

Vogeltrek-onderzoek met doelvolgradar

B. Bruderer

Inleiding

In Zwitserland werd in 1955 door dr. Ernst Sutter en leerlingen begonnen met de systematische studie van vogeltrek met behulp van radar. Analyse van radarfilms resulteerden in een reeks van artikelen die een heel nieuw beeld gaven van de patronen van vogeltrek boven het centraal-Zwitserse bergland. Er werd voornamelijk gebruik gemaakt van de rondzoekradar van vliegveld Kloten bij Zürich.

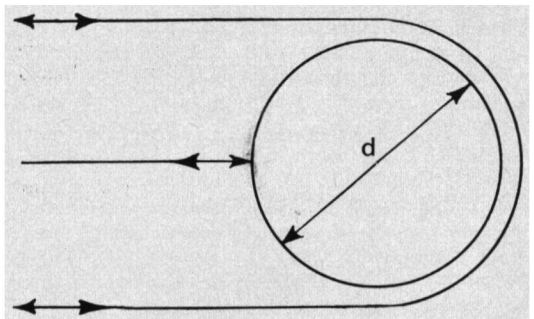
Sedert 1966 wordt ook doelvolgradar ingeschakeld bij de studies. Het gaat hierbij om een type dat wordt gebruikt bij de besturing van luchtafweergeschut de zgn. 'vuurleidingsradar'. Dit type radar zendt, in tegenstelling tot rondzoekradar, een zeer nauwe bundel radiogolven uit die het mogelijk maakt alle 3 ruimtelijke coördinaten van een vliegend object vast te stellen uit de afstand radar — object en breedtehoek en hoogtehoek van de antenne. Dank zij het grote oplossend vermogen van zulke apparatuur kan exact worden uitgeteld hoeveel vogels in elk hoogtebereik door de bundel vliegen. Bovendien kan elk object apart worden gevolgd middels computerbesturing van de volganterre. Dank zij de continue meting van de positie van het gevolgde object is het mogelijk tijdens het volgen volautomatisch het vluchtpad te laten uitschrijven. De variaties in de sterkte van de echo van losse vogels leveren gegevens op die het mogelijk maken te bepalen tot welke categorie, soms zelfs tot welke soort, een vogel behoort. Ten opzichte van de rondzoekradar heeft de doelvolgradar het nadeel dat de bundel zeer smal is waardoor slechts een kleine ruimte kan worden afgetast. Door een snelle scan-beweging in een bepaald vlak kan het 'vangoppervlak' worden vergroot.

Radarecho's van vogels

Electromagnetische golven leveren als regel echo's op, wanneer ze in het medium van voortplanting op delen stuiten die andere elektrische of magnetische eigenschappen bezitten (geleidingsvermogen, dielectriciteit, permeabiliteit).

De belangrijkste reflecterende stof in het vogellichaam is het water in het bloed en de spieren. Botten en veren reflecteren maar heel zwak. Hoewel het reflectiepatroon van een vogellichaam heel gecompliceerd is kan men zich het ontstaan van een vogelego het beste voorstellen aan de hand van een waterbolletje. De gemiddelde intensiteit van een vogelego komt ongeveer overeen met een waterkogel met het zelfde gewicht als de vogel. Een waterkogel reflecteert op zijn beurt half zoveel energie als een metalen kogel van gelijke diameter. Na correct ijken van de radar met een metaalkogel kan uit de teruggekaatste energie van gevolgde vogels ongeveer het gewicht worden herleid. De echo-energie varieert echter in het ritme van de vleugelslagbewegingen. Deze fluctuaties zijn des te sterker naarmate de vogel kleiner is ten opzichte van de golflengte. Dit komt omdat bij kleine objecten een direct teruggekaast deel en een om het object heenbuigend deel van de invallende bundel met elkaar interfereren (zie fig. 1). Deze twee golven hebben, overeenkomstig de variërende doorsnee van het vogellichaam, gedurende de vleugelslagbewegingen een wisselende fase-lengte ten opzichte van elkaar zodat de echo-intensiteit in het extreme geval ten opzichte van de gemiddelde waarde met een factor 4 kan oplopen respectievelijk afnemen (zie fig. 2). Op deze manier ontstaan 'echo signaturen' die het vleugelslagpatroon van de vogel weergeven.

