

# BEWUSTZIJSVERLIES GEÏNDUCEERD DOOR G KRACHTEN

## Preventie door training en vroegtijdige waarschuwing

### Bewustzijnsverlies bij jachtvliegers

Moderne jachtvliegtuigen kunnen versnellingen genereren die de tolerantie van de vlieger overschrijden. Wanneer met grote snelheid een bocht wordt gevlogen wordt de vlieger blootgesteld aan de centrifugaal versnelling, die vectorieel optelt bij de zwaartekracht. De grootte van de resulterende versnelling, werkend in de hoofd-voet richting (de z-as), wordt uitgedrukt in G waarden, waarbij 1 G overeenkomt met de grootte van de zwaartekracht-versnelling.

De gevolgen van deze verhoogde + G versnelling omvatten onder meer veneuze pooling van bloed onder hartniveau en daling van de bloeddruk boven het hart. Bij circa +4.5 G is de gemiddelde bloeddruk op cerebraal niveau reeds zover gedaald, dat bewustzijnsverlies onvermijdelijk is wanneer geen preventieve maatregelen worden getroffen<sup>1</sup>.

Bij langzame toename en langdurig aanhouden van de G<sub>z</sub> versnelling zal als gevolg van de oogboldruk de doorbloeding van de retina het eerste verminderen, en treden visuele verschijnselen op als "tunnelvision", "greyout" en "blackout", die de vlieger als waarschuwingssignaal kan herkennen.

Extra gevaarlijk is een snelle toename en langdurig aanhouden van de G<sub>z</sub> versnelling (in de orde 1 G/sec en hoger); de reactietijd van het baroreceptor regelsysteem is in de orde van 10 seconden, en dit systeem kan op korte termijn dus niet een volledige responsie leveren in de vorm van onder meer perifere vasoconstrictie. Bovendien kan de vlieger geen visuele waarschuwingssymptomen waarnemen, omdat de intracellulaire energiereserves van retina en hersenen gelijktijdig worden uitgeput<sup>2</sup>. Speciaal bij snelle "G onset" en langdurig aanhouden van de G<sub>z</sub>-versnelling zijn maatregelen nodig om bewustzijnsverlies van de vlieger te voorkomen.

### G-bescherming

Dit bewustzijnsverlies kan worden voorkomen door zowel de veneuze

door Drs. J.T. Marcus<sup>a</sup>,  
majoor-vliegerarts C.R. van  
Holten<sup>b</sup> en Drs. H. Mulder,  
arts<sup>c</sup>

terugkeer naar het hart, als de perfusiedruk op cerebraal niveau, voldoende te handhaven. Preventieve maatregelen kunnen globaal worden ingedeeld in de volgende groepen<sup>2</sup>:

1. G-beschermende vliegeruitrusting, waaronder de G-broek, en Assisted Positive Pressure Breathing (APPB). Bij deze laatste techniek wordt de inademenslucht onder druk gebracht, en ter ontlasting van de thoraxwand wordt dit gecombineerd met een vest dat tegendruk uitoefent. Door deze combinatie wordt de druk in de gehele thorax 50 tot 70 mm Hg verhoogd, waardoor ook de bloeddruk toeneemt, terwijl de transmurale druk zowel voor de luchtwegen als de bloedvaten gelijk blijft.

om na te gaan welke methoden kunnen worden benut om de cardiovasculaire effecten van G-belasting te meten. Op basis daarvan zouden de hiervoor onder 1 en 2 genoemde G-beschermende maatregelen objectief kunnen worden geëvalueerd; de onder 3 genoemde waarschuwing zou daar eveneens van kunnen worden afgeleid.

### Niet-invasieve monitoring van bloeddruk en bloedstroom

Het onderzoek is uitgevoerd in de centrifuge bij het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Geneeskundig Centrum, met medewerking van Dr. J.R. Krol en Drs. M. Simons.

In de centrifuge zijn 9 proefpersonen zonder G-broek onderworpen aan +3 G<sub>z</sub> (on- en off-set 0.2 G<sub>z</sub>/sec). Allen zijn bemeten met finapres en laserdoppler, twee bovendien met transcraniële doppler. Een proefpersoon is onderworpen aan +7 G<sub>z</sub> (onset 0.1 G<sub>z</sub>/sec, geen G-broek).

Methode	Locatie	Uitgangssignaal
Finapres	hand op oogniveau	arteriële drukgolf
Laserdoppler	oogniveau bij A. temporalis	bloedcel flux
Transcraniële doppler	A. cerebri media	bloedsnelheid

Tabel 1.

2. De "anti-G straining manoeuvre" (AGSM), die door de vlieger kan worden aangeleerd; deze bestaat uit een isotoon spannen van arm- en beenspieren, en een cyclische compressie van buik- en borstspieren.
3. Vroegtijdige waarschuwing voor onvoldoende cerebrale doorbloeding, in het tijdsinterval van ongeveer 5 seconden waarin de hersenen nog kunnen functioneren op de intracellulaire zuurstofreserve.

Finapres en transcraniële doppler zijn door het NLRGC ter beschikking gesteld.

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de toegepaste methoden, de meetlocatie en het uitgangssignaal.

Het meetniveau is voor de drie systemen gekozen op ooghoogte, om rekening te houden met het hydrostatische effect.

### Vraagstelling

In opdracht van de Inspectie Geneeskundige Dienst Koninklijke Luchtmacht is een voorstudie verricht

a. TNO Instituut voor Zintuigfysiologie, Soesterberg.

b. Chef Geneeskundige Dienst Vliegbasis Twenthe.

c. Akadernisch Ziekenhuis Groningen. Artikel ontvangen juni 1989.

Dit effect treedt op door het gewicht van de bloedkolom lopend van hart tot hersenen. Dit hydrostatische drukverschil tussen hersen- en hartniveau bedraagt bij 1 G circa 20 mm Hg, en neemt met de G-belasting evenredig toe met circa 20 mm Hg per G. Bij onderlinge vergelijking van de meetmethoden moet worden opgemerkt dat de uitgangsdimensies verschillen.

#### Finapres

Finapres staat voor FINger Arterial PRESSure. Een met lucht gevulde "cuff" wordt rondom een vinger gewikkeld en een druk gelijk aan de arteriële druk wordt toegepast, zodat het volume van de vinger constant wordt gehouden, en de transmurale druk over de arteriewand nul blijft. Het photoplethysmogram wordt hiertoe gemeten en door de cuff via een feedback lus constant gehouden. Het feedback systeem is snel genoeg om de pulsatile component in de bloeddruk te volgen; de druk in de cuff weerspiegelt de arteriële druk. Voor meer details zie Wesseling<sup>3,4</sup>, Goedhart<sup>5</sup> en Glaister<sup>6</sup>. De meting kan worden omschreven als "de pols voelen", zowel de frequentie als de polsgolfvorm.

#### Laserdoppler

De bloedstroom is gemeten met een laserdoppler-stroom meter: een laserbundel wordt door een glasvezel voortgeleid naar de probe, die ter plaatse van de slaap van de proefpersoon op de huid wordt geplakt. Bloedcellen in het subcutane weefsel (diepte tot 1 mm) reflecteren het laserlicht, waarbij het een dopplershift ondergaat. Het gereflecteerde licht wordt door twee efferente vezels teruggeleid. Uit de frequentieverdeling in het gereflecteerde licht kan de bloedcel flux worden afgeleid: dit is een relatieve maat voor het produkt van het aantal rode bloedcellen en hun snelheid<sup>7,8</sup>.

#### Transcraniële doppler

Deze methode is gebaseerd op de dopplerverschuiving in een ultragehuidsbundel. Zowel emitter als detector zijn gemonteerd in een kleine unit die aan het hoofd wordt bevestigd. Diepteselectie kan worden bereikt door gepulste emissie; afstemming van het tijdsinterval tussen emissie en het openen van een elektronische "sampling gate" maakt het mogelijk diepte te selecteren<sup>9</sup>. In onze metingen is de bundel gericht op

	vooraf	G onset
gemiddelde bloedstroom(cm/sec)	30	16
pulsatility	1.6	3.0

Tabel 2.

de A. cerebri media, nabij de oorsprong in de circl van Willis, op een diepte van 40 tot 60 mm. Twee outputmodes zijn mogelijk: video weergave van de gehele dopplershift verdeling, en de analoge curve die op ieder moment de maximale dopplershift aangeeft en daarmee de maximale snelheid.

#### Resultaten

##### Transcraniële- en laserdoppler

Gebruik makend van de video-mode van de transcraniële doppler kan steeds over enkele seconden worden afgelezen de gemiddelde bloedstroomsnelheid en een maat voor het pulserend karakter ervan: "pulsatility index" (= maximum - minimum, gedeeld door gemiddelde stroom). Kenmerkende outputwaarden gemeten voor en tijdens een 1-3-1 run zijn weergegeven in tabel 2.

De transcraniële dopplersnelheid is gemeten simultaan met de laserdoppler flux waarde. Doel hiervan is na te gaan welke informatie de (oppervlakkig gemeten) laserdoppler verschaft over de intracerebrale stroom. Voor twee proefpersonen is de kruiscorrelatie bepaald tussen beide signalen, over de 10 sec tijdens G onset. De maximale correlatiewaarden bedroegen .66 en .37, waarbij de laserdoppler .6 sec vertraagd is<sup>10</sup>. Hoewel de laserdoppler geen directe maat geeft voor cerebrale doorstroming, lijkt het signaal dus toch een indicatie te geven.

##### Laserdoppler als indicatie voor straining effectiviteit

Bij iedere proefpersoon is de rapportage van visuele symptomen genoteerd bij de 3 G runs, die bij de toegepaste matige G-onset een aanwijzing geeft voor de retinale doorbloeding. Tevens is de maximale afname in laserdopplerflux gemeten over de 20 seconden vanaf acceleratie, uitgedrukt in percentage van de gemiddelde waarde in rust.

De proefpersonen kunnen dan worden verdeeld in twee categorieën.

- (1) Greyout of blackout, wijzend op onvoldoende retinale doorbloeding. Laserdoppler afname bedroeg gemiddeld 47%, met standaard afwijking 7%.
- (2) Geen visuele symptomen, wijzend op voldoende retinale doorbloeding. Laserdoppler afname voor deze groep was gemiddeld 24%, standaard afwijking 9%.

Hoewel nog rekening moet worden gehouden met individuele verschillen in natuurlijke G-tolerantie, lijkt de laserdoppler een maat te geven voor de doelmatigheid van de toegepaste straining.

Voor de 7 G run (1 persoon) zijn de data geplot in figuur 1, waarin zijn weergegeven het G-profiel, laserdoppler, finapres en hartfrequentie.

Zodra de proefpersoon greyout waarnam bij 3.5 G, begon hij met straining. De

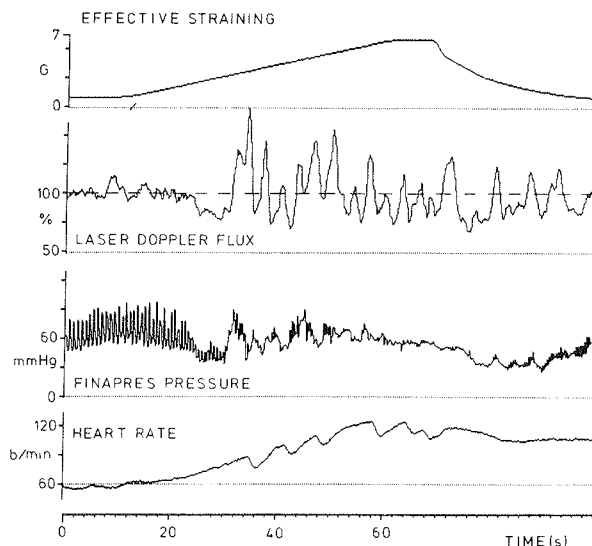


Fig. 1. Van boven af worden weergegeven: het G profiel (.1 G/s, max. 7 G), laserdoppler flux, finapres drukgolf, en hartfrequentie. Als gevolg van de effectieve straining daalt de gemiddelde waarde van de laserdoppler flux niet beneden 60% van de rust waarde. De proefpersoon rapporteerde: greyout bij 3.5 G, geen visuele symptomen tijdens de straining, en blackout kort na deceleratie.

periode van cyclische compressie bedraagt ongeveer 4 seconden, en kan worden afgelezen in de periodiciteit van de laserdoppler. Deze flux waarde oscilleert rondom het 100% niveau, en dit duidt erop dat de gemiddelde bloedtoevoer naar het hoofd gehandhaafd blijft, totdat 7 G wordt bereikt. Ook de gemiddelde finapres bloeddruk waarde blijft bij benadering op niveau. Onverwacht trad een blackout periode op direct na deceleratie, die ook aangegeven lijkt te worden door lage waarden in laserdoppler en finapres. Deze blackout werd mogelijk veroorzaakt door verminderde tolerantie in deceleratie, als gevolg van vroegtijdig stoppen van de straining manoeuvre.

#### Monitoring tijdens bewustzijnsverlies

Een proefpersoon, in actieve training voor de triathlon, verloor het bewustzijn tijdens de acceleratie met 0.2 G/sec naar 3 G. De volgorde van cardiovasculaire reacties is weergegeven in figuur 2, waarin zijn geplott het G-profiel, laserdoppler, finapres, O<sub>2</sub> saturatie en hartfrequentie.

Het tijdstip van bewustzijnsverlies is gebaseerd op het rapport van de operator, die op de TV monitor waarnam dat het hoofd van de proefpersoon opzij viel bij 2.8 G. Figuur 2 geeft aan dat laserdoppler en finapres reeds 5 seconden tevoren meer dan 40% dalen. Dit interval stemt overeen met de tijdsduur waarin de hersenen kunnen functioneren op de weefselreserve<sup>2</sup>. De O<sub>2</sub> saturatie reageert traag en gering; het ECG werd bewaakt en geregistreerd, maar leverde geen enkele indicatie van het bewustzijnsverlies. De geringe reactiviteit van O<sub>2</sub> saturatie, en de afwezigheid van ECG indicaties, zijn in overeenstemming met gegevens gemeld door Voge in meer uitgebreide studies<sup>11</sup>. Na deceleratie treedt sterke stijging op van laserdoppler en finapres, mede door verhoogde veneuze terugkeer uit de benen. De finapres start een recalibratie.

#### Conclusies

De belangrijkste kenmerken van de toegepaste monitortechnieken onder G- belasting zijn de volgende.

- De finapres levert de volledige arteriële drukgolf, echter in een perifere vat.
- De laserdoppler geeft een meting op ooghoogte, weliswaar in subcutane vaten, maar toch indicatief voor

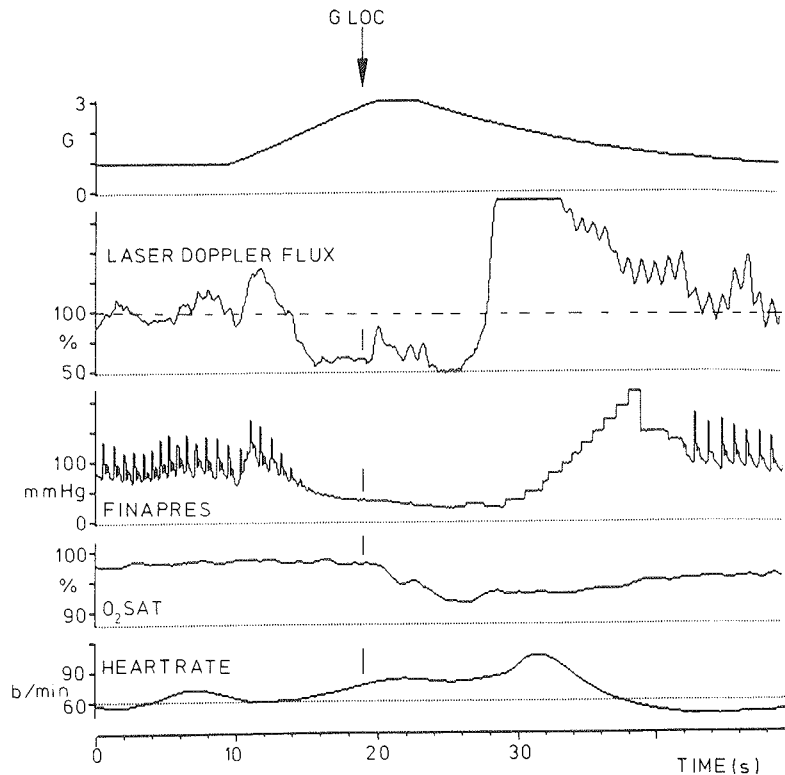


Fig. 2. Bewustzijnsverlies, waarvan het tijdstip bepaald is door het opzij vallen van het hoofd. Vijf seconden tevoren treedt een sterke daling op van

laserdoppler en finapres. De O<sub>2</sub> saturatie, spectroscopisch gemeten op het oor, reageert traag; de hartfrequentie geeft geen indicatie.

veranderingen in de cerebrale bloedstroom.

De glasvezelprobe kan snel worden aangebracht, en interfereert niet met de vliegeruitrusting.

- De transcraniële doppler verschafft een directe meting in een centrale arterie die de hersenen voedt; nauwkeurige stabiele positionering van de probe is echter vereist om artefacten te voorkomen.

In de praktijk kan de beschreven monitoring worden toegepast voor een objectieve evaluatie van G-beschermende maatregelen, waaronder de straining manoeuvre en assisted positive pressure breathing (APPB). Bovendien kan biofeedback worden gegeven aan de vlieger tijdens centrifuge training. De laserdoppler is een kandidaat voor een vroegtijdig waarschuwingssysteem in het vliegtuig.

#### Summary

#### G INDUCED LOSS OF CONSCIOUSNESS. PREVENTION BY TRAINING AND EARLY WARNING

An increase in G tolerance can be obtained by executing the anti-G straining manoeuvre, by using an anti G suit, and by applying assisted positive

pressure breathing. An objective assessment of the efficiency of these measures would be important in optimizing training procedures. In addition, an early warning for a threatening G induced loss of consciousness in the aircraft would allow the aviator to take preventive measures in time.

The aim of this pilot study is to describe non-invasive methods for continuous cardiovascular monitoring during G load: the laserdoppler for transcutaneous capillar blood flow, the transcranial doppler for the intracerebral arterial blood velocity, and the finapres for arterial blood pressure. Subjects (n=9) have been tested in the centrifuge, with no G suit protection. Flow and pressure data were sampled with or without the subject performing the straining manoeuvre; one subject suffered a LOC. Our data indicate that these methods yield an objective measure for the responses of the baroreceptor control system, for cerebral blood flow, and for the effectiveness of G protection. The laserdoppler flow meter is a possible candidate for an early warning system in the aircraft.

## Literatuur

1. **Krol J.R.:** Versnellingen in de luchtvaart. Ned Tijdschr Geneesk 1989; 133, nr 8.
2. **Gillingham K.K.:** High-G stress and orientational stress: physiological effects of aerial maneuvering. Aviat Space Environ Med 1988; 59 (11, Suppl.): A10-20.
3. **Wesseling K.H.:** Finapres model 5 user manual. TNO Biomedical Instrumentation research unit, Academic Medical Center, Amsterdam.
4. **Wesseling K.H., Purschke R., Smith N.T.Y., Nichols W.W.:** Continuous monitoring of cardiac output. Medicamundi, vol. 21, no. 2, 1976.
5. **Goedhard W.J.A.:** Gemiddelde arteriële bloeddruk en baroreflex regulatie in relatie tot leeftijd en functie. Nederl Milit Geneesk T 1986 (39) 1.
6. **Glaister D.H., McKenzie I.:** An evaluation of the finapres blood pressure monitor. IAM technical memorandum no 387, RAF Inst of Aviation Medicine, Farnborough UK, 1988.
7. **Tenland T.:** On Laser Doppler Flowmetry. Linköping University Medical Dissertations no 136, Linköping, Sweden, 1982.
8. **Bonner R., Nossal R.:** Model for laser doppler measurements of blood flow in tissue. Applied Optics, 1981 (20) 12.
9. **Aaslid R.:** Transcranial Doppler Sonography. Springer Verlag, 1982.
10. **Marcus J.T., Van Holten C.R.:** Prevention of G induced loss of consciousness: training and early warning. TNO-IZF report 1989 (in druk).
11. **Voge V.M.:** Comparison of several G-tolerance measuring methods at various seatback angles. Aviat Space Environ Med, febr 1978.

# HYDRAZINE DETECTIE BIJ DE KONINKLIJKE LUCHTMACHT

Isn = 149

## Evaluatie van bestaande en alternatieve detectiemogelijkheden

### Inleiding

Voor de detectie van hydrazine is bij de Koninklijke Luchtmacht (KLu) apparatuur van het merk Compur in gebruik, die is gebaseerd op een elektrochemisch detectieprincipe. Om de noodzaak van eventueel aanpassen of vervangen van deze apparatuur aan te geven dienen belangrijke karakteristieken van detectie-apparatuur voor hydrazine te worden afgewogen tegen het gebruiksdoel: het adequaat beveiligen van personeel, dat in contact kan komen met hydrazine. Hiertoe werd een literatuurstudie verricht waarbij vooral werd gekeken naar de gevoeligheid, de reactietijd, de interferentie van ammoniakdamp (omdat te velde hiermee problemen leken te bestaan) en de afmetingen. Bij de keuze van detectie-apparatuur voor hydrazine zijn een aantal gegevens van belang. Deze betreffen hydrazine zelf en de werksituatie waarin de apparatuur wordt toegepast. Vanuit deze gegevens worden de eisen voor een betrouwbaar apparaat opgesteld. Dit artikel geeft een inventarisatie van alternatieve detectiemiddelen alsmede een evaluatie hiervan in samenhang met de thans gebruikte Compur-apparatuur en de opgestelde eisen.

### Eigenschappen van hydrazine

Hydrazine is bij kamertemperatuur een kleurloze, aan de lucht sterk dampende en naar ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ruikende vloeistof (kookpunt:  $113^\circ\text{C}$ ; smeltpunt  $2^\circ\text{C}$ ).

De stof is een sterke, vaak explosief reagerende, reductor (vlampunt  $52^\circ\text{C}$ ). Het is een base die heftig kan reageren met zuren. Hydrazine is voorts

door dr. ir. M.S. Nieuwenhuizen, R.C.M. Olivier en H.F.G. Oudmayer \*

hygroscopisch en vormt een azeotroop met water.

Hydrazine is reactief tegenover menselijke weefsels. Door besmetting kan permanente schade aan de ogen ontstaan. De damp kan zowel via de longen als via de huid worden opgenomen. Het veroorzaakt schade aan o.a. het zenuwstelsel, de lever, de nieren en de longen. In ernstige besmettingsgevallen bestaat er kans op een dodelijke afloop.

De reukgrens van hydrazine ligt boven de MAC-waarde. Deze was tot 1987  $0.1\text{ ppm}$ . In 1987 is deze grenswaarde door een commissie, die voor het Directoraat-Generaal van de Arbeid aanbevelingen doet over de MAC-waarden, verlaten en wordt er geen grenswaarde meer aangegeven. Redenen hiervoor zijn de bewezen carcinogene eigenschappen in proefdieren na orale toediening, maar vooral na inhalatie, en daarnaast de genotoxische eigenschappen. Het Amerikaanse NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) heeft in 1986 een uiterst lage Threshold Limit Value aanbevolen van  $0.03\text{ ppm}^1$ . Hydrazine wordt vaak in verdunde vorm toegepast. Dit is ook het geval bij de toepassing in de F-16. Daarbij wordt hydrazine-70 (70% hydrazine en 30% gedestilleerd water) gebruikt. Het dient als brandstof voor de generator van het noodstroomsysteem. Deze brandstof kan

binnen enkele seconden de generator op volle toeren laten werken.

Er zijn bij de KLu twee sterk verschillende situaties waarbij detectie-apparatuur voor hydrazine wordt ingezet. In het ene geval wordt de apparatuur statisch toegepast in een ruimte van circa  $50\text{ m}^3$ . De apparatuur fungeert hier als monitor voor de gehele ruimte. Volgens de metingen met de huidige Compur-apparatuur is de (ingestelde) alarmdrempel van  $0.1\text{ ppm}$  daar nooit overschreden. In het andere geval wordt de apparatuur gebruikt als persoonlijke monitor bij werkzaamheden in de open lucht. Hierbij wordt het apparaat op de man gedragen. In dergelijke situaties komt alarm bij een alarmdrempel van  $0.1\text{ ppm}$  wel voor. De drager van de monitor heeft de opdracht zich alsdan direct van het werkerterrein te verwijderen.

Het vermoeden bestond dat de alarms werden veroorzaakt door  $\text{NH}_3$ . Dit kan afkomstig zijn van de nabijgelegen landerijen waar regelmatig bemestingen plaats vinden, waarbij grote hoeveelheden  $\text{NH}_3$  in de atmosfeer kunnen komen (piekconcentraties tot een niveau van  $70\text{ ppm}$ ).

### Eisen te stellen aan detectie-apparatuur

Het lijkt zinvol bij de keuze van de detectie-limiet voor hydrazine voorlopig uit te gaan van de genoemde NIOSH-waarde van  $0.03\text{ ppm}$ , teneinde mogelijke nieuwe aanwijzingen op landelijk niveau voor te zijn.

\* De auteurs zijn werkzaam bij het Prins Maurits Laboratorium TNO (Postbus 45, 2280 AA Rijswijk) binnen de Researchgroep Analytische Chemie (Sectie Alarmering en Detectie).