

ir. H. A. van Hoof

FEL-TNO, Den Haag

## Helikopterdetectie met akoestische middelen

Militaire helikopters worden onder meer gebruikt voor transport, verkenning en, in toenemende mate, voor tankbestrijding. Een groot voordeel van helikopters bij deze toepassingen is dat ze snel inzetbaar en erg beweeglijk zijn; terreinobstakels, zoals rivieren en mijnenvelden, kunnen gemakkelijk worden ontweken.

Om de kans te verkleinen vroegtijdig door vijandelijke radar te worden gedetecteerd kan een helikopterpiloot overgaan tot het zg. terreinvliegen: bij geringe vlieghoogte zullen als gevolg van de kromming van de aarde „line of sight“-waarnemingsmiddelen minder effectief worden bij het opsporen van helikopters. Bovendien kan een helikopterpiloot ook nog een nuttig gebruik maken van natuurlijke obstakels (zie afb. 1).

De tendens van een toenemend aantal helikopters op het gevechtveld en de erkenning van het gegeven dat helikopters zich door hun grote wendbaarheid vrij gemakkelijk aan conventionele waarnemingsmiddelen kunnen onttrekken, heeft in vele landen geleid tot onderzoek naar andere detectiemogelijkheden. De radar schiet immers te kort omdat voor de goede werking ervan „line of sight“ nodig is, doch geluid biedt mogelijkheden „om een hoekje te kijken“.

De vraag is dan wel op welke afstand een helikop-

ter nog akoestisch kan worden waargenomen. Het antwoord hangt af van een aantal factoren waarvan de belangrijkste zijn:

- de sterkte en de karakteristieken van de bron;
- de weg langs welke het geluid zich voortplant alvorens het de geluidsensor bereikt;
- de geluidsensor;
- omgevingslawaaai.

Dit artikel beoogt een inzicht te geven in de onderzoeksactiviteiten op dit gebied en beschrijft wat bij akoestische detectie de mogelijkheden en moeilijkheden zijn.

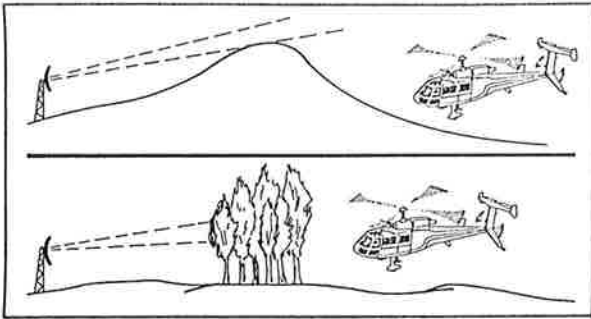
### Geluidsproductie

Het kenmerkendste van het door een helikopter totaal geproduceerde geluid wordt veroorzaakt door de draaiende hoofd- en staartrotor. Het blad van een rotor comprimeert de lucht voortdurend door zijn beweging, en in de richting van een waarnemer manifesteert zich dat als een impulsachtig geluid in het ritme van de draaisnelheid. Bij een toerental van bv. 360 omwentelingen per minuut zal elk rotorblad 6 maal per seconde een zelfde positie passeren; bestaat de rotor uit twee bladen, dan zal dus elke seconde 12 maal een rotorblad

De typekeuze voor de bewapende helikopter voor de KL is op korte termijn te verwachten. Daardoor zal de helikopter, met name de bewapende, veel militaire en politieke aandacht krijgen. Bewapende helikopters kunnen worden ingezet tegen tanks, grondtroepen en gevechtshelikopters. De bewapende helikopter wordt een belangrijk manoeuvre-element in handen van de Legerkorpscommandant en is vooral bedoeld om als een van de laatste redmiddelen een vijandelijke tankdoorbraak te voorkomen en om grondgebonden eenheden tijd te verschaffen voor verplaatsing naar het bedreigde punt. Uit de optiek van de tegenstander zijn bewapende helikopters juist het aangewezen middel om op de plaats waar een inbraak van grondgebonden eenheden succesvol lijkt snel via het luchtruim het re-