Fig. 1 Model ter verduidelijking van de, in samenhang met vleugelslagbewegingen, optredende intensiteitswisselingen van de radarecho van een vogel. De echo bestaat grof gezien uit een direct gereflecteerde golf en een oppervlaktegolf die door buigingseffect om het lichaam krulpt waardoor fase-verschuivingen tussen beide golfdelen ontstaan. Dit leidt, vooral bij objecten in de grootteorde van de golflengte van de radar tot sterke intensiteitsvariaties van de totale gereflecteerde energie.



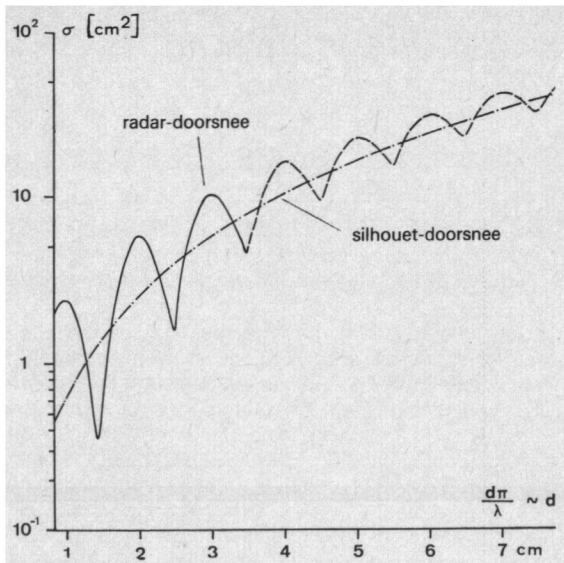


Fig. 2. Echo-oppervlak (σ) van waterkogels afhankelijk van de relatie omtrek vogel/radargolflengte (λ). Voor de 3-cm-radar komt deze verhouding ongeveer overeen met de vogeldoorsnede in centimeters. Op grond van het in fig. 1 beschreven interfereren neemt de, door de waterkogel gereflecteerde, energie niet in vaste verhouding tot de diameter van de kogel toe.

Als de omvang van de kogel precies met een veelvoud van de golflengte overeenkomt is de naar de radar teruggekaatste energie groter, wordt de omvang met een halve golflengte veranderd dan wordt de echo wezenlijk kleiner dan bij de reflectieverhoudingen in het zichtbare licht (silhouetoppervlak).

Het onderzoek met de 'Superfledermaus'

In 1968 stelde de Zwitserse firma Contraves AG gedurende 4 maanden een radar van het type 'Superfledermaus' voor vogelwaarneming ter beschikking (zie fig. 3). Daarna werd van soortgelijke apparatuur van het Zwitserse leger gebruik gemaakt. Door de voortdurende technische hulp van fabriek en leger en financiële bijdragen uit diverse stichtingen konden sedert 1968 verschillende onderzoeksprojecten, met in totaal 13 waarnemingsmaanden, worden uitgevoerd.

Het primaire doel van deze projecten was de studie van de weersafhankelijkheid van de vogeltrek. Het ging vooral om vragen over de invloed van verschillende weersfactoren elk apart of in combinaties, op de sterkte van de trek, vlieghoogte, vliegrichting en snelheid. Behalve puur wetenschappelijke belangstelling is er ook sprake van toepassingsmogelijkheden. De Europese commissie ter voorkoming van aanvaringen tussen vogels en vliegtuigen interesseert zich voor de gegevens. Zij wil daarmee komen tot nauwkeurige korte termijn voorspellingen van vogeltrekintensiteit en -hoogte, om afhankelijk daarvan waarschuwingen en aanwijzingen voor piloten uit te kunnen geven. De nieuwe mogelijkheden van doelherkenning (aan de hand van echosignaturen) en de interpretatie van onbekende echo's hebben bovendien de verdere ontwikkelingen van de eigenlijke radartechniek zelf beïnvloed (analyse van gegevens over het weer).

De nieuwere projecten dienden om onze kennis te verbeteren over de weersafhankelijkheid, ter verbetering van de identificatie mogelijkheden, en voor speciaal onderzoek aan oriëntatie-problemen (bijvoorbeeld winddrift) en vliegeconomie. Als specifiek Zwitserse opgave wordt de laatste twee jaren veel aandacht geschonken aan het thema 'vogeltrek over de Alpen'.

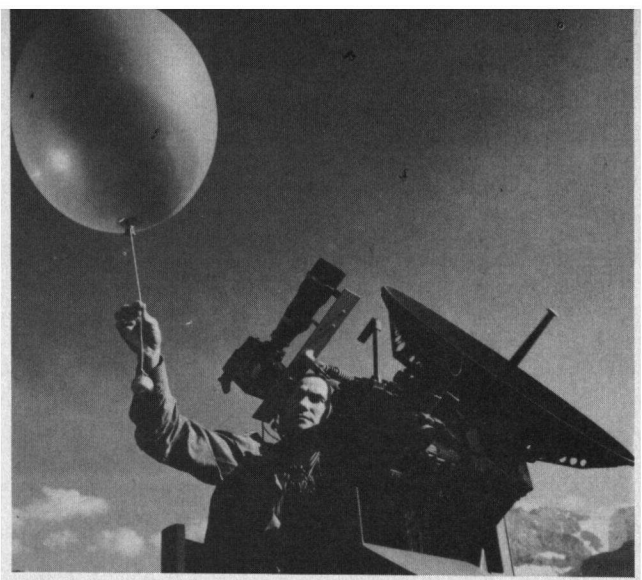
RESULTATEN

Vlieghoogte van trekkende vogels

De hoogte metingen met de doelvolgradar hebben duidelijk gemaakt dat in midden-Zwitserland gemiddeld 10% van de vogels hoger dan 2000 m vliegt, terwijl de allerhoogste op 4½ km zijn vastgesteld. De volgende 40% vliegt 's nacht tussen 2000 en 700 m, de resterende 50% beneden de 700 m. Overdag ligt de bovengrens ongeveer gelijk aan die van de nacht, de 50% grens echter lager, namelijk op circa 400 m (alles boven grondniveau).

In het algemeen werd bij mooi stabiel weer de grootste gemiddelde vlieghoogten bereikt, terwijl de nabijheid van slechtweerfronten de trek naar de onderste luchtlagen drukt. Frontbewolking schijnt een hoog opstijgen van de trek tegen te gaan, daarentegen vliegen de vogels voor een deel boven stratusdekens, ook als deze relatief hoog hangen. Bij ongestoorde weerssituaties daalt en stijgt de 90% grens van de trek in nauwe relatie tot de 0-graden grens in de atmosfeer. Slechts in 3 van 40 voorjaarsnachten lag de 0-graden grens hoger dan de bovengrens van de trek. De hoogste trekvogels vlogen zelfs geregeld in het

Fig. 3 Een windmetingsballon met aluminium reflector wordt van de 'toren' van de superledermaus-radarinstallatie losgelaten. De reflector wordt eerst optisch en aansluitend automatisch gevolgd. Het op een schrijver uitgetekende vluchtpad geeft aanwijzingen over richting en sterkte van de wind op alle hoogten.

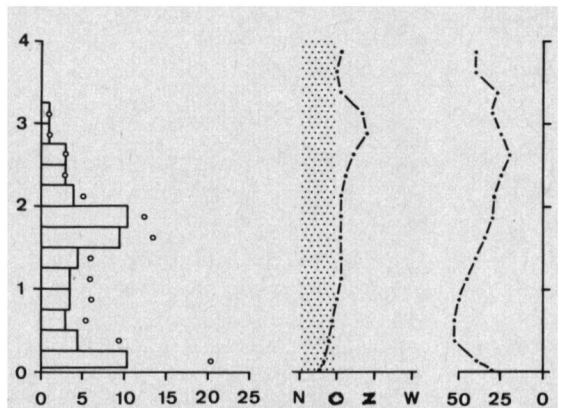


temperatuurgebied van -10 tot -15° C. De wind heeft sterke invloed op de trekhoogte: het lijkt er op dat de vogels een voorkeur hebben voor die hoogte waarop de voor hen gunstigste rugwinden heersen (zie fig. 4 en 5). De biologische betekenis van rugwinden en tegenwind is duidelijk; ook dat in de nabijheid van fronten laag wordt gevlogen is gezien de ongunstige weersomstandigheid heel begrijpelijk. Het feit echter dat vlieghoogten tot 5 km boven zeeniveau worden opgezocht (in een enkel geval boven de Alpen zelfs nog hoger) en dat er een samenhang van de vlieghoogte met de temperatuur in de atmosfeer bestaat, vraagt wat meer aandacht.

Met toenemende vlieghoogte neemt de **luchtweerstand** af, maar tegelijkertijd neemt ook de lift af. Een vogel moet dus, om de voor zijn vlucht noodzakelijke lift te behouden, hogerop sneller vliegen. Moet hij daartoe weliswaar een verhoogde krachtsinspanning leveren, hij komt bij gelijk totaal - energie - verbruik voor de hele vlucht sneller op de plaats van bestemming. Daardoor wint hij tijd voor zijn voeding, verkleint de invloed van windverdrifting en kan in één nacht grotere ongunstige gebieden oversteken. Omdat hij vliegtijd spaart verbruikt hij gedurende de vlucht ook minder reserves voor de spijsvertering en heeft ten slotte op de plaats van bestemming betere overlevingskansen dan een laag en daarmee langzamer vliegende vogel. Een bovengrens aan de vlieghoogte wordt gevormd door het feit dat met de hoogte ook de zuurstofdruk afneemt waardoor op gegeven moment niet meer genoeg zuurstof kan worden opgenomen om de vliegsnelheid verder op te voeren. Ook neemt het rendement van de vleugelslagbeweging met het ijler worden van de lucht af. Een soortgelijke werking als bij de luchtdichtheid kan men zich voorstellen bij de temperatuur. Lagere temperaturen zijn in principe voor een vogel met arbeidsintensieve slagvlucht gunstig, t \grave{e} lage temperaturen echter werken toch weer beperkend. Boven deze ondergrens is het voor vogels — die slechts zeer weinig overtollige warmte door verdamping kunnen afgeven — voordelig om bij de laagst mogelijke temperatuur te vliegen, daar die de warmte

Fig. 4 Hoogteverdeling van de voorjaarstrek bij rugwind. Geheel rechts de windsnelheid per hoogtelaag in km/uur, in het midden de herkomstrichting van de wind en de algemene trekrichting van de vogels (geschaduwde kolom). In het linker diagram is de trekfrequentie (staafjes) en de trekdichtheid (punten) per hoogtelaag weergegeven.

Onder trekfrequentie wordt verstaan: het aantal vogels dat per uur een registratievlak loodrecht op de trekrichting, en met een oppervlak van één ha, passeert. De trekdichtheid geeft op een bepaald moment het aantal vogels in een bepaalde ruimte aan. Bij rugwind komen op de hoogten met zwakke wind de laagste trekdichtheden voor.



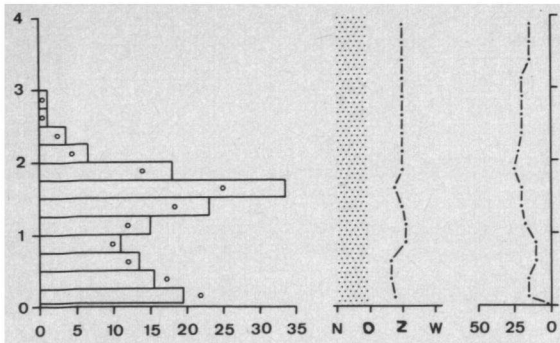


Fig. 5 Hoogteverdeling van de voorjaarstrek bij tegenwind. Zie voor de verklaring figuur 4 (pag. 175). Bij tegenwind is de trek op hoogten met de sterkste wind het zwakst.

afgifte vergemakkelijkt en tegelijkertijd de bij uitademing in de luchtzakken ontstane waterverliezen reduceert. Vermoedelijk is het zo dat om deze reden lange afstandstrekkers bij voorkeur 's nachts en op een zo grote hoogte vliegen.

Vliegsnelheden

Bij verwaarloosbare windkracht liggen de eigen snelheden van trekvogels meestal tussen 30 en 60 km/uur met een gemiddelde waarde van 50 km/uur. Per kilometer hoogte neemt de gemiddelde snelheid met zo'n 10% toe. Bij meewinden verminderen de vogels hun eigen snelheid met ongeveer éénderde van de windcomponent in de vliegrichting terwijl ze bij tegenwind de prestatie met een zelfde bedrag opvoeren.

In het algemeen streven vogels er tijdens de trek naar een zo economisch mogelijke vliegsnelheid te kiezen (dat is de snelheid met het grootste totaal-bereik bij gelijk energieverbruik), terwijl ze op voedselvluchten en bij vliegspelletjes niet zo zuinig met hun krachten hoeven om te springen. Vooral over de Gierzwaluw zijn wat dit betreft fraaie gegevens verzameld. Bij spel en jacht overheersten bij deze soort snelheden van rond 60 km/uur; op de trek vliegen ze met gemiddeld 40 km/uur rechtlijnig op hun doel af terwijl gedurende de nachtelijke slaapvlucht (meestal cirkelend) met minimale inspanning een snelheid van 23 km/uur wordt aangehouden.

Trekrichtingen in het Zwitserse 'Mittelland'

De hoofdtrekrichting verloopt zowel in voor- als najaar parallel aan de ketenstructuur van dit middelgebergte. Het lijkt er op dat de NO-ZW liggende bergketens van Jura en Alpen, of de daardoor gevormde windstromen, een sterk richtende invloed op de overheersende trekrichting hebben. Jaarlijks steken geweldige scharen trekvogels deze alpen over. Naast broedvogels uit de grote landmassa's in het NO passeren ook kleinere populaties uit het N en NW van Europa Zwitsers grondgebied. Een gevolg daarvan is dat de vliegrichtingsverdeling in het voorjaar een lichte assymetrie naar links te zien geeft (zie fig. 6).

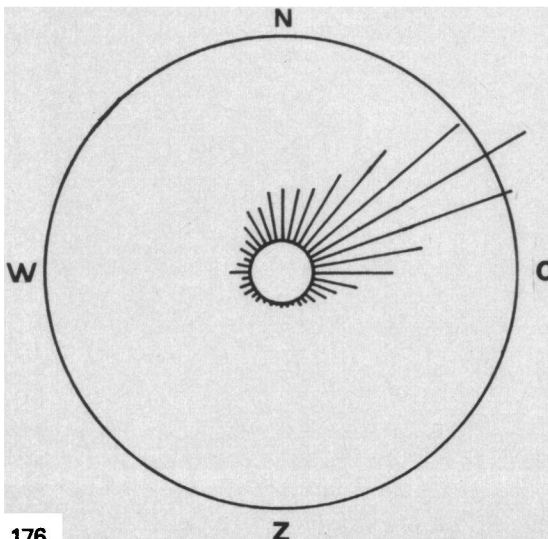


Fig. 6 Gemiddelde verdeling van trekrichtingen in het voorjaar. De hoofdtrekrichting ligt met 60° precies parallel aan de ketens van het Mittelland. Het aandeel n.- en nw-Europese broedvogels veroorzaakt assymetrie in de verdeling naar noord.

De analyse van de trekgedragingen per nacht bevestigt de mening dat de vogels in de eerste plaats die hoogten en die nachten prefereren waarin voor hen gunstige winden heersen. Zuidelijke winden hebben vooral sterke trek van de populaties voor N en NW Europa tot gevolg. Daarentegen bevatten westelijke winden (in richting rechts van de hoofdtrek richtingen dus) nauwelijks windcomponenten welke nuttig kunnen zijn voor bepaalde trekvogel-populaties. Als er onder die omstandigheden toch vogels vliegen moeten deze sterk compenseren voor windverdrifting, hetgeen inderdaad werd geconstateerd.

Metingen van windrichting en windsnelheid per hoogtelaag maakten duidelijk dat de vogels, bij weersituaties met voornamelijk potentiële meewinden, gedurende de eerste nachtelijke uren die hoogte opzoeken op welke voor hen de meest gunstige winden heersen. Zodoende bereikt elke populatie uiteindelijk met de meest gunstige windrichting zijn doel.

Trekintensiteit en weersverloop

Uit het Zwitserse onderzoek met de doelvolgradar tot nu toe, blijkt dat de grootste trekactiviteit niet tot de inducerende werking van één enkele weersfactor teruggebracht kan worden; integendeel, er blijkt een duidelijke samenhang met het totale weersverloop te bestaan. Lage drukgebieden trekken met hun warmte en koude fronten meestal vanuit W en NW over Midden-Europa. Zij produceren een karakteristieke verandering van windrichting, temperatuur, bewolking en verdere weersfactoren, welke uiteindelijk samenkerkende intensiteitswisselingen van de vogeltrek veroorzaken. Sterke trek treedt vooral regelmatig op als er een lage drukgebied links en/of een hoge drukgebied rechts van de hoofdtrekas ligt. In het voorjaar gaat het daarbij speciaal om de warmte sector aan de westzijde van een hoge drukgebied. In de herfst wordt de sterkste trekintensiteit gemeten bij de passage van een koude front aan de oostkant van een hoge drukgebied. Zowel in herfst als voorjaar hebben meewinden en de seizoengebonden temperatuurveranderingen duidelijke invloed op de trekactiviteit.

LOPENDE ONDERZOEKINGEN

Vogeltrek in de Alpen

Een eerste verkenning van de resultaten van het herfstonderzoek in de Hahnenmoospas (Berne Oberland, 1974 en 1975) rechtvaardigt de conclusie dat een deel van de door het lagere Mittelland trekkende vogels de oversteek over de hoge Alpen mijdt. Per tijdseenheid passeerden, over het hele seizoen gemiddeld, minder vogels door het afgetaste luchtruim in de Alpen dan door dat boven het Mittelland. Laag vliegende vogels worden door de landschapsstructuur gedwongen hoogte te winnen. De bovengrens van de trek lijkt echter eerder door de levensomstandigheden in de atmosfeer dan door de afstand tot de grond te worden bepaald. De bovengrens van de trek in de Alpen ligt namelijk niet wezenlijk hoger dan die in het Mittelland.

De gemeten hoogte records bedragen 3,7 km boven de grond en 5,7 km boven zeeniveau. Bergketens worden vooral bij rugwinden rechtlijnig overgestoken. Slechts bij tegenwinden zocht een deel van de trekkers de windschaduw van dalen op en volgt daardoor topografische lijnen. Naast verdere details over de verbanden tussen trek en het weer vormen nu ook bepaalde aspecten van het vlieggedrag onderwerp van studie zoals de veranderingen van de vleugelslagfrequentie en de vliedsnelheid bij opstijgen en dalen, bij tegen- en meewind en in relatie met de luchtdichtheid. Zulke gedetailleerde vragen kunnen echter pas goed beantwoord worden als bepaalde soorten van de totale massa's passerende trekvogels met

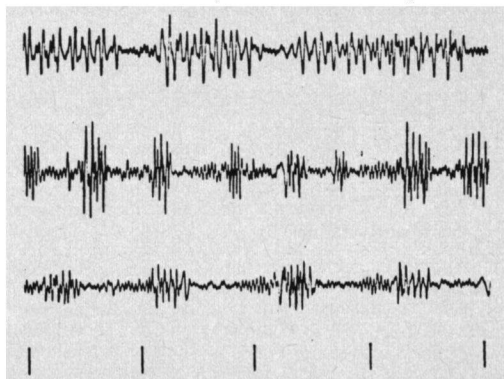


Fig. 7 Vleugelslagpatronen van Grote Lijster (boven), Vink (midden) en Witte Kwikstaart (onder). De streepjes onderaan geven de seconde-intervallen aan.

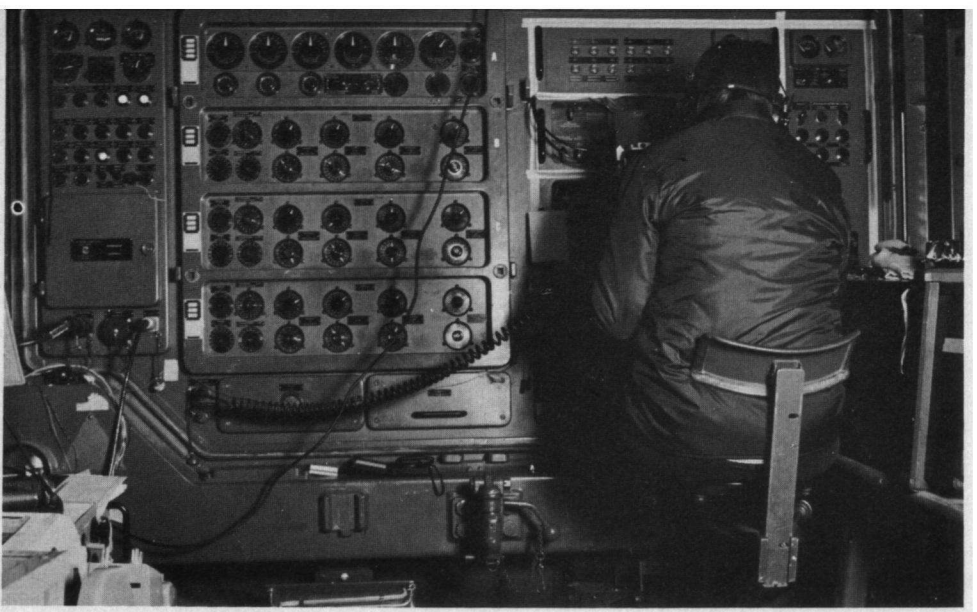


Fig. 8 Zoals bij de windmetingen, zo kunnen ook voor de automatisch gevolgde vogels richting, hoogte en snelheid op de instrumenten binnen in de radarbedieningsruimte afgelezen worden en op de registratieapparaten worden overgebracht. Tegelijkertijd wordt het vleugelslagpatroon van de gevolgde vogels opgetekend.

behulp van de radar herkenbaar zullen zijn en daardoor afzonderlijk kunnen worden bestudeerd. Daarom worden in het kader van het Hahnenmoospas onderzoek tijdens de radarstudie vogels (vooral nachttrekkers) gevangen. Deze dieren worden, na te zijn geringd, in de vroege ochtend met behulp van een ballon naar een hoogte van circa 100 m getransporteerd en daar losgelaten. Indien ze horizontaal wegvliegen kunnen ze met de radar automatisch worden gevolgd, waardoor vleugelslagkarakteristieken van, bij soortnaam bekende, vogels worden verkregen. Met deze referentiegegevens kunnen sommige van de onbekende, 's nachts met de radar, opgepikte en gevolgde, vogels worden gedetermineerd.

De herkenning van vogels op grond van radarsignalen

Zoals boven uiteengezet fluctueert de echosterkte mee met het vleugelslagritme. Wanneer elke vogelsoort een vaste vleugelslagfrequentie en karakteristieke lengte van slagfasen en glijpauzen heeft zou het er alleen nog om gaan uit te vinden welke karakteristieken bij welke soorten horen. Kortom het opzetten van een vergelijkingsbibliotheek van echosignaturen. Helaas hebben echter nogal veel soorten de zelfde grootte en een overeenkomstige vleugelstructuur waardoor vermoedelijk ook de vleugelslagkarakteristieken sterke onderlinge overeenkomst zullen vertonen. Het uiteenrafelen van alle typen tot op de soort wordt dan op grond van de twee genoemde eigenschappen onhaalbaar. Toch konden tot nu toe vleugelslagkarakteristieken van meer dan 40 verschillende soorten worden vastgelegd (zie fig. 7). Als we verder bedenken dat een getrainde veldornitholoog uit de bewegingen van een silhouet tegen de hemel herkenningsinformatie put, moeten we voor de radar-ornithologie hopen dat het in vele gevallen mogelijk zal worden nieuwe criteria voor de soortbepaling te vinden om daarmee voor het vogeltrekonderzoek nieuwe wegen te openen.

● Dr. B. Bruderer, Schweizerische Vogelwarte, CH-6204 Sempach, Zwitserland.

LITTERATUUR:

- Bruderer, B. (1969):** Zur Registrierung und Interpretation von Echosignalen an einem 3-cm-Zielverfolgungsradar. *Der Ornithologische Beobachter* 66: 70-88.
- Bruderer, B. (1971):** Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland. (Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges). *Der Ornithologische Beobachter* 68: 89-158.
- Bruderer, B. & J. Joss (1969):** Methoden und Probleme der Bestimmung von Radarquerschnitten frei fliegender Vögel. *Revue Suisse Zoologique* 76: 1106-1118.
- Bruderer, B., B. Jacquat & U. Brückner (1972):** Zur Bestimmung von Flügelschlagfrequenzen tag- und nachziehender Vogelarten mit Radar. *Der Ornithologische Beobachter* 69: 189-206.
- Bruderer, B. & E. Weltbauer (1972):** Radarbeobachtungen über Zug und Nachtflüge des Mauerseglers (*Apus apus*). *Revue Suisse Zoologique* 79: 1190-1200.