Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 155 (1975)

Rubrik: Fachvorträge

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 30.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Leere Seite
Blank page
Page vide

E. Fachvorträge

1. Astrophysik und Astronomie

1.1. A.O. Benz
(Gruppe für Radioastronomie, Mikrowellenlabor, ETH Zürich):
Plasmaphysik der Sonne
(Forschungstätigkeit der Gruppe für Radioastronomie, Zürich)

Zusammenfassung

Feinstrukturen in mm-dm-Radio- und harten Röntgenausbrüchen lassen sich erklären mit der Annahme, dass die emittierenden Elektronen durch schwache Plasmaturbulenz beschleunigt werden. Stösse mit dem koronalen Plasma können dann die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen so verändern, dass sie in Verlustkegelsituationen unstabil wird und (elektrostatische) Langmuirwellen exponentiell anwachsen. Diese werden zum Teil in (el.mag.) Radiowellen gestreut und wahrscheinlich als Typ IV-Bursts im dm-Wellengebiet beobachtet. Entweichende, d.h. nicht gefangene Teilchenströme können neben der gut bekannten Zweistrominstabilität (welche Typ III-Bursts erzeugt) auch elektromagnetisch unstabil werden (Ionenzyklotron-Instabilität) und somit die beobachteten Typ V-Ereignisse erklären.

1. Einleitung

Die 30 Jahre seit der Entdeckung der solaren Radioausbrüche (sog. Bursts) haben eine Vielfalt von Erscheinungen und einen Reichtum an Feinstrukturen in diesen Ereignissen zutage gebracht. Erst von zwei Kategorien von Bursts (Typ II und III) in den m- und dm-Wellen ist der Mechanismus mit einiger Sicherheit bekannt. Durch die rasanten Fortschritte in der Plasmaphysik, aber auch in der digitalen Messtechnik ist zu erwarten, dass diese Erscheinungen in nächster Zukunft einer Erklärung näher kommen werden.

Die Dissipation magnetischer Energie und die Beschleunigung energetischer Teilchen im Plasma bilden einen wichtigen, grösstenteils noch ungelösten Problemkreis in der Astrophysik und speziell in der Physik der Sonne. Da durch die Radiobursts z.T. die Teilchen in situ beobachtet werden kön-

nen, ist zu hoffen, dass zusammen mit Teilchenbeobachtungen in anderen Spektralgebieten und guten Kenntnissen in Plasmaphysik die Radioastronomie einen neuen Zugang zur alten Frage nach dem Eruptionsprozess der Sonne findet.

2. Die Beschleunigung schwach relativistischer Elektronen

Wegen ihrer Ineffizienz kommen Fermi-Beschleunigung und direkte Beschleunigung mit Runawayelektronen durch ein E-Feld für solare Eruptionen nicht in Betracht (cf. Hoyng et al., 1975). Der gegenwärtig aussichtsreichste Mechanismus ist die resonante Teilchen-Wellen-Wechselwirkung mit schwach turbulenten Langmuirwellen. Diese Wellen werden durch starke Ströme (z.B. in Neutralschichten) unstabil und an Ionen zu einer breiten Verteilung im (Phasen-)Geschwindigkeitsraum gestreut. Die resultierende Energieverteilung der relativistischen Elektronen hat dann die ungefähre Form (Tsytovich, 1972)

$$f(E) \sim E^2 \exp(-E/T_{eff}), \tag{1}$$

wo E die totale Energie und T_{eff} die effektive Temperatur der energetischen Elektronen sind. Der Spektralindex δ beträgt dann:

$$\delta \equiv -\frac{d \log f}{d \log E} = -2 + \frac{E}{T_{eff}} \cdot \tag{2}$$

Die beobachtbaren Spektralindizes der Bremsstrahlung (harte Röntgen), γ, und der Synchrotronstrahlung (mm-dm-Radio), α, haben folgende Beziehung zu δ:

$$\gamma \approx \delta + 0.5 \tag{3}$$

$$\alpha \approx \frac{\delta - 1}{2} \approx \frac{\gamma - 1.5}{2} \tag{4}$$

Vermutlich wegen räumlicher Unterschiede in T_{eff} sind die beobachteten Spektren im harten Röntgengebiet allerdings meistens eher einer Exponential- als einer Maxwellverteilung ähnlich. Da bei beiden Strahlungen die Intensität bei fester Frequenz proportional zu f (E) ist, erwartet man, dass die Intensitäten und Spektralindizes antikorreliert sind. Dies wird für beide Strahlungen durch die Figuren 1 und 2 bestätigt. Ungeklärt bleibt, warum bei den Röntgenbeobachtungen eine gewisse energieabhängige Phasenverschiebung gemessen wird.

3. Instabilität der gefangenen Elektronen

Beschleunigte Elektronen können in magnetischen Flaschen für viele Minuten gefangen bleiben und dabei Synchrotronstrahlung produzieren. Dies ist der allgemein anerkannte Mechanismus für breitbändige, flareassoziierte Kontinuumsstrahlung von mm bis m Wellenlänge (Typ IV). Im dm-Gebiet treten aber Typ IV-Bursts mit ausserordentlich schmaler Bandbreite und

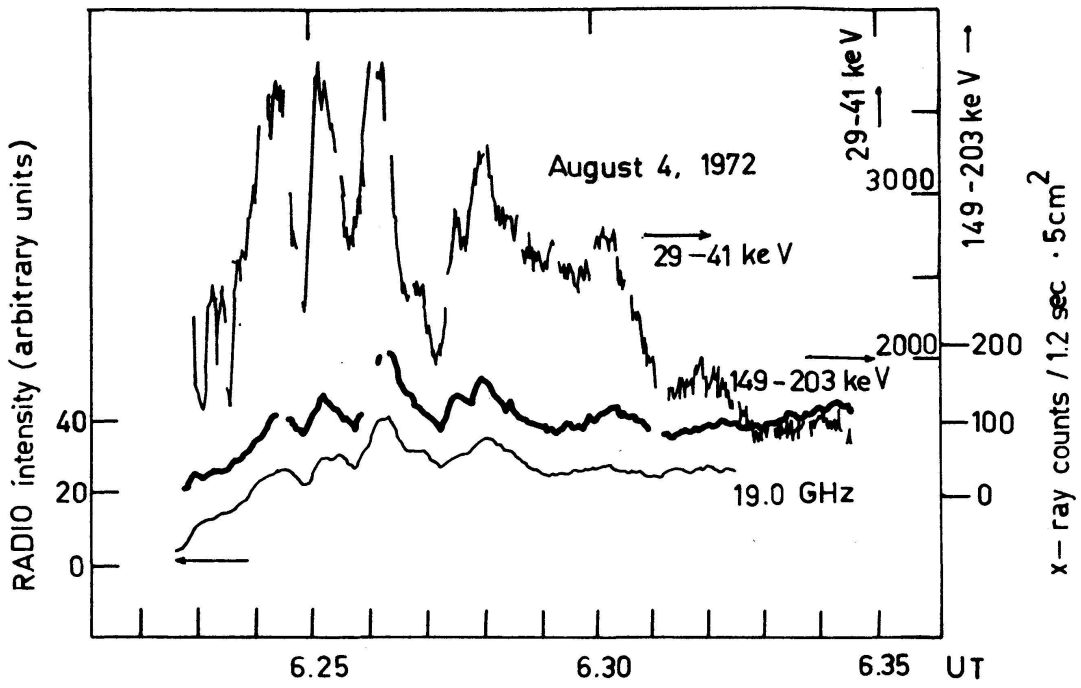

Abb. 1: Korrelation vom Röntgenfluss (z.B. Kanäle 29-41 keV und 169-203 keV, Daten vom ESRO-Satelliten TD-1A) mit dem 19 GHz Mikrowellenfluss F (Daten von Slough, England) (aus Benz, 1976).

