teen die einde van die 18e eeu was gravimetrie in algemene gebruik. Gravimetrie is die meting van die massa van 'n stof om die hoeveelheid te bepaal, bv. silwer word omgeskakel na silwer chloried in oplossing, gepresipiteer,

en die massa silwer chloried word geweeg na droging en gee dan die hoeveelheid silwer in die erts. Meeste wetenskaplikes van die tyd het geglo bestanddele kombineer in sekere vaste verhoudings, maar hulle het nog nie geweet hoekom nie.

John Dalton publiseer in 1808 'n boek genaamd "New system of Chemical Philosophy" waarin hy die teorie van massabehoud verder uitbrei en postuleer dat bestanddele bestaan uit 'n definitiewe verhouding van verskillende elemente, en dat dit slegs in meervuldige proporsies van die verhouding kan voorkom.



In 1811 publiseer Amedeo Avogadro 'n artikel in "Journal de Physique" waarin hy 'n duidelike onderskeid tref tussen molekules en atome. Hy formuleer ook die hipotese:

"Gelyke volumes van gasse by dieselfde temperatuur en druk bevat dieselfde aantal molekules" wat vandag bekend staan as die wet van Avogadro.

Dit het egter in sy tyd nie veel indruk gemaak nie.

Die belangrikheid van Avogadro se werk is eers 50 jaar later erken toe Cannizzaro 'n voordrag by die Karlsruhe kongres van 1860 gehou het waarin hy aangedui het hoe om die molekulêre massa en atoommassa van elemente te bepaal en die twee van mekaar te onderskei met die beginsel.

Dit is eers na hierdie ontwikkelings wat Chemie op 'n goeie wetenskaplike grondslag geplaas is.



Die ontwikkeling van die staalnywerheid was in die tyd 'n belangrike dryfveer en baie navorsing is gedoen ten einde die ontginning van erts, en die maak van staal te verbeter. Dit is logies dat die prosesse slegs geëvalueer kan word deur kwantitatiewe analise. Mens moet weet wat die opbrengs van die nuwe prosesse is, en watter onsuiverhede voorkom alvorens mens kan besluit of die 'Nuwe' prosesse 'n verbetering is. In-prosesse beheer is ook baie belangrik, en moet vinnig en akkuraat wees.

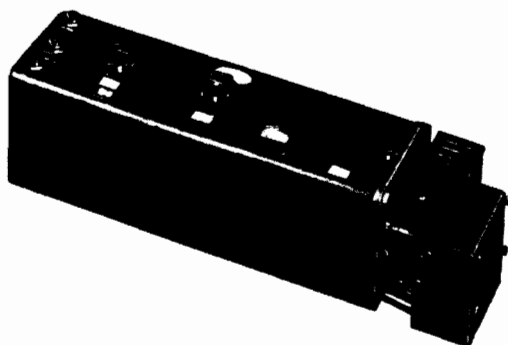
Analitiese chemie begin in die tyd ontwikkel as 'n aparte dissipline van chemie. Karl Fresenius, 'n leerling apteker in Frankfurt, begin werk in 'n privaat analitiese laboratorium van Carl Marquart, sy Farmasie professor.



In 1848 begin hy sy eie laboratorium waar hy studente oplei en werk vir die Industrie doen. Emil Erlenmeyer was sy assistent. Hierdie besigheid het gegroei tot vandag se wêreldbekende **Fresenius Institute** met 48 laboratoria in Duitsland wat betrokke is by analyses op elke denkbare terrein. Fresenius het ook in 1862 die eerste analitiese chemie joernaal begin, nl. "*Zeitschrift Für Analytische Chemie*"

Baie navorsing is gedoen op die verfyning van gravimetriese en titrimetriese metodes, en die' tegnieke bly die belangrikste metodes tot 1930. Elektrochemie het intussen ontwikkel, en van 1930 - 1950 was potensiometrie, polarografie en ioon selektiewe elektrodes die belangrikste metodes. Hierdie tegnieke word steeds vandag gebruik, maar minder as 5% van die analitiese publikasies handel hieroor.

Ten spyte daarvan dat lig al van voor Christus bestudeer word, en daar 'n magdom kennis oor lig was, is die eerste werkbare **spektrofotometer** eers in 1940 bemark.



Dit is te wyte aan die gebrek aan 'n fotosensitiewe detektor, wat toe eers ontwikkel is. Spektrofotometrie meet die hoeveelheid lig wat by sekere golflengtes deur 'n bestanddeel geabsorbeer word. Die absorpsie spektrum is karakteristiek vir die soort verbinding. Die eerste modelle het van glas prismas en tungsten motor gloeilampe gebruik gemaak, en was net in die sigbare gebied bruikbaar. Tydens die tweede Wêreldoorlog het die Beckman maatskappy spesiale toestemming van die Amerikaanse regering verkry om hoë gehalte kwarts kristalle van Brasilië af in te voer vir 'n verbeterde model wat ook in die UV gebied kon werk.

Die motivering was die kwaliteitsbeheer van voedselprodukte vir soldate in die oorlog, om te verseker dat die soldate gesond bly!

NIGHT SIGHT
can mean **LIFE or DEATH**

EAT carrots and leafy
green or yellow vegetables
... rich in Vitamin "A"
essential for night sight.

SAV

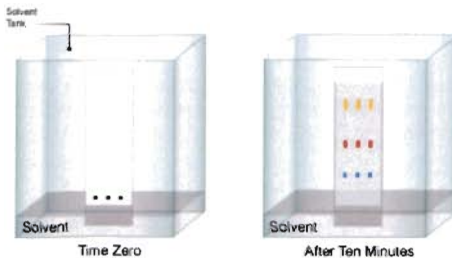
Spektrofotometrie is vandag nog in algemene gebruik en het baie gesofistikeerd geraak weens die toepassing van wiskundige integrasies en algoritmes om data te verwerk. **Diagnostiese apparaat** wat deur patoloë gebruik word vir vinnige bloedchemie bepalinge, berus op 'n kombinasie van chemiese reaksies en spektrofotometrie. Hierdie instrumente kan 71 verskillende toetse op bloed doen, en het 'n deurset van tot 900 monsters per uur!



Chromatografie is reeds in 1901 deur die plantkundige, **Michail Tswett** ontdek toe hy 'n plantekstrak deur 'n kalsium karbonaat kolom gespoel het met mengsels van petroluum eter en etanol. en gesien het verskillende gekleurde bande loop deur die kolom.

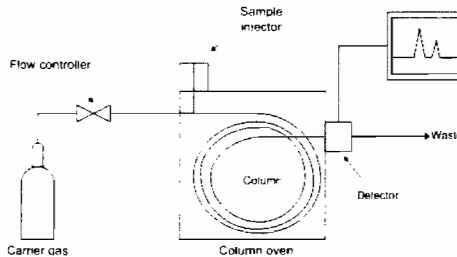


Papier, kolom en dunlaag chromatografie het 'n baie populêre tegniek geword vir die ondersoek van mengsels soos plantekstrakte. Deteksie was 'n groot struikelblok vir die tegnieke. Die probleem is oorkom deur veral in **dunlaag chromatografie**, die plate te behandel met reagense, te verhit om kolle te laat ontwikkel, of om die silicagel stasionêre fase met fluoresserende materiaal te behandel en dan wys die kolle as donker vlekke waar fluoressensie onderdruk word.

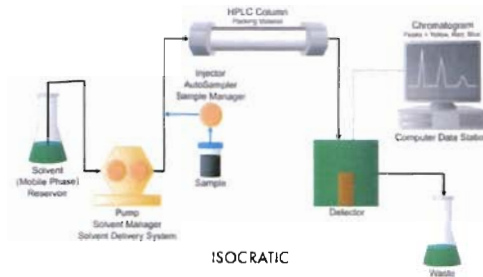


Met die bepaling van enige chemiese verbinding in 'n martiks, hetsy dit erts, olie, voedsel, plant materiaal of 'n Farmaseutiese produk is, die grootste struikelblok om steuring van ander bestanddele in die mengsel te oorkom. By titrimetrie en gravimetrie is dit dikwels deur presipitering of ekstraksie gedoen. Met chromatografie is daar in die proses self skeiding van bestanddele, dus is minder vooraf monster voorbereiding nodig.

Gas chromatografie (GC) is in die 1940's ontwikkel, en het veral na 1950 baie groot opgang gemaak. Die tegniek berus op 'n hol buis of kolom waarin 'n materiaal in die vorm van klein korreltjies, of op die wand van die buis aangebring word. 'n Gas word dan deur die buis gestuur terwyl die kolom verhit word. Die monster word dan in die gasstroom ingespuut en beweeg deur die kolom waar dit selektief teruggehou word, en sodoende die bestanddele van mekaar skei. Verskeie detektors is ontwikkel, waarvan die mees populêre en universele die vlam ionisasie detektor is. Dit werk deur die kolomuitvloei in 'n vlam te verbrand en die afwyking in potensiaalverskil tussen twee elektrodes te meet wanneer 'n verbinding deur die vlam gaan. Gas chromatografie het gegroei tot die populêrste tegniek in die 1970's.



Vloeistofchromatografie was reeds van 1901 af bekend, maar die ontwikkeling daarvan is gerem deur praktiese probleme soos die hoë druk wat deur die vloeistof deur 'n pyp vol vaste deeltjies veroorsaak word. Verbetering in pompe wat akkurate vloei kon lewer, het gemaak dat betroubare vloeistofchromatograwe sedert 1970 kommersieel beskikbaar was. Vloeistof chromatografie (HPLC) komplimenteer GC omdat dit nie die beperking het dat stowwe vlugtig en termostabiel moet wees nie. Baie detektore is vir HPLC ontwikkel, maar UV spektrofotometriese deteksie is by ver die gewildste. Die tegniek is baie verfyn en vandag kan gradient gevorm word deur vloeistowwe oor tyd te vermeng, en "diode array" UV detektore kan die hele UV spektrum meteens opneem.



Sedert die 1970's het die groei van die informasie tegnologie 'n groot invloed gehad op die omvang en ontwikkeling van analitiese chemie. Dit raak nou alle aspekte van die alledaagse lewe, van die kwaliteit van die lug wat ons inasem, die water wat ons drink, voedsel, diagnose en behandeling van siektes, vervoer, verblyf, toksikologie en forensiese ondersoek.

Die ontwikkeling van elektronika en rekenaartegnologie het 'n rewolusie in die ontwikkeling van analitiese chemie veroorsaak.

Vroeëre instrumente het radiobuise gebruik, en die analoog sein wat verkry is, is gewoonlik op 'n meter afgelees, of op 'n kaartregistreerder opgeneem. Die nadeel hiervan was dat daar dikwels nie 'n permanente rekord van die lesing was, anders as wat die analis neergeskryf het nie, en ook dat die meting nie verder verwerk kon word nie. Vir kwantitatiewe werk is meestal piekhoogtes gemeet, maar soms is pieke selfs met 'n skêr uitgeknipt en die papier geweeg!



Elektronika het dit moontlik gemaak om instrumente te bou wat baie meer kompak is, minder geraas (seinversteuring) en minder hitte genereer.

Met die ontwikkeling van rekenaars, kan 'n sein van 'n instrument permanent gestoor word. Dit bring mee dat dit na die tyd weer gebruik kan word om verdere verwerking op te doen, en daar is ook 'n permanente rekord wat maklik argiveerbaar is. Rekenaars kan

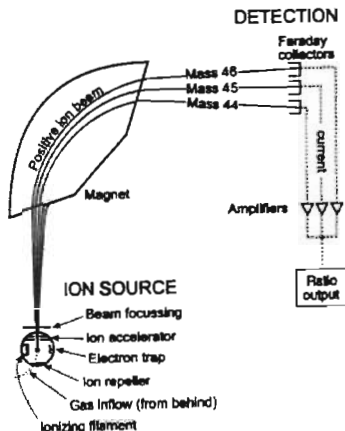
ook baie meer data per tydseenheid vaslê, en daarom kan meer inligting gestoor en verwerk word.

Dit is interessant dat die ontwikkeling veroorsaak het dat 'n wiskundige beginsel wat **Joseph Fourier** vroeg in die 19e eeu ontwikkel het, nou gebruik word om data te verwerk. Die Fourier transformasie kom kortliks daarop neer dat dit mens



in staat stel om 'n hele elektromagnetiese spektrum met die gepaardgaande intensiteit as 'n funksie vas te lê en te stoor, en dit dan later weer terug te verwerk in die spektrum in. Dit het meegebring dan bv. 'n infrarooi spektrum in sekondes opgeneem kon word met baie goeie resoluë waar dit vroeër minute of self ure geneem het om spektra van dieselfde resoluë te verkry. mens kan nou ook meer met die data doen - elke stukkie spektrum kan op sy eie beskou en bestudeer word, en seine van mekaar afgetrek of bymekaar getel word.

Die elektronika en rekenaartegnologie het 'n transformasie in analitiese chemie teweeggebring. Dit het gelei tot die ontstaan van die sogenaamde "Hyphenated techniques" waar chromatografie gekoppel word aan analise tegnieke wat tradisioneel op hul eie gebruik was. Voorbeelde hiervan is **GC-MS, LC-MS en GC-IR**. In massaspektrometrie word gelaaië (ioniese) deeltjies gevorm van die oorspronklike molekule en fragmente daarvan. Dit vorm 'n fragmentasie patroon wat eie is aan die verbinding, en dus vir identifikasie gebruik kan word. **Massaspektrometrie** is weens die spesifisiteit



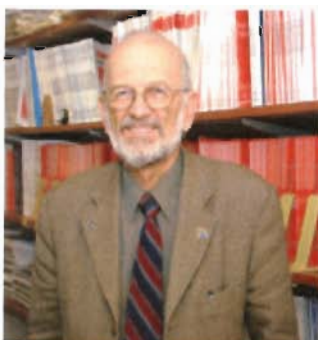
ook baie sensitief en kan gereken word as 'n skeidingstegniek in eie reg. Die koppeling van 'n chromatograaf en 'n massaspektrometer gee dus twee aparte

skeidingstegnieke wat op verskillende beginsels berus. Dit is die kombinasie wat dit so 'n kragtige analitiese tegniek maak.



Gas- en vloeistofchromatografie en verwante tegnieke is vandag by ver die voorkeur metodes van analise, en meer as 75% van alle publikasies oor analitiese werk handel oor een of ander vorm van chromatografie. Die era van die nat laboratorium is verby, en instrumentele analise is die toekoms. Dit is net jammer dat dit besig is om 'n leemte te veroorsaak in die basiese chemie kennis van studente wat nou afstudeer. Dit word bevestig deur oorsigartikels en advertensies vir "klassieke analiste" wat reeds in 1994 in die Analytical Chemistry joernaal verskyn het.

Hierdie was net 'n kort historiese oorsig van die ontstaan van analitiese chemie, en hoe dit vertak het in 'n afsonderlike dissipline. Dit is natuurlik nie moontlik om analitiese chemie los te maak van ander vakdissiplines nie, aangesien chemie, fisika, wiskunde, en alle dissiplines van ingenieurswese betrokke is in die ontwikkeling van nuwe analitiese tegnieke en instrumentasie.



Die ontwikkeling van nuwe instrumentasie en tegnieke is 'n navorsingsgebied in eie reg. Die werk van **Prof Graham Cooks** en sy span van die Universiteit van Purdue is 'n goeie voorbeeld hiervan. In 'n voordrag oor "Instrumentation as a driving force in Science" het hy die stelling gemaak: Many who should know better talk of instrumentation as "technology" and the chemical problems they study with the instruments that someone else conceived, designed, built and reduced to practice, as "science" I believe that they have it backwards - the science lies in the making of the tools, the problems that the tools are directed against are "applications".

Prof Cooks en sy groep het reeds 'n draagbare massa spektrometer gemaak wat slegs 10 kg weeg en 55 W stroom gebruik. Merkwaardig as mens onthou dat massa spektrometers eers 'n paar ton geweeg het, 'n groot kamer vol gestaan het en omtrent sy eie substasie benodig het vir krag. Hulle is besig met die ontwikkeling van mikro - massa spektrometers, wat elke putjie in 'n "96 well plate" gelyktydig kan analiseer. Die implikasies vir biologiese wetenskappe is enorm - dink net wat dit kan beteken vir vinnige sifting van eksperimente.

Dikwels word navorsing op ander gebiede moontlik gemaak deur ontwikkeling van nuwe analitiese tegnieke. Proteïene kan nou na massa spektrometriese skeiding in vloeistof "geland" word (lon soft landing) met behoud van biologiese aktiwiteit. Dit stel navorsers in staat om die individuele proteïene se eienskappe te bestudeer.

Daar is altyd 'n wisselwerking tussen analitiese chemie en ander natuurwetenskaplike navorsing - dit is amper 'n vraag en aanbod situasie, waar die behoefte van 'n wetenskaplike die vraag na 'n sekere soort instrument laat ontstaan. Die behoefte motiveer dan analitiese en maatskappye wat instrumente vervaardig (wat dikwels nou saamwerk) om so 'n instrument te ontwikkel om die behoefte aan te spreek. Iemand kan ook iets nuut ontdek in 'n ander veld, en dan kry 'n ander persoon die gedagte om dit toe te pas in analitiese chemie.

Biologiese navorsing word vandag dikwels op sellulêre en molekulêre vlak gedoen, en daarom is dit nodig om van nanotegnologie gebruik te maak vir die ontwikkeling van instrumente om die werk mee te doen. Die ontwikkeling van 'n **pH meter** om die pH op die oppervlakte van 'n sel te meet is 'n goeie voorbeeld hiervan.



Die toename in omgewingsbewustheid is ook 'n groot stimulus vir die ontwikkeling van analitiese chemie. Prof Louis Guiliette van Florida het in 1984 gemerk dat daar baie geslagafwykings by krokodille in die omgewing voorkom. Nadere ondersoek het getoon dat die wyfies verhoogde vlakke van estradiol het. Dit was maklik om die verhoogde estradiol vlakke te bepaal, maar dit het egter

nog baie navorsing geveg voordat kelthane, 'n DDT verwante plaagdoder in lae vlakke in die water waargeneem is.

Wetgewing stel dikwels toelaatbare vlakke van bekende toksiene in sekere produkte. Hierdie vlakke is nie altyd toksikologies verantwoordbaar nie, maar het meer te doen met die vlakke wat op daardie tyd met vertroue deur huidige analitiese tegnieke bepaal kan word. Almal weet dat lood giftig is, en sommige wetenskaplikes meen dat geen vlakke veilig is nie. Die limiet vir lood verskil ook na gelang van waar dit voorkom. Die EPA limiet vir lood in drinkwater is 15 dpb, en 600 dpm in huishoudelike artikels soos kleurkryt, kosblikke en speelgoed.

Verrotting van voedsel was nog altyd 'n probleem. Muf op graanprodukte kom nog deur al die jare voor. In die afgelope jare is gevind dat daar 'n groot verband is tussen gemufde graan en keelkanker. Paul Chelule het gevind dat tot 32% van die graanprodukte wat hulle in die Transkei getoets het, besmet was met fumonisien B1, 'n mikotoksien afkomstig van *Fusarium verticilloides*. In stedelike gebiede het hulle slegs 6% besmette graan gevind. Die FDA het toelaatbare vlakke van fumonisien van 4 dpm vir menslike gebruik daargestel. Die voorkeur metode vir die bepaling is LC-MS. Dit is 'n goeie voorbeeld van hoe analitiese chemie gebruik word om die publiek se gesondheid te beskerm.

Selfs **terrorisme** skep geleenthede vir analitiese navorsing. Identifisering van die aard van plofstof wat in bomaanvalle gebruik is, kan lei tot die opsporing van die skuldiges. Uit die aard van die saak kan die bewysstukke nie altyd van die terrein verwyder word nie. Om hierdie rede is daar reeds draagbare Massaspektrometer, en kapillêre elektroforese apparaat ontwikkel.

In 1999 het **hoenderboere in België** onraad gemerk met hulle hoenders - verhoging in vrektes, eiers wat nie uitbroei nie en algemene onrustigheid onder die vee. By nadere ondersoek is gevind dat die voer dioksien bevat, wat baie giftige en karsinogene middels is. Na dit aan die regering gerapporteer is, het dit nog 'n maand geneem om die resultate te bevestig. Die krisis het later uitgebrei na vee soos skape, beeste en varke. Vir 'n tyd was daar byna nie kos in België nie, en alle Belgiese landbouprodukte is in die res van Europa verban. Die ministers van landbou en gesondheid het bedank weens die skandaal omdat hulle inligting van die publiek weerhou het. Deel van die probleem was die tegnieke wat die staat se laboratorium gebruik het om die analises te doen. Hulle het vir dioksien geanaliseer, wat tydsaam en duur is (\$ 1700 per monster). Dit word deur GC/MS geanaliseer met baie moeilike en tydrovende voorbereiding.



Prof Pat Sandra van die Universiteit van Ghent, is ook genader om 'n bydrae te lewer. Na deeglike oorweging van die probleem het hy met 'n paar logiese vrae vorendag gekom, naamlik:

Waar kan die dioksien vandaan kom?

Wat is dioksien?

Dioksien is afbraakprodukte van poli gechloneerde bifeniël verbindings (PCB's) wat in transformatorolie voorkom. Dit het waarskynlik per abuis in die voer beland na onverantwoordelike storting van afval. Daar is gevind dat die dioksien/PCB's in die verhouding van 1:50 in die besmette produkte voorkom.

Sy oplossing was om vir PCB's te toets, wat baie makliker, vinniger en goedkoper is. Dit kos \$ 150/monster met GC/elektronvangs deteksie.

Die dilemma is op die ou end opgelos, maar dit het die land \$ 1.5 biljoen gekos aan verlore inkomste en voedsel was hulle moes vernietig. Dit het ook veroorsaak dat die konserwatiewe party vir die eerste maal in 100 jaar die Christen demokrate in die regering ontsetel het.

Die petalje bewys dat alles nie net van die toerusting afhang nie, maar dat goeie wetenskaplikes wat net 'n bietjie dink en die probleem goed ontleed ook noodsaaklik is.

Meeste natuurwetenskaplike navorsing is van so 'n aard dat een of ander resultaat gemeet word, hetsy dit kwantitatief of kwalitatief is. Ons wil in staat wees om iets swart op wit te bewys. Dit is waarom analitiese chemie so belangrik is vir natuurwetenskaplikes.

Wat hou die toekoms vir ons in?

In die 1968 rolprent van Stanley Kubrik, 2001: A space odyssey, was daar 'n toneel waar 'n lugmonster in 'n klein draagbare apparaat ingesuij en binne oomblikke geanaliseer is om te sien of die lug geskik is om in te asem. Dit was

toe wetenskapsfiksie - nou is die apparaat aan die orde van die dag en word daagliks deur onder meer myners gebruik om lugkwaliteit te monitor.

Wie weet - een van die dae dra jy 'n massa spektrometer soos 'n selfoon in jou sak rond!

BIBLIOGRAFIE

AGILENT. 2007 . The analytical chemist who saved Belgium
<http://www.chem.agilent.com/caq/feature/12-99/feature.htm> Datum van toegang: 27 Augustus 2007.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. 2007. Arnold O. Beckman: the early years.
http://portal.acs.org/portal/acs/corg/content?nfpb=true&pageLabel=PP_ARTICLEMAIN&node_id=929&content_id=CTP_004464&use_sec=true&sec_url_var=reunion1 Datum van toegang: 28 Augustus 2007.

BARRETT, J.R. 2001. Mold in maize: Less exposure may mean less cancer.
Environmental health perspectives, 109(3) A132.

BECK, C.M. 1994. Classical Analysis: A look at the past, present and future.
Analytical Chemistry, 66(4) 224A-238A.

Covaci, A. & Grob, K. 2002. Mineral oil and PCB/dioxin analysis in some European food contamination episodes *European Food Research and Technology*, 215(1) : 51-54.

Deutschen botanischen Gesellschaft. 1906. Mikhail Tswett (1872-1919)

<http://web.lemoyne.edu/~qjunta/tswett.html> Datum van toegang: 23 Augustus 2007.

GARCIA-REYES, J. F.; HERNANDO, M. D.; FERRER, C.; MOLINA-DIAZ, A. & FERNANDEZ-ALBA, A. R. 2007 Large Scale Pesticide Multiresidue Methods in Food Combining Liquid Chromatography- Time-of-Flight Mass Spectrometry and Tandem Mass Spectrometry *Analytical Chemistry*, (19): 7308-7323.

GENERATIONGREEN. 2007. LEAD WITH LUNCH
<http://www.generationgreen.org/> Datum van toegang: 21 Augustus 2007.

GOLOGAN, B., TAKATS, Z., ALVAREZ, J., WISEMAN, J.M., TALATY, N., OUYANG, Z. & COOKS, R.G. 2004. Ion soft-landing into liquids: protein

identification, separation and purification with retention of biological activity. *Journal; of the American Society for Mass Spectrometry*, 15(12): 1874-1884.

HEALTH CANADA. 2007. Revised total lead limit in surface coatings. http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/advisories-avis/info-ind/toy_lead-jouets_plomb-eng.php Datum van toegang: 21 Augustus 2007.

HUTCHINSON, J.P., EVENHUIS, C.J., CAMERON, J. & HADDAD, P.R. 2007. Identification of inorganic improvised explosive devices by analysis of post blast residues using portable capillary electrophoresis instrumentation and indirect photometric detection with a light-emitting diode. *Analytical Chemistry*, 79(18): 7005 - 7013

Ndobo-Epoy, J.-P.; Lesniewska, E. & Guicquero, J.-P. 2007. Nano-pH Sensor for the Study of Reactive Materials *Analytical Chemistry* 79(19); 7560-7564.

WIKIPEDIA. 2007. Da Vinci
http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci Datum van toegang: 15 Augustus 2007.

WIKIPEDIA. 2007. GALILEO
<http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo> Datum van toegang: 15 Augustus 2007.

WIKIPEDIA. 2007. LAVOISIER
http://en.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier Datum van toegang: 15 Augustus 2007.

WIKIPEDIA. 2007. FOURIER TRANSFORM
http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform Datum van toegang: 17 Augustus 2007.