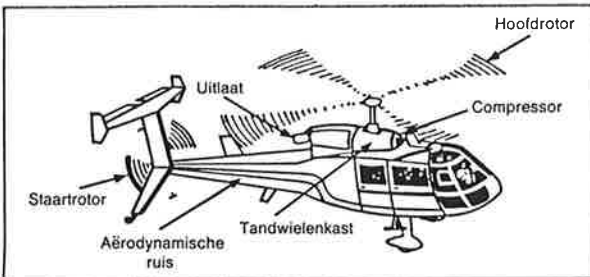
sultaat uit te buiten en actief bij te dragen aan het verder uitschakelen van gepantserde gronddoelen. Zowel verdediger als aanvaller zullen trachten dit invloedrijke wapensysteem zo lang mogelijk aan vijandelijke waarneming te onttrekken. Snelheid, wendbaarheid en de mogelijkheid het terrein te benutten zonder last van de meest natuurlijke hindernissen maken detectie niet eenvoudig. In dit artikel worden akoestische-detectiemogelijkheden beschreven, waarbij tevens de stand van zaken bij het wetenschappelijke onderzoek wordt toegelicht. Akoestische detectie, en het voorkomen ervan, zijn van belang voor alle militaire helikopters maar toch vooral voor de categorie die het dichtst bij, of zelfs tussen, vijandelijke eenheden moet kunnen opereren.

REDACTIE



Afb. 1 Voorkómen van detectie met „line of sight”-waarnemingsmiddelen.

Afb. 2 Geluidsspectrum van hoverende helikopter ▶

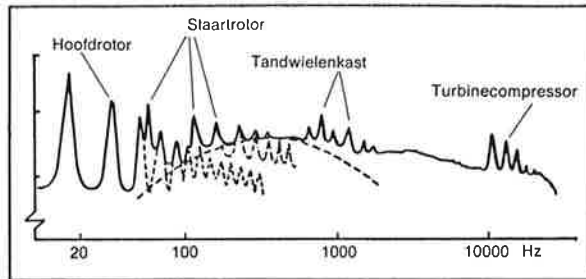
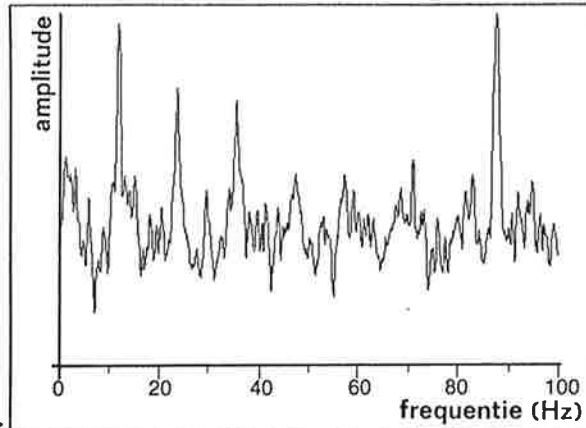


Afb. 3 Bronnen, verantwoordelijk voor helikoptergeluid

passeren. De grondtoon van deze „impulstrein” zal in dit geval dus 12 hertz (Hz) zijn. Deze grondtoon is door zijn impulsachtige karakter geen zuivere toon, maar zal een aantal harmonische tonen bevatten; afb. 2 geeft het geluidsspectrum weer van een hoverende helikopter, waarvan de hoofdrotor-grondfrequentie 11,9 Hz bedroeg. Een zelfde verhaal kan worden verteld over de staartrotor welks toerental in het algemeen een factor 4 à 8 hoger ligt. In het voorgaande geval is deze verhouding ongeveer 7,4; aangezien de staartrotor eveneens twee bladen heeft zal de grondtoon ongeveer 88 Hz zijn, hetgeen in afb. 2 ook duidelijk is te zien.

Behalve de hoofd- en staartrotor zijn er nog verschillende andere onderdelen die een min of meer karakteristieke bijdrage leveren aan de totale geluidsproductie: de in- en uitlaat van de motor en de „tandwielenkast” zijn daarvan de duidelijkste voorbeelden. Ook de talloze turbulente luchtstromingen langs de helikopterhuid en de onderlinge interacties hiertussen (aërodynamische ruis) zijn mede verantwoordelijk voor het geluid zoals wij dat gewend zijn te horen en zoals het gewoonlijk direct wordt geassocieerd met een typisch helikoptergeluid.

In afb. 3 zijn de belangrijkste geluidbronnen aangegeven; afb. 4 illustreert in welk deel van het



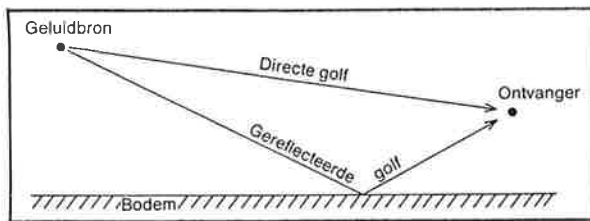
Afb. 4 Indicatie van bijdragen aan het spectrum

spectrum deze bronnen de meeste geluidsenergie leveren. De precieze vorm en amplitude van zo'n spectrum variëren per helikoptertype en zijn bovendien afhankelijk van onder meer de snelheid waarbij, en de oriëntatie waaronder de helikopter wordt waargenomen.

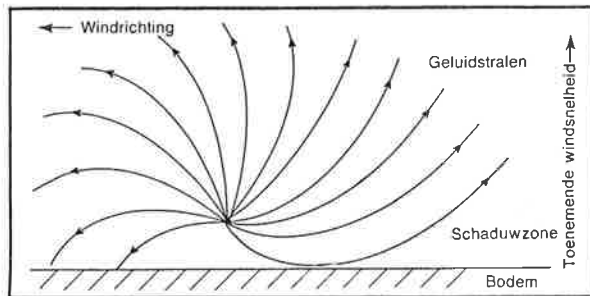
### Geluidsvoortplanting

Het proces van geluidsoverdracht is een intensief bestudeerd onderwerp; desondanks blijft het een moeilijke zaak nauwkeurig te voorspellen wat op een redelijk grote afstand van de bron het geluidsniveau is en hoe het originele signaal is vervormd.

Voor korte afstanden en in een vrije ruimte is het allemaal goed en nauwkeurig te berekenen; het effect van een aantal factoren dat het proces van geluidsoverdracht beïnvloedt is dan verwaarloosbaar en kan buiten beschouwing worden gelaten. De enige constante en betrouwbare invloed op de geluidverzwakking is in dat geval die welke wordt gegeven door de regel dat het geluidsniveau per afstandverdubbeling wordt gehalveerd. Hebben wij echter te maken met de geluidsoverdracht van een helikopter tot op afstanden van honderden meters of kilometers, dan spelen deze factoren wel een belangrijke rol. ▷



Afb. 5 Door sommatie van directe en door de bodem gereflecteerde golf treedt het grondeffect op



Afb. 7 Buiging van golven door verloop van windsnelheid in verticale richting

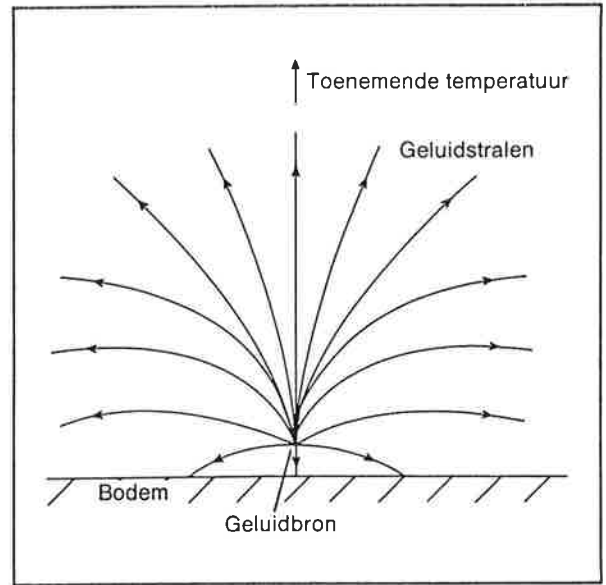
Iedereen zal bv. wel eens hebben gemerkt dat, liggend in het gras en luisterend naar het lawaai van een drukke verkeersweg in de verte, dat lawaai aanzienlijk minder is dan wanneer men recht op staat. Dit effect wordt bepaald door de bodem (afb. 5); het spreekt vanzelf dat de grootte van het effect afhangt van de samenstelling en de gesteldheid van de bodem.

Ook zal menigeen wel eens hebben gemerkt dat er momenten op een dag zijn (meestal rond zonsopkomst en zonsopgang) dat geluid tot op veel grotere afstand waarneembaar is dan normaal; de reden is dat het temperatuurverloop in verticale richting dan zodanig is dat de geluidsgolven naar beneden worden gebogen (afb. 6).

Een tamelijk triviaal voorbeeld is de invloed van windsnelheid en windrichting; minder triviaal is de grote invloed van windsnelheidsverandering met de hoogte. Ook dit effect veroorzaakt buiging naar de grond toe of ervan af: het verschil in geluidsniveau kan hierdoor dramatisch groot worden (afb. 7).

De lucht waarin het geluid zich voortplant absorbeert ook energie; de mate waarin is afhankelijk van de samenstelling van de lucht en is bovendien frequentieafhankelijk.

Realiseert men zich dat de meeste van genoemde effecten een sterk meteorologische oorsprong hebben (en dus ook sterk tijdafhankelijk zijn), dan is tevens duidelijk dat er enig verband bestaat tus-



Afb. 6 Buiging van golven door temperatuurverloop in verticale richting

sen de betrouwbaarheid van een weersverwachting en de voorspelling van een te ontvangen geluidsniveau.

### Geluidsensor

Het menselijk gehoororgaan is een uitstekende geluidsensor maar heeft als eigenschap dat de gevoeligheid bij lage frequenties sterk afneemt. Zoals te zien in bv. afb. 2 wordt juist bij deze frequenties veel energie geproduceerd; de frequentiearakteristiek van het oor is daarom minder geschikt voor detectie van helikopters op grotere afstand.

Bij het propagatieonderzoek wordt bij experimenten gebruik gemaakt van een goed gekalibreerde microfoon met een vlakke frequentiearakteristiek; wil men bovendien nagaan welke de mogelijkheden zijn om ook de richting te bepalen van waaruit een helikopter wordt gedetecteerd, dan is een *array* van microfoons noodzakelijk. De grootte van het *array* en het aantal microfoons hangen samen met de gewenste hoeknauwkeurigheid.

De gefoon is een andere sensor die in aanmerking komt; dit is een seismische sensor die reageert op bodemtrillingen die indirect ook door een helikopter worden opgewekt. De gefoon zal in het algemeen weinig extra informatie leveren maar kan desondanks nuttig zijn bij het herkennen van een helikopter.

---

## Omgevingslawaai

---

Behalve de al gesignaleerde grote invloed van de meteorologische gesteldheid op het detectiebereik speelt vanzelfsprekend ook het natuurlijke omgevingslawaai een belangrijke rol. Als het niveau daarvan toeneemt en de signaalkarakteristieken deels overeenkomen met die van helikopters, zal de prestatie van een akoestisch detectiesysteem onvermijdelijk verminderen. Erg veel aandacht wordt bv. besteed aan het onderzoek naar speciale constructies die de ruis in de microfoon als gevolg van wind moeten verminderen. Ook een regen- of hagelbui zullen het omgevingslawaai doen toenemen en de detectiekans doen afnemen.

Is het achtergrondlawaai afkomstig uit een bepaalde richting, dan is de invloed hiervan te verminderen door — met gebruik van *arrays* — de richtingsgevoeligheid aan te passen.

Indien de veroorzaker van het achtergrondlawaai een stilstaande bron is dan onderscheidt dat signaal zich van dat van een bewegend doel door het ontbreken van de Dopplerverschuiving; ook hier zijn dus mogelijkheden om door signaalprocessing de systeemdegradatie gedeeltelijk of geheel tegen te gaan.

Het is nog te vroeg om in zijn algemeenheid in kwantitatieve zin uitspraken te doen over al deze invloeden; wel worden in diverse laboratoria, behalve collecties van „schone” helikoptersignalen, ook typische achtergrondsignalen verzameld. Door beide te mengen kan de systeemdegradatie bij verschillende achtergrondsignalen worden bestudeerd.

---

## Experimenten

---

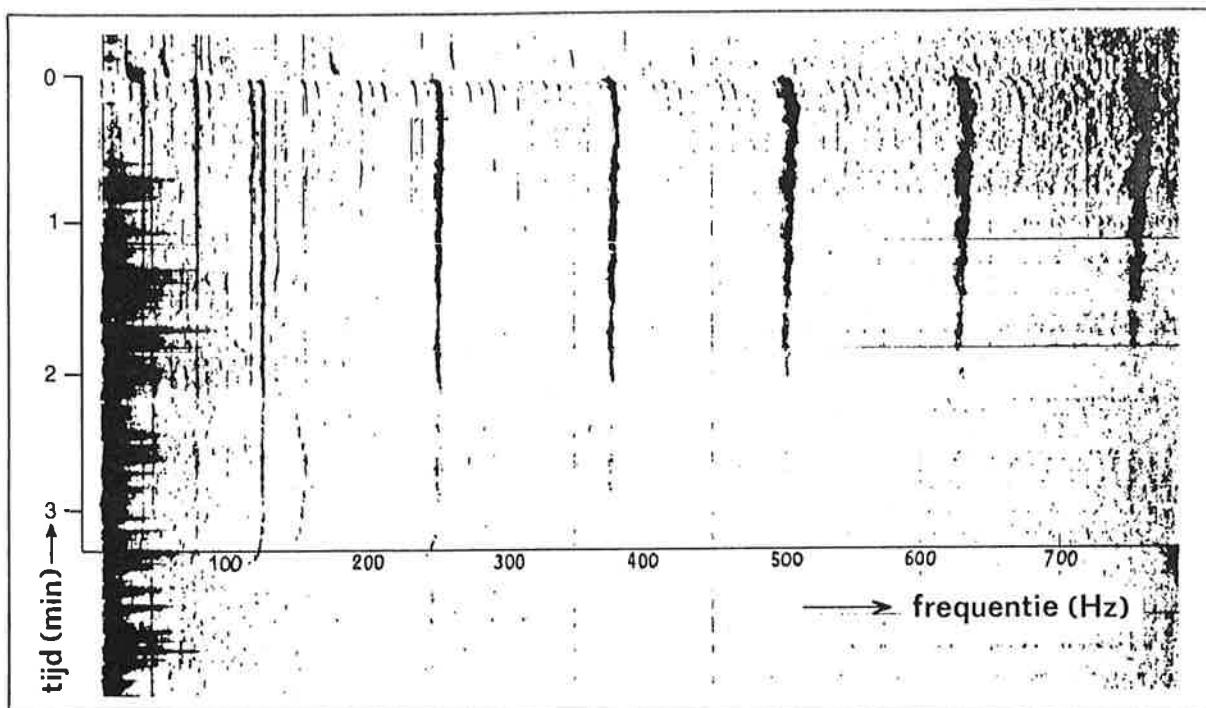
Onder auspiciën van een NAVO-onderzoeksgroep zijn onlangs twee omvangrijke experimenten te velde gehouden: het eerste in juli 1987 op een Amerikaanse basis in de Bondsrepubliek, het tweede in september 1988 op een buiten gebruik gestelde Franse basis. Doel hiervan was het verzamelen van signalen, afkomstig van diverse helikopters onder verschillende, maar goed bekende omstandigheden. Zo werden programma's opgesteld van bepaalde vliegpatronen en er werden

speciale teams ingehuurd om de meteorologische condities gedurende de tests vast te leggen. Bij het eerste experiment werden bovendien tegelijk, ter simulatie van achtergrondlawaai, zo nu en dan diverse militaire landvoertuigen ingezet. Voor hetzelfde doel werden geweer- en artillerievuur nagebootst. Tijdens het tweede experiment werd niet alleen door helikopters gevlogen maar ook werd door een tiental vliegtuigen een bepaald profiel gevlogen.

Alle aan de NAVO-groep deelnemende landen werden uitgenodigd hun steentje aan de organisatie bij te dragen en meetteams af te vaardigen. Voor Nederland kon, door de hulp van de Groep Lichte Vliegtuigen van de Koninklijke landmacht, worden bijgedragen door de inzet van een Alouette-3 en een BO-105; FEL-TNO was vertegenwoordigd door een meetteam. In totaal waren gemiddeld 18 meetteams uit 6 landen aanwezig. De meeste teams waren uitsluitend gekomen voor het verzamelen van signalen, enkele hadden echter al de beschikking over prototypesystemen waarmee helikopters akoestisch konden worden gedetecteerd en hun richting was vast te stellen.

Alhoewel de resultaten van deze tests nu nog hoofdzakelijk bestaan uit enorme hoeveelheden gegevens en de analyse daarvan nog maar net is begonnen, is in afb. 8 toch reeds een aardig voorbeeld gegeven. Hierin ziet men het lijnspectrum als functie van de tijd van een naderende, vrij lichte (en „dus” vrij stille) helikopter. Op het tijdstip  $t = 3$  was de afstand van de helikopter tot de sensor nog ongeveer 10 km, op tijdstip  $t = 0$  passeerde de helikopter de sensor. De harmonischen van de staartrotor zijn dus in dit geval, zelfs zonder speciale signaalprocessing, tot op ca. 10 km goed te zien. Onder dezelfde omstandigheden zijn de wat zwaardere helikopters tot op nog grotere afstand waar te nemen. Veranderen de meteoroccondities, de vlieghoogte of de oriëntatie van de helikopter dan verandert ook het detectiebereik.

Het is de bedoeling om m.b.v. de opgenomen signalen voor alle verschillende typen helikopters, in combinatie met de overige geregistreeerde informatie (meteo, helikopterpositie en -oriëntatie) een beeld te vormen van detectiebereik en herkenbaarheid. Te zijner tijd zal hierover in de NAVO-groep worden gerapporteerd. ▷



Afb. 8 Lijnspectrum als functie van de tijd van een naderende lichte helikopter; op  $t = 3$  ls de afstand ca. 10 km, op  $t = 0$  vliegt de heli over de sensor

### Conclusies

Zoals uit het voorgaande moge blijken is het nog te vroeg voor conclusies met betrekking tot bruikbaarheid of kwaliteit van akoestische helikopter-detectiesystemen omdat het gehele gebied nog in een onderzoek- en ontwikkelingsfase is; er is nog geen ervaring met bestaande systemen. Bovendien kan zo'n beoordeling pas worden gemaakt

nadat er meer duidelijkheid is over de wijze van toepassing en inzet („alert"-functie?, bewaking van bepaalde sectoren?, IFF?): dit onderwerp is bij diverse NAVO-landen in studie.

Wèl is duidelijk dat door bepaalde ontwikkelingen de belangstelling ervoor (en dus ook de „effort" die erin wordt gestoken) de laatste jaren sterk is toegenomen. De verwachting is dat het detectiebereik van een dergelijk systeem in de orde van grootte 3 à 6 km zal zijn, soms zelfs meer; voordelen zijn verder dat het systeem passief is en relatief goedkoop. Zéker is dat zulke systemen over een aantal jaren operationeel zullen zijn.

### Literatuur

J. B. Ollerhand — *Rotorcraft noise*. AGARD Lecture Series nr. 139 (1985).

J. R. Hassel en K. Zaveri — *Acoustic noise measurements*. Bruel & Kjaer, Naerum, DK (1979).

## U bent lid van de Koninklijke Vereniging ter Beoefening van de Krijgswetenschap,

tevens actief dienend officier van KL of KLu, en u gaat de dienst verlaten?

Meldt u dat dan s.v.p. even aan de ledenadministratie (Karel Doormanlaan 274, 2283 BB Rijswijk), dan wordt ervoor gezorgd dat u de Militaire Spectator blijft ontvangen!