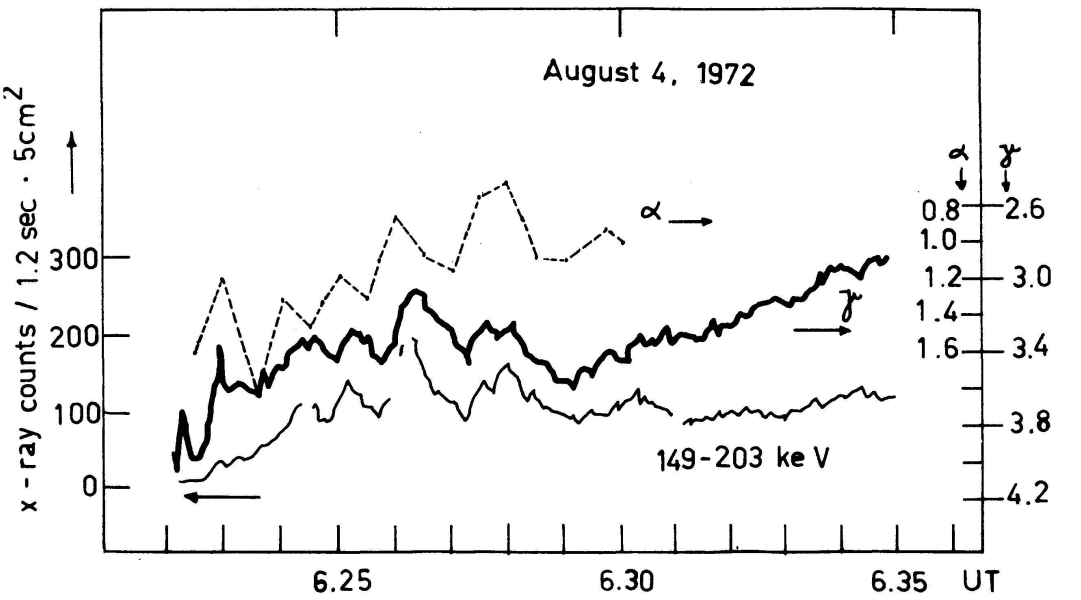

Abb. 2: Korrelation der spektralen Indizes von harten Röntgenstrahlen γ und Synchrotronstrahlung α (hochfrequente Seite vom Maximum) und Antikorrelation mit der Intensität, z.B. Röntgenfluss im Kanal 169-203 KeV (aus Benz, 1976).

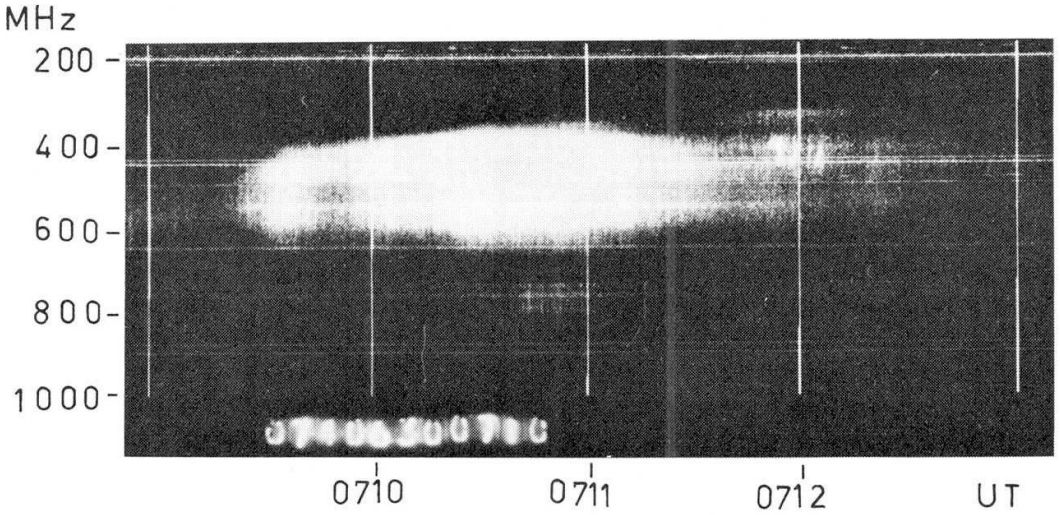

Abb. 3: Typ IV-dm-Radioburst vom 30. Juni 1974, 0710 WZ beobachtet mit dem Radiospektrographen der ETH in Dürnten. Die Frequenzskala geht von 100 MHz (oben) linear bis 1000 MHz (unten); vertikale Striche sind Minutenmarken, und horizontale Linien sind terrestrische Störsignale. Man beachte vor allem vertikale Feinstrukturen und die schmale Bandbreite.

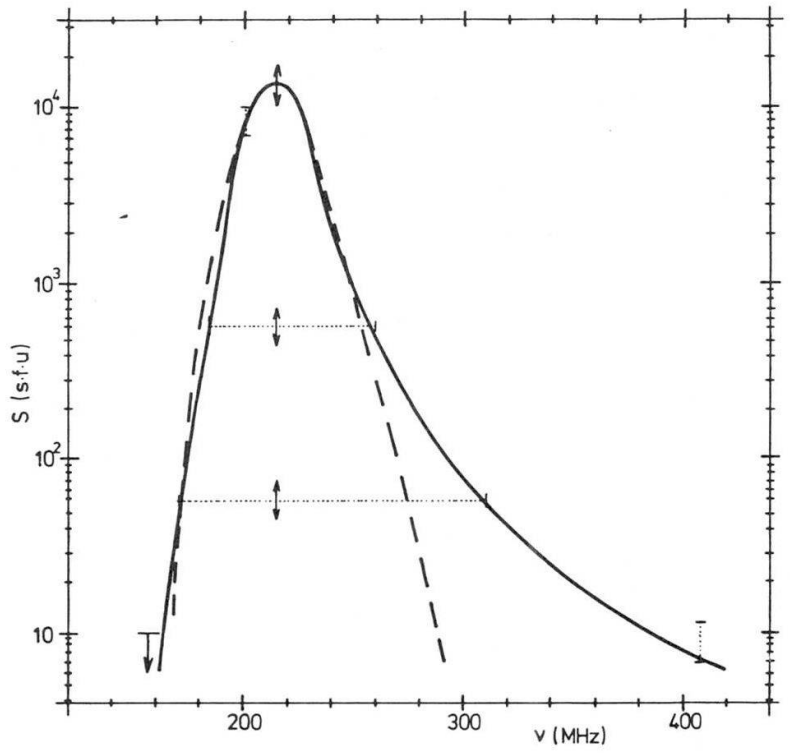

Abb. 4: Spektrum des Radioausbruchs vom 30. Januar 1970 im dm-Gebiet. Die gestrichelte Kurve stellt die berechnete, Razin-unterdrückte Synchrotronemission (in willkürlichen Einheiten) dar für monoenergetische Elektronen (v/c = 0.5) und Pitchwinkel = Aufsichtswinkel = $\pi/2$. Diese Kurve liefert eine relativ gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen und ist die energetisch günstigste aller möglichen Parameter (aus Benz und Tarnstrom, 1976).

enormer Vielfalt von Feinstrukturen auf (Abb. 3). Benz und Tarnstrom (1976) konnten dank den Näherungsformeln von Tarnstrom (1974) zeigen, dass der Synchrotronmechanismus im Plasma (Razin-Effekt) zwar das Spektrum dieser Bursts produzieren könnte (Abb. 4); aber die Intensität wäre so klein, dass eine physikalisch unmöglich hohe Dichte von energetischen Elektronen nötig würde. Das Verhältnis der Energiedichte der Teilchen zu dem des Magnetfeldes wäre grösser als 10^{30}, was extrem unstabil wäre.

Somit kommen nur noch Plasma-Emissionsprozesse in Frage wie z.B. die von Kuijpers (1974) vorgeschlagene Verlustkegel-Instabilität. Benz und Kuijpers (1976) bewiesen, dass durch Coulomb-Stösse die Verteilung von gefangenen Elektronen in einer offenen Magnetfeldkonfiguration, wie z.B. einem koronalen Bogen, nach einer gewissen Zeit unstabil gegen Langmuirwellen wird, welche durch induzierte Streuung an Ionen in elektromagnetische Strahlung umgewandelt werden kann. Da die Plasmafrequenz in der unteren Korona dm-Radiowellen entspricht, wird diese Strahlung nur in diesem Gebiet beobachtet.

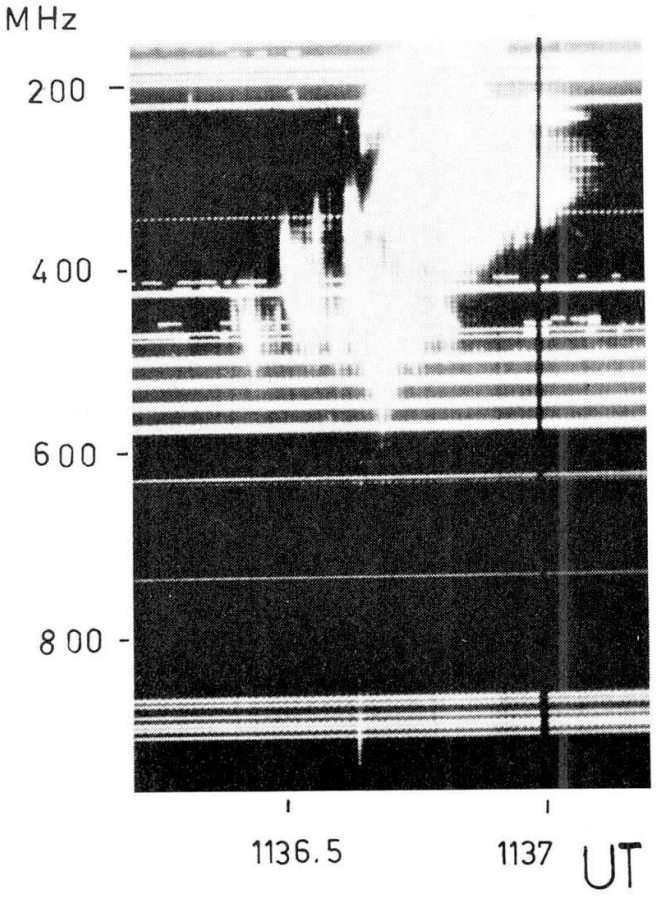

Abb. 5: Aufzeichnung des Typ III/V-Ausbruchs vom 24. Oktober 1972 mit dem Radiospektrographen der ETH und mit gleicher Darstellung wie in Abb. 3. Man beachte die verschiedene Form des Typ V-Bursts (nach 1136.7 WZ und unterhalb 400 MHz) von den vorangehenden Typ III-Bursts und die harmonische Struktur (Frequenzverhältnisse 2 : 3) im ersteren (aus Benz, 1973).

4. Elektromagnetische Instabilität entweichender Elektronen

In Figur 5 sind einige Typ III- und ein Typ V-Ereignis abgebildet. Bei den ersten ist man sicher, dass sie von der Sonnenatmosphäre entweichenden, schwach relativistischen Elektronen stammen, die bis in Erdnähe gelangen und von interplanetaren Messstationen schon direkt detektiert wurden. Die Elektronenströme sind wahrscheinlich zweistrominstabil, d.h. sie produzieren Langmuirwellen, welche dann in Radiowellen gestreut und als Typ III-Bursts empfangen werden. Die gelegentliche Typ V-Verlängerung von Typ III-Ereignissen wurde bisher durch in Bogen eingefangene Elektronen erklärt (Weiss und Steward, 1965).

Beobachtungen zeigen aber deutlich, dass es nicht nur die lokale Magnetfeldkonfiguration sein kann, die entscheidet, ob ein Typ V-Burst auftritt, sondern auch die Strahldichte. So ist z.B. die Wahrscheinlichkeit, dass ein Typ III-Burst eine Typ V-Erscheinung hat, 4mal grösser, wenn er mit einem Flare assoziert ist, und etwa 5mal grösser, wenn er mit einem cm-Ausbruch korreliert. Es ist wahrscheinlicher, dass der Elektronenstrahl des Typ III-Bursts auch unstabil wird gegen Ionenzyklotron-Wellen (elektromagnetische, links polarisierte, niederfrequente Wellen) (Benz und Pilipp, 1976).

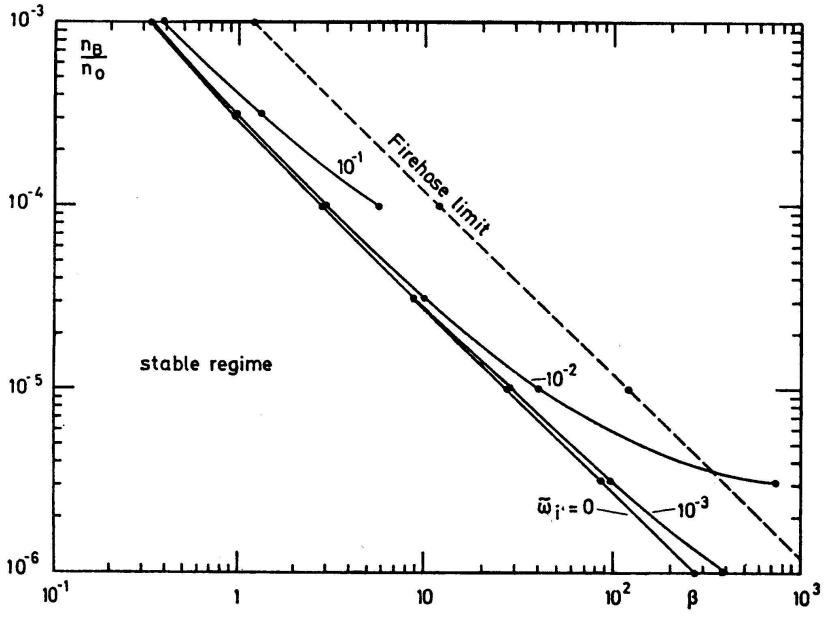

Abb. 6: Graphische Darstellung der numerischen Lösungen der Dispersionsrelation von Ionenzyklotronwellen in beliebig warmem Plasma. Es sind Kurven gleicher Anwachsrate $\tilde{\omega}_i$, aufgetragen mit β, dem Quotienten von Teilchen- zu magnetischer Energiedichte, als Abszisse und dem Verhältnis der Strahldichte n_B zur Hintergrunddichte n_o als Ordinate. Gestrichelt ist die Grenze angegeben, bei welcher die nichtresonante Feuerwehrschlauch-Instabilität auftritt, die im wesentlichen Alfvènwellen anregt (aus Benz und Pilipp, 1976).

Diese Instabilität verlangt ein kleines Magnetfeld und grosse Strahldichte (siehe Abb. 6), was mit den Beobachtungen gut übereinstimmt. Dabei werden die Elektronen z.T. in transversale Bahnen gestreut, womit sie am schnellen Entweichen gehindert werden. Die gestreuten Elektronen werden in kurzer Zeit selber wieder Langmuir-instabil, womit die Emission der Typ V-Strahlung beginnt.

Literatur

Benz, A.O.: 1973, Nature, 242, 38.
Benz, A.O.: 1976, Artikel an Astrophysical Journal eingesandt.
Benz, A.O. und Kuijpers, J.: 1976, Artikel an Solar Physics eingesandt.
Benz, A.O. und Pilipp, W.: 1976, Manuskript in Vorbereitung.
Benz, A.O. und Tarnstrom, G.L.: 1976, Astrophysical Journal, im Druck.
Hoyng, P., Brown, J.C. und van Beek, H.F.: 1975, eingesandt an Solar Physics.
Kuijpers, J.: 1974, Solar Physics, 36, 157.
Tarnstrom, G.L.: 1974, Proc. 4th Meeting CESRA, ed. E. Schanda, p. 159.
Tsytovich, V.N.: 1972, An Introduction to the Theory of Plasma Turbulence, Pergamon Press, p. 107.
Weiss, A.A. und Steward, R.T.: 1965, Austr. J. Phys., 18, 143.

1.2. M.C.E. Huber, H.P. Mühlethaler, H. Nussbaumer: **Die Gruppe für Atom- und Astrophysik ETH Zürich**

Die Haupttätigkeit der Gruppe bezieht sich auf die Sonne: die Übergangszone Chromosphäre–Korona, und die Korona. Wir stützen uns dabei auf Beobachtungen von Satelliten und Raketen oder helfen bei der Planung solcher Beobachtungen. Um die höchstmögliche Qualität der atomaren Daten zu erreichen, sind wir selbst aktiv in der theoretischen und Laboratoriumsatomphysik und pflegen entsprechende Kontakte zu anderen Instituten.

Die von OSO 6 im Jahre 1969 aufgezeichneten Spektren (Huber et al., 1973) bildeten die Grundlage für mehrere Arbeiten unserer Gruppe, wovon Studien über die Emission Li-artiger und Na-artiger Ionen und über die Interpretation des C III-Spektrums bereits erschienen sind (Flower & Nussbaumer, 1975 a, b; Loulergue & Nussbaumer, 1974). Das Studium des C III-Spektrums ergab für die untere Chromosphäre-Korona-Übergangszone einen Gasdruck, der nur ein Zehntel des Koronagasdrucks beträgt. Dieses Resultat löste eine Kontroverse aus (Jordan, 1974), die noch nicht abgeschlossen ist; sie zeigte die Notwendigkeit ständiger Kontakte zwischen Forschern, die sich mit den verschiedenen Aspekten eines komplexen Problems befassen. Als Beitrag zur Klärung der offenen Fragen wurden in unserer Gruppe das Ionisationsgleichgewicht des Kohlenstoffs neu berechnet (Nussbaumer &

Storey, 1975) und die Zuverlässigkeit der Übergangswahrscheinlichkeiten des C^{+2} genau untersucht sowie A und gf weiterer Elemente der Be I-Sequenz berechnet (Mühlethaler & Nussbaumer, 1976). Modellrechnungen zur Übergangszone sind ebenfalls in Bearbeitung.

Währenddem der OSO 6-Spektralbereich von 300Å – 1400Å reichte, hoffte man während des nächsten Sonnenflecken-Maximums den Spektralbereich von 10Å – 2000Å spektral hochauflösend zu beobachten. Die Vorbereitung und spätere Auswertung solcher Beobachtungen erfordert eine ausgedehnte Zusammenarbeit für die Bereiche Instrumentation, Katalog der zu beobachtenden Linien, deren Nützlichkeit für die Plasmadiagnostik. An diesen Programmen beteiligen wir uns ebenfalls in engem Kontakt mit Gruppen von Harvard, London, Meudon. Zum Beispiel ist das systematische Studium von Fe XVI-Fe XXV vorgesehen. Fe XVII wurde bereits untersucht (Loulergue & Nussbaumer, 1973, 1976), und vorher unerklärte Intensitätsverhältnisse konnten als Folge spezieller Anregungsprozesse erklärt werden.

Für die visuellen Koronaspektren wird versucht, weitere noch unbekannte Linien zu identifizieren; Übergänge im Fe X und Fe XI sind Kandidaten (Mason & Nussbaumer).

Wir beteiligten uns an der ersten Auswertung der Messungen mit dem Harvard-Spektroheliometer auf Skylab. Von den Publikationen über erste Resultate sei hier nur diejenige über Koronalöcher erwähnt (Huber et al., 1974).

Unsere Gruppe ist auch weiterhin an der Eichung des Skylab-Instruments der Harvard-Universität beteiligt (Huber, Reeves und Timothy, 1975). Das wichtigste Resultat dieser Arbeiten ist die Entdeckung, dass die extrem ultraviolette Strahlung der ruhigen Sonnenatmosphäre während der Skylab-Mission abgenommen hat (Timothy, 1975).

Die Intensitätsabnahme der extrem ultravioletten Sonnenstrahlung ist – wie sich gezeigt hat – für einige Theoretiker nicht ganz unerwartet. Auch wurden in anderen Wellenlängengebieten (namentlich oberhalb 2000 Å) noch wesentlich grössere zeitliche Veränderungen beobachtet. Auch der über 180 Tage gemittelte Radioflux bei ~10 cm zeigt einen qualitativ gleichen zeitlichen Verlauf wie die extrem ultraviolette Strahlung.

Mit der Intensitätsabnahme ist auch eine Veränderung der atmosphärischen Feinstruktur verbunden: Der Kontrast zwischen chromosphärischem Netz und den davon eingerahmten Konvektionszellen nimmt mit der Intensität zusammen ab. Die zeitliche Änderung des Kontrasts ist in der Übergangszone zwischen Chromosphäre und Korona am stärksten.

Die Implikationen dieser Intensitätsabnahme sind tiefgreifend: Die Annahme liegt nahe, dass der Intensitätsabfall mit dem gleichzeitigen Zurückgehen der Sonnenaktivität und darum auch mit dem 11jährigen Aktivitätszyklus verbunden ist.

Die mit der Intensitätsabnahme verbundene Strukturveränderung des chromosphärischen Netzes ist für den Sonnenphysiker von Interesse im Zusammenhang mit den Problemen des Energietransports in die Korona. Von allgemeinerem Interesse ist die Tatsache, dass mit der Annahme der extrem ultravioletten Strahlung der ruhigen Sonne ein Messwert zur Verfügung steht, der dank seiner kumulierenden Wirkung möglicherweise zu einer rationalen Erklärung von Beziehungen zwischen solaren und meteorologischen Phänomenen führen könnte.

Die Erforschung atomarer Strukturen von astrophysikalischem Interesse betreiben wir sowohl im Labor wie auch theoretisch. Eine theoretische Untersuchung des C II wird im Anschluss an eine sehr gründliche beam-foil-Messung in Lyon von Mühlethaler (1975) durchgeführt.

In unseren experimentellen Laboratoriums-Arbeiten beschäftigten wir uns mit der Bestimmung von Oszillatorenstärken und Photoionisations-Querschnitten in Cr I und auch von Brechungsindizes verschiedener Gase. Der Wellenlängenbereich dieser Messungen liegt in der Regel zwischen 1700 und 3000 Å. Die Messungen selbst wurden von Huber und Kollegen in Übersee durchgeführt, und die Resultate sind zum Teil bereits publiziert (Smith, Parkinson und Huber, 1975; Smith, Huber und Parkinson, 1975; Huber, Sandeman und Tubbs, 1975; Huber und Sandeman, 1975). Die erhaltenen Daten sind von atomphysikalischem Interesse, weil sie zur Überprüfung theoretischer Berechnungen in komplexen atomaren Systemen dienen können.

Die mit einer kombinierten Haken- und Absorptionsmethode gemessenen Oszillatorenstärken des neutralen Cr-Atoms haben auch bereits astrophysikalische Anwendungen gefunden: Sie werden gegenwärtig in einer Bestimmung der solaren Borhäufigkeit aus Spektren benützt, die von der Harvard-Gruppe mit Hilfe von Sondenraketen aufgenommen worden sind. Die CrI-gf-Werte dienen dazu, das lokale Kontinuum in der Umgebung der Bor-Resonanzlinie bei 2498 Å zu bestimmen. Es sei auch erwähnt, dass unsere Daten erstmals experimentelle Werte für die beiden prominenten CrI-Resonanz-Tripletts bei 2095 und 2366 Å liefern. Die entsprechenden Linien könnten in astrophysikalischen Wolken niederer Dichte, also im interstellaren Medium, auftreten.

Literatur

Huber, M.C.E., Dupree, A.K., Goldberg, L., Noyes, R.W., Parkinson, W.H., Reeves, E.M., Withbroe, G.L., 1973, Ap. J., 183, 291.

Flower, D.R., Nussbaumer, H., 1975a, Astron. & Astrophys., 39, 295.

Flower, D.R., Nussbaumer, H., 1975b, Astron. & Astrophys., 42, 265.

Loulergue, M., Nussbaumer, H., 1974, Astron. & Astrophys., 34, 225.

Jordan, C., 1974, Astron. & Astrophys., 34, 69.

Nussbaumer, H., Storey, P.J., 1975, Astron. & Astrophys. (in press).

Mühlethaler, H.P., Nussbaumer, H., 1976, Astron. & Astrophys., 48, 109.

Loulergue, M., Nussbaumer, H., 1973, Astron. & Astrophys., 24, 209.

Loulergue, M., Nussbaumer, H., 1975, Astron. & Astrophys., 45, 125.

Mühlethaler, H.P., 1976, in Bearbeitung.

Smith, P.L., Parkinson, W.H., Huber, M.C.E., 1975, Opt. Commun., 14, 374.

Smith, P.L., Huber, M.C.E., Parkinson, W.H., 1976, Phys. Rev. A13, 1422.

Huber, M.C.E., Sandeman, R., Tubbs, E.F., 1975, Proc. R. Soc. Lond. A 342, 431.

Huber, M.C.E., Sandeman, R.J., 1976 (wird an Proc. R. Soc. Lond. A eingereicht werden).

Huber, M.C.E., Reeves, E.M., und Timothy, J.G., 1976, Appl. Optics (in press).

Timothy, J.G., 1975, Bull. Am. Astron. Soc., 7, 407.

Mason, H.E., Nussbaumer, H., 1976, Astron. & Astrophys. (in press).

Huber, M.C.E., Foukal, P.V., Noyes, R.W., Reeves, E.M., Schmahl, E.J., Timothy, J.G., Vernazza, J.E., Withbroe, G.L., 1974, Astrophys. J. (Letters), 194, L 115.

1.3 J.-Cl. Mermilliod et B. Hauck:
Activité de l'Institut d'Astronomie de l'Université de Lausanne, 1974–1975

Le groupe a poursuivi ses recherches dans les domaines suivants:
– étude photométrique des étoiles Ap
– études comparatives des divers systèmes photométriques
– mises à jour des fichiers photométriques existants.

Les points importants sont les suivants:

1) Photométrie des étoiles Ap (B. Hauck)

L'analyse des mesures faites dans le système de Genève a été approfondie et deux résultats intéressants ont été obtenus:
a) Δ (VI-G), qui est une mesure de l'absorption se produisant vers 5300 Å, est correlé avec Δd, l'écart entre d (*Ap) et d (*normale), d étant une mesure de la discontinuité de Balmer.
b) D'autre part, Δ (VI-G) est correlé avec /He/max, la valeur du champ magnétique.

2) Relation entre paramètres de températures de divers systèmes photométriques (B. Hauck)

L'étude des effets de la composition chimique sur les relations étudiées précédemment par Hauck et Magnenat a été faite à l'aide des sous-naines, des étoiles Am et Ap mesurées dans les divers systèmes.

3) Développement des fichiers photométriques

Etant donné que de nouvelles données photométriques sont constamment utilisées, nous avons entrepris la mise à jour de nos fichiers, pour les systèmes actuellement en utilisation, soit les systèmes uvbyβ, UBV, DDO, UBVRIJHKLMN principalement. Nous avons reçu de nombreuses mesures non publiées (UBV du Cap, DDO, Chalonge), qui donnent à nos fichiers un intérêt supplémentaire.

4) Catalogues réalisés

a) Catalogue des mesures dans le système uvby Hβ (B. Hauck et M. Mermilliod). Une mise à jour du catalogue de Lindemann et Hauck a été faite. Le nouveau catalogue contient 9500 étoiles. Une description de la bande magnétique est publiée dans Astron. Astrophys. Suppl. 22 (1975).

b) Catalogue des mesures photométriques UBV et des types spectraux MK dans les amas ouverts (J.-Cl. Mermilliod). Ce catalogue fait le point (fin 1974) sur l'état des données concernant les amas ouverts, comblant ainsi

une lacune importante entre les catalogues de Becker et Fenkart (distances) et de Hagen (atlas des diagrammes V/B-V).
Son contenu est le suivant:
Photométrie UBV photoélectrique:
10816 mesurés / 8893 étoiles
(85 % avec 1 mes., 11 % avec 2 mes., 3 % *mes.)
Types spectraux MK: 3192 déterminations / 2318 étoiles
(72 % avec 1 seul type, 21 % avec 2, 5 % à 3)
Ce catalogue sera publié dans Astron. Astrophys. Suppl.

c) Catalogue des mesures dans le système Barbier-Chalonge-Divan (P. Magnenat). Il contient quelques 800 mesures effectuées dans le système spectrophotométrique de Chalonge. La première révision pour inclure 400 mesures non publiées mises à notre disposition par Chalonge, est en cours.

d) Catalogue des mesures dans le système UBV du Cap (B. Nicolet). Il contient toutes les mesures publiées dans la littérature, plus 450 mesures non publiées reçues de Cousins, soit au total 8080 mesures pour 7141 étoiles. Une description de la bande magnétique est publiée dans Astron. Astrophys. Suppl. 22 (1975).

e) Catalogue des déterminations de [Fe/H] (M. Morel). C'est une compilation des valeurs [Fe/H] publiées dans la littérature pour 515 étoiles. Elle fait suite à deux listes établies en 1966 et en 1970 par G. et R. Cayrel pour environ 150 étoiles. Ce catalogue contient, en outre, des données photométriques et des valeurs de la température effective, de la gravité et de la microturbulence. Il sera publié dans les Proceedings of the IAU Symposium no 72, Lausanne 1975.

f) Etude de l'amas NGC 7654 (M. Berney). A l'aide de mouvements propres et de photométrie photographique, une étude de l'amas NGC 7654 a été réalisée afin de déterminer les étoiles membres.

1.4. A. Zelenka (Eidgenössische Sternwarte Zürich):
Berechnete Profile einiger Wasserstofflinien des Sonnenspektrums

Unter Zugrundelegung des „Harvard Smithsonian Reference Atmosphere" (HSRA)-Modells der Sonnenatmosphäre sowie eines fünf gebundene Zustände und das Kontinuum zählenden Modells des Wasserstoffatoms werden die drei Balmerlinien Hα, Hβ, Hγ, die zwei Paschenlinien Pα, Pβ und die Brackettlinie Bα berechnet. Vorausgesetzt werden kinetisches Gleichgewicht (nicht-LTE) für die Entstehung der Linien- und Lymankontinuumsstrahlung und lokales thermodynamisches Gleichgewicht (LTE) für die Entstehung der Strahlung der übrigen Kontinua. Die Strahlungsübergänge in den Lymanlinien werden als mikroreversibel angenommen, d.h. ihr Strahlungsfeld wird noch als vollständig in der Atmosphäre eingefangen vorausgesetzt. Für die Li-

nienabsorptionskoeffizienten werden die folgenden Profile verwendet: Für Hα das asymmetrische Profil von Zelenka (1975), für Hβ und Hγ die Starkprofile von Vidal et al. (1973), welche noch zusätzlich mit Lorentzprofilen gefaltet werden, um dem Einfluss der Resonanzdämpfung Rechnung zu tragen; für Pα, Pβ und Bα werden Starkprofile nach der semi-klassischen Theorie verwendet.

Im betrachteten Wellenlängenbereich von 15 Å um jede Linienmitte wird gute Übereinstimmung erreicht. Mit Ausnahme des Hα-Linienkerns und der zentralen Intensität von Hβ betragen die Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung höchstens 10 %.

Gewisse Abweichungen lassen sich erklären. So fallen z.B. die berechneten Hβ- und Hγ-Linienflügel zu hell aus, weil sie, unter allen betrachteten Flügeln, in den tiefsten Schichten entstehen, wo das HSRA-Modell zu hohe Temperaturen aufweist. Für niedrige Elektronendichten wird die Starkverbreiterung in der semi-klassischen Darstellung systematisch unterbewertet, was ein zu enges Bα-Profil zur Folge hat. Unter denjenigen aller untersuchten Linien entstehen die Bα- und Pβ-Linienkerne am tiefsten. Deshalb ist es nicht erstaunlich, dass die LTE-Lösungen sie besser wiederzugeben vermögen als die nicht-LTE-Lösungen.

Die für nicht-LTE-Berechnungen von Spektrallinien charakteristisch zu tiefen Zentralintensitäten wäre man geneigt weiterhin zu geringen theoretischen Werten der Stossraten zuzuschreiben, wäre nicht die Übereinstimmung in Hγ so hervorragend. Zwar könnte es sich im letzteren Falle um ein Zufallsergebnis handeln, aber diese Möglichkeit konnte bisher nicht begründet werden.

Offensichtlich sind die Linien des Wasserstoffs genügend vom photosphärischen Modell abhängig, damit sie zu dessen Beurteilung verhelfen können. Wir planen deshalb eine Wiederholung dieser Untersuchung mit dem HSRA-Nachfolger von Vernazza et al. (1973).

Literatur

Vernazza, J.E., Avrett, E.H. and Loeser, R.: 1973, Astrophys. J. 184, 605.
Vidal, C.R., Cooper, J. and Smith, E.W.: 1973, Astrophys. J. Suppl. Series, 25, 37.
Zelenka, A.: 1975, Solar Phys. 40, 39.

1.5. Rapport d'activité scientifique pour l'année 1975 de l'Observatoire de Genève

1.5.1. Structure interne et évolution stellaire

La grille de modèles stellaires, pour la composition chimique (X, Z) = (0.70, 0.03), amorcés dans le courant de l'année 1974 (M. Patenaude et P. Bouvier, Comptes Rendus de la SHSN, 1974), est maintenant complétée

entre 0.9 et 10 $M_\odot$. A l'aide de ces quelques 12 trajets évolutifs jusqu'à la montée vers les géantes rouges, des isochrones ont été tracées s'échelonnant entre log (Age) = 7.4 et log (Age) = 10 (Age en années) avec un pas δ log (Age) = 0.2, afin de déterminer la relation entre l'âge et l'écart à la séquence d'âge zéro (ZAMS) pour un log Teff (ou B-V) donné. Cependant les isochrones d'âge $\gtrsim 10^9$ ans sont encore sujettes à caution à cause de difficultés rencontrées lors du calcul de tracés évolutifs pour de faibles masses ($\lesssim 0.8\ M_\odot$).

En effet, des divergences de la méthode de calcul de Henyey ont été rencontrées pour le tracé évolutif de 0.8 $M_\odot$ dues vraisemblablement à une difficulté physique et non seulement numérique en ce qui concerne les conditions limites appliquées près de la surface d'une étoile assez froide. Cette difficulté vient essentiellement d'une ionisation partielle au point de raccord choisi comme étant $M_F/M_\odot = 0.97$, alors que celle-ci devrait être à peu près complète à ce niveau. Il semble que les calculs d'ionisation dans des enveloppes assez froides doivent être repris en tenant compte non seulement de l'ionisation de H, HeI, HeII mais aussi de la dissociation de la molécule H_2 à cause de sa grande influence sur les quantités thermodynamiques C_p (chaleur spécifique) et ∇_{ad} (gradient adiabatique de température), donc sur la structure de l'enveloppe stellaire (Castellani & Renzini, Astrophys. Space Sci. 3, 283, 1969).

Le calcul de C_p et ∇_{ad} par la méthode adoptée jusqu'ici (Baker & Kippenhahn; Z. Astrophys. 54, 114, 1962) en supposant une séparation nette des zones d'ionisation doit également être repris, car pour des étoiles peu massives ($\lesssim M_\odot$), ces zones d'ionisation peuvent se chevaucher plus ou moins complètement. De plus, le calcul des fonctions de partition doit tenir compte du phénomène de l'ionisation par pression lorsque la fonction de partition U_{HI} devient inférieure au poids statistique du niveau fondamental vers les grandes pressions électroniques. Jusqu'à maintenant, nous avions admis l'hypothèse d'une fonction de partition égale au poids statistique du niveau fondamental.

Ce travail devra éventuellement être complété pour une autre composition chimique moins riche en métaux, afin de déterminer les effets de composition sur les modèles et les isochrones.

Depuis les travaux de L. Biermann en 1932, on sait que le gradient de température dans les zones convectives profondes des étoiles est pratiquement égal au gradient adiabatique. Cette égalité est vérifiée à 10^{-7} près. C'est sur cette base bien établie, que l'on a toujours calculé la course de la variable température dans les modèles de structure interne et d'évolution des étoiles.

Dans le travail "Stellar Evolution III", A. Maeder a montré que, si l'hypothèse de Biermann reste entièrement juste pour calculer la valeur des différentes variables de structure (pression, température, etc.), elle n'en conduit pas moins à des résultats faux en ce qui concerne la fixation de la limite du noyau convectif, autrement dit la définition de l'étendue de la zone brassée par la convection. Un nouveau traitement des noyaux convectifs centraux, qui apparaissent dans les étoiles de masse supérieure à env. 1.15 $M_\odot$, a été proposé. On doit noter que la taille des noyaux convectifs joue un rôle très important, car c'est elle qui détermine principalement la quantité de "combustible nucléaire" disponible pour une étoile. Par consé-

quent, un changement de la taille (par débordement ou overshooting) des noyaux convectifs modifie le temps de vie des étoiles; les tracés évolutifs dans le diagramme HR et les diagrammes photométriques, les isochrones et même les phases avancées de l'évolution sont touchées. La méthode proposée a été appliquée au calcul de l'évolution d'une étoile de 1.5 $M_\odot$ (Stellar Evolution IV), et une grille de modèle couvrant les types spectraux A, F et G est en cours de réalisation. Si aucune différence entre ces modèles et ceux existant n'est à noter en ce qui concerne la séquence d'âge zéro, de grosses différences (jusqu'à $0.^m6$) apparaissent dès que l'on progresse dans l'évolution. Il faut relever que ces nouveaux modèles de structure interne et d'évolution permettent de rendre compte des anomalies sérieuses et systématiques rencontrées lors de l'analyse photométrique détaillée des vieux amas galactiques, dont il a été question dans un précédent rapport. Il semble donc que certaines conclusions tirées sur la base de modèles sans overshooting devraient être révisées, notamment en ce qui concerne les déterminations d'âges d'étoiles individuelles et les déterminations de composition chimique basées sur les caractéristiques photométriques des séquences d'amas.

1.5.2. Photométrie

Les observations en 7 couleurs ont été poursuivies au Jungfraujoch, au Gornergrat et à Saint-Michel. Quelques missions en direction de l'hémisphère sud à la Silla (Chili) et Izaña (Tenerife) ont permis d'amorcer l'extension de la photométrie de Genève vers le pôle sud.

Un nouveau catalogue est arrivé à terme (F. Rufener). 25 000 mesures d'étoiles en 7 couleurs, obtenues à la fin de 1973, ont été soigneusement intercomparées. Il en résulte que les 6 indices de couleurs, avec un écart-type observé, sont disponibles pour 4670 étoiles. De plus, une magnitude V, elle aussi accompagnée d'un écart-type, est associée à 98 % des étoiles du nouveau catalogue.

Le système en 7 couleurs a été étendu dans l'ultraviolet stellaire où les observations faites avec des systèmes en 6 et 8 bandes passantes sont en cours d'examens (M. Golay). De plus, avec C. Jaschek, il est tenté d'établir une classification spectrale à partir des enregistrements effectués par le satellite TD1.

Il est possible de trouver, parmi les 4670 étoiles du nouveau catalogue photométrique, 1400 étoiles qui peuvent être associées dans des groupes de 2 à 7 étoiles dont les 7 couleurs sont identiques à mieux que 0.01 mag (M. Golay). L'étude des propriétés de ces groupes conduit à attribuer à leurs étoiles la même magnitude absolue, la même composition chimique, la même température effective et le même rougissement. C. Jaschek a entrepris un réexamen des classes spectrales et classes de luminosité de toutes les étoiles de ces groupes. Une nouvelle méthode de détermination des distances des amas a été mise au point, et une discussion critique de la méthode d'ajustement des séquences d'amas dans le diagramme HR a été entreprise.

Les nouvelles mesures photométriques d'étoiles froides ont permis de préciser les échelles de magnitude absolue et d'abondance globale en métaux dans l'intervalle spectral G5 à K5 (M. Grenon). En particulier, la calibration en [Fe/H] a pu être étendue jusqu'aux derniers types K pour les

géantes de Population II grâce à la mesure d'étoiles évoluées dans l'amas globulaire NGC 6752. Par ailleurs une calibration en température effective, rendue possible en partie grâce aux nouveaux diamètres stellaires, a été réalisée pour les étoiles de types G5 à M5. Un catalogue de détermination photométrique de paramètres physiques des étoiles G5 à K5, soit M_v, [Fe/H], T_{eff} et vitesses spatiales, est actuellement en préparation. Il comprendra 1200 étoiles.

La troisième édition du "Catalogue général d'étoiles de type 0" est sortie (G. Goy). Elle contient 766 étoiles avec leurs monographies. L'exploitation des données accumulées dans ce catalogue a permis de rediscuter entre autres les problèmes de la distribution des étoiles 0 le long du plan galactique. De plus, il a été montré que les étoiles 0 sont doubles ou multiples à près de 100 %. La moyenne arithmétique des distances individuelles calculées des étoiles d'un groupe donne donc une mauvaise estimation de la distance moyenne réelle du groupe. Les étoiles les plus éloignées du "cigare" fournissent certainement une meilleure estimation de cette distance moyenne. Un travail sur la distribution des lois de rougissement le long du rayon visuel est en préparation.

Les excès de couleur d'environ 3000 étoiles O et B ont été déterminés sur la base des mesures UBV et des types spectraux MK (P.B. Lucke). L'étude de l'accroissement de l'excès de couleur avec la distance dans différentes directions du plan galactique a permis de localiser les concentrations de poussières interstellaires. Le soleil est situé sur le bord intérieur d'une concentration de poussières s'étendant sur 1 kpc dans le secteur $30° < 1^{II} < 220°$. Il y a une déficience notable de poussière pour les distances inférieures à 1 kpc, dans le secteur $220° < 1^{II} < 250°$. Bien que la distribution de la poussière soit plutôt irrégulière, elle est de manière générale en corrélation avec les concentrations connues d'hydrogène et avec les associations R. Cette étude est poursuivie, par l'inclusion de nouvelles étoiles, pour obtenir une représentation tri-dimensionnelle de la distribution de la poussière interstellaire et pour tenter de corréler les changements de loi d'extinction avec la présence de nuages spécifiques de poussière.

La procédé de réduction des mesures photométriques utilisé à l'Observatoire de Genève a été testé en introduisant dans le programme de réduction les distributions d'énergie stellaire données par Code (N. Mandwewala). Les coefficients d'extinction atmosphérique alors obtenus ont été comparés à ceux calculés lors des nuits réelles d'observation. La correspondance est excellente (différences inférieures à $0.^m007$) et, d'autre part, aucune dépendance de ces différences avec la couleur des étoiles ou la définition des bandes passantes n'a été observée. Une étude de l'extinction interstellaire dans divers systèmes photométriques (UBV, uvby, système de Genève) a été entreprise à l'aide des 49 distributions d'énergie stellaire de Straizys et des lois d'extinction de Nandy et Whitford. La variation de tous les indices de couleur et paramètre avec la masse de matière interstellaire a été calculée. Les pentes des lignes de rougissement et le rapport $R = A_v/E\,(B\text{-}V)$ ont été dérivés. De plus, les corrections du second ordre rendant les paramètres d, Δ, g et m_2 de la photométrie de Genève indépendant du rougissement ont été déterminées pour tous les types spectraux et pour 7 lois d'extinction interstellaire.

L'importance de l'extinction interstellaire non-uniforme dans les amas ouverts a été étudiée en comparant les résultats obtenus par deux méthodes indépendantes: photométrie et comptage d'étoiles (G. Burki). Les amas ayant la densité stellaire projetée la moins uniforme sont aussi ceux présentant la plus grande dispersion dans le diagramme couleur-couleur. De plus, l'extinction différentielle est importante non seulement dans le cas des très jeunes amas, mais aussi dans quelques amas plus vieux que 5.10^7 ans.

Des champs stellaires simulés semblables aux cartes de l'Atlas du Mont Palomar ont été réalisés en utilisant un générateur de nombres aléatoires (E. Lindemann et G. Burki). Sur ces cartes simulées apparaissent des anneaux et des chaînes d'étoiles identiques à ceux observés dans les champs stellaires réels. La densité de ces structures aléatoires est comparable à celle obtenue sur les cartes du Palomar; ceci suggère qu'au moins une grande partie des anneaux et chaînes stellaires peuvent être dus à une projection chanceuse sur le ciel d'étoiles distribuées au hasard le long de la ligne de vue.

1.5.3. Cinématique, dynamique et statistique stellaire

L'objectiv à long terme du groupe de cinématique et dynamique stellaire est de parvenir à une confrontation entre évolution chimique et évolution dynamique de notre Galaxie. Au cours de l'année écoulée, son activité a été concentrée dans deux directions potentiellement complémentaires: 1) Recherche de relations entre cinématique, âges et régions de formation sur de gros échantillons déjà constitués. 2) Etude des propriétés des orbites galactiques dans le plan méridien et dans le disque axisymétrique avec perturbation spirale.

Par l'analyse des propriétés cinématiques et photométriques d'environ 600 étoiles dF et 600 étoiles gG-gK, M. Mayor (1974, 1975 a, b, c) a calculé le gradient chimique radial de la Galaxie. La valeur moyenne obtenue pour l'ensemble de ces étoiles est de:

$$\frac{\partial \overline{[Fe/H]}}{\partial \varpi} = -0.05 \pm 0.01 \text{ kpc}^{-1}$$

L'estimation du gradient chimique radial pour les étoiles plus jeunes (âge $< 10^9$ ans) indique une valeur plus élevée. L'ordre de grandeur pour le gradient radial galactique de concentration du sodium est le même.

En ne considérant que les étoiles dF les plus évoluées pour qu'une datation soit possible, une corrélation très nette entre âge et métallicité est obtenue:

$$\frac{\partial \overline{Z}/Z_\odot}{\partial t} = 0.6 \pm 0.3 / 10^{10} \text{ ans}$$

où $\overline{Z}$ dénote la concentration moyenne des métaux à l'époque t.

Une partie importante des atomes lourds présents actuellement dans le disque galactique semble donc avoir été synthétisée durant la vie du disque. Les deux gradients $\frac{\partial Z}{\partial \varpi}$ et $\frac{\partial Z}{\partial t}$ mesurés ne sont pas des grandeurs indépendantes mais sont liés par l'évolution chimique et la structure du disque galactique. Quelques considérations simples montrent que les ordres de grandeur observés pour ces deux quantités sont cohérents. Si les deux grandeurs évoquées ci-dessous sont des contraintes observationnelles importantes pour l'édification des modèles évolutifs galactiques, la dispersion intrinsèque des concentrations en éléments lourds, à lieu et époque donnés, en est une troisième. La valeur obtenue dans le cadre du matériel observationnel utilisé est notablement plus basse que les valeurs admises communément:

$$\sigma_{[Fe/H]}\Big|_{\varpi,t} = 0.10 \begin{pmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{pmatrix}$$

Finalement, par le biais de l'étude des mouvements perpendiculaires au plan galactique et des propriétés photométriques, la stratification chimique dans la direction des pôles galactiques a pu être estimée.

Un certain nombre de conclusions ont été tirées d'une étude systématique comparative du comportement des orbites périodiques et quasi-périodiques dans différents modèles de masse tri-dimensionnels de notre Galaxie (L. Martinet 1974, 1975, L. Martinet et F. Mayer 1975):

a) Aucune résonance exacte importante n'existe probablement pour des orbites méridiennes dans notre Galaxie à plus de 2 kpc du centre galactique. Cependant, pour des énergies suffisamment différentes de l'énergie circulaire, des orbites périodiques avec un rapport de fréquences d'oscillations radiale et perpendiculaire 1:1, 2:3 et 4:3 apparaissent, susceptibles de piéger un nombre important d'orbites voisines (orbites tubes).

b) L'interaction de résonances se traduit pratiquement par une tendance vers une semi-ergodicité de certaines orbites. Le mouvement n'est alors plus clairement borné à l'intérieur d'un sous-espace de l'hypersurface d'énergie. Notre étude révèle une dépendance des interactions de résonance à l'égard du modèle de masse de la Galaxie. Pour un modèle donné, l'interaction de résonances est d'autant plus importante que le moment cinétique est faible. Ces interactions sont favorisées par la présence d'un noyau plus massif ou par une décroissance plus rapide de la densité dans les régions extérieures.

c) Pour les populations stellaires observées au voisinage du soleil, le comportement semi-ergodique est probablement rare, quel que soit le modèle, même pour les étoiles de population II extrême. Pour le modèle de Schmidt (1965), la semi-ergodicité est tout à fait exceptionnelle, même si la vitesse résiduelle dans la direction anti-centre est de l'ordre de 200–300 kms^{-1}, et par conséquent 3 intégrales isolantes conditionnent les trajectoires de la majorité des étoiles du voisinage solaire. La 3e intégrale fixe l'extension de la région occupée par la trajectoire, et la relation entre les composantes de

vitesses résiduelles (Π, Θ, Z) et les 3 intégrales isolantes (I, J, K) conduisent à une estimation non ambigüe de la hauteur atteinte de part et d'autre du plan galactique par des étoiles de mouvement observé donné.
d) Dans les régions plus centrales de la Galaxie, une 3e intégrale permet le piégeage dans le disque galactique d'orbites de vitesse radiale $\Pi \sim 200$ kms^{-1}, même si la vitesse Z perpendiculaire au plan galactique est de l'ordre de 100 kms^{-1}. Ce résultat donne une indication que la distribution des masses dans le modèle de Schmidt (1965) est compatible avec le fait que le disque galactique peut être "chaud" dans ses régions internes.

Au cours de la même étude, nous avons examiné également la question de la dépendance du comportement orbital à l'égard d'un nombre minimum de paramètres de structure pouvant caractériser un modèle de masse simple pour la Galaxie.

Pour le cas où l'observation des groupes stellaires définis par Eggen est une conséquence d'approches mutuelles successives d'étoiles d'origine commune, nous avons montré que les conditions pour la persistance de tels groupes sont très restrictives: la dispersion des énergies et des moments cinétiques dans un groupe doit être extrêmement faible, et des approches serrées ne surviennent que pour des conditions initiales particulières reliées à la 3e intégrale. Les vieux groupes observés ne remplissent pas ces conditions (F. Mayer et A. Gomez, 1975).

Parmi les développements actuellement en cours, nous cherchons notamment à déterminer l'erreur commise en utilisant pour les objets du halo galactique diverses formes de 3e intégrales analytiques, construites pour des modèles simples de la Galaxie, et à délimiter les conditions de vitesses résiduelles conduisant à des orbites piégées au voisinage de la résonance de corotation dans le disque galactique perturbé par un champ spiral. Une redis-
cussion de la valeur de la densité de matière au voisinage du Soleil obtenue par voie dynamique est également envisagée 1) en utilisant un matériel observationnel adéquat satisfaisant mieux les hypothèses des équations de l'hydrodynamique stellaire (objets plutôt vieux) et 2) en maîtrisant mieux les écueils liés à la résolution de l'équation intégrale de la statistique stellaire.

La constitution d'un catalogue d'objets du halo galactique est projetée de même que l'acquisition de données nouvelles d'observation pour l'étude des propriétés cinématiques et physiques d'étoiles du halo et du vieux disque dans les ciels Nord et Sud en collaboration avec le groupe de photométrie.

1.5.4. Spectroscopie et atmosphères stellaires et solaire

Le groupe de spectroscopie solaire et stellaire de l'Observatoire de Genève poursuit son programme concernant l'étude des méthodes de détermination des abondances des éléments dans l'atmosphère solaire et leur application dans le cas d'éléments particulièrement intéressants; il se préoccupe par ailleurs de l'extension de ces méthodes au cas stellaire en vue de l'étude des propriétés physiques et chimiques des atmosphères des étoiles.

Du point de vue observationnel, E.A. Müller a accès au grand spectrographe solaire du Kitt Peak National Observatory (USA) où il lui est possible

d'effectuer les observations de très grande qualité et à haute résolution, tant spatiale que spectrale, sur lesquelles reposent les recherches sur les abondances solaires.

Du point de vue théorique, ces observations sont interprêtées au moyen de la méthode de synthèse spectrale, dans le cadre de la théorie de l'équilibre thermodynamique local (ETL). Dans des cas d'espèce, qui s'avèrent de plus en plus nombreux, on discute en détail d'influence des écarts à la situation de l'ETL. Il arrive d'ailleurs fréquemment que l'étude de l'abondance d'un élément particulier conduise à préciser plus finement telle ou telle propriété physique de l'atmosphère solaire. Ces conclusions sont souvent transposables aux atmosphères d'étoiles de type spectral voisin de celui du soleil. Les moyens d'étude des mécanismes de formation des raies spectrales employés lors des déterminations d'abondance sont enfin utilisés à la détermination des propriétés physiques des atmosphères d'étoiles présentant des particularités, par exemple au niveau de la composition chimique.

Pour ce qui concerne la détermination des abondances solaires, l'année écoulée a vu l'achèvement et la publication d'un certain nombre de travaux.

H. Holweger et E.A. Müller (1974) ont évalué l'abondance du *baryum.* Ils obtiennent log ϵ (Ba) = 2.11 ±0.12. Les profils des raies observées sont compatibles avec la composition isotopique terrestre du baryum.

J.W. Brault et E.A. Müller (1975) ont décrit leurs observations du doublet de résonance du Li I λ 6707.8 ainsi que les méthodes de réduction très raffinées qu'ils ont appliquées à ces observations. E.A. Müller, E. Peytremann et R. de la Reza (1975) ont interprété ces observations en vue de la détermination de l'abondance du *lithium.* Ils trouvent log ϵ (Li) = 1.0 ±0.1 et ils peuvent donner une limite supérieure à l'abondance de l'isotope ^{6}Li en montrant que $^6\text{Li} / {}^7\text{Li} \leqslant 0.01$. Le lithium apparait ainsi fortement raréfié dans l'atmosphère solaire par rapport au système solaire.

Y. Chmielewski, E.A. Müller et J.W. Brault (1975) ont étudié le problème de la détermination de l'abondance du *béryllium* à partir d'observations du doublet de résonance du Be II λ 3130.6. Ils montrent que, pour interpréter ces observations, il est nécessaire de tenir compte d'un modèle adéquat de l'opacité continue additionnelle de l'ultraviolet, ainsi que des écarts à l'ETL dans l'équilibre d'ionisation du Be et dans la formation des raies de résonance du Be II. Ils trouvent log ϵ (Be) = 1.15 ±0.20, valeur qui n'est pas significativement différente de l'abondance dans le système solaire. La forte barre d'erreur est due en grande partie aux incertitudes sur les sections efficaces des mécanismes de transitions atomiques.

R. de la Reza et E.A. Müller (1975) ont examiné en détail les mécanismes de formation de la raie de résonance du KI λ 7698.98. Ils trouvent que cette raie est formée en dehors des conditions de l'ETL et déduisent de leurs observations une abondance du *potassium* log ϵ (K) = 5.14 ±0.10.

Toujours dans le domaine des déterminations d'abondances solaires, un travail est actuellement en cours relativement à l'abondance de l'argent (M. Jousson, E.A. Müller et Y. Chmielewski). D'autres travaux concernant l'abondance du zirconium et de l'yttrium viennent de commencer.

D'autres recherches sont en cours, ayant plus spécifiquement pour objet les atmosphères stellaires.

R. de la Reza, en collaboration avec F. Querci de l'Observatoire de Meudon, étudie les raies de résonance du potassium et du lithium dans des

étoiles froides (étoiles M et étoiles carbonées), la formation de ces raies étant particulièrement sensible aux effets de température et le potassium s'avérant l'un des principaux donneurs d'électrons pour ces types stellaires. A cet effet, il a pu enregistrer d'excellents spectres photographiques dans le proche infrarouge d'étoiles représentatives au moyen du spectrographe coudé du télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute Provence.

Y. Chmielewski examine comment varient les écarts à l'ETL dans la formation des raies du Be II dans les atmosphères d'étoiles des types F et G afin de voir si la corrélation apparente entre l'abondance du béryllium dans les étoiles et leur type spectral ne pouvait être attribuée à ce genre de variations.

F. Llorente et E.A. Müller, en collaboration avec H. Lamers de l'Observatoire d'Utrecht, ont entrepris l'étude du "blocking" par les raies dans l'ultraviolet du spectre d'étoiles de type spectral compris entre O5 et G2 et de diverses classes de luminosité à partir de spectrogrammes obtenus dans l'ultraviolet (dans les bandes $2070 < \lambda < 2150$, $2505 < \lambda < 2585$ et $2780 < \lambda < 2860$ Å) au moyen de l'expérience S59 de l'Observatoire d'Utrecht embarquée sur le satellite européen TD1.

Mentionnons enfin la poursuite du programme de mesure de l'intensité solaire dans l'infrarouge lointain à partir d'une nacelle stratosphérique mené par E.A. Müller en collaboration avec le laboratoire de physique de l'état solide de l'EPF Zürich (F.K. Kneubühl, J. Rast et P. Stettler) et avec le groupe de recherche spatiale de l'Observatoire de Genève (D. Huguenin). Les derniers résultats obtenus (dans la bande $200 \leqslant \lambda \leqslant 600\ \mu$) ont été discutés dans une communication présentée au premier congrès européen de physique solaire à Florence par E.A. Müller, P. Stettler, J. Rast, F.K. Kneubühl et D. Huguenin (1975). Un nouveau vol a été effectué avec succès en septembre 1975 fournissant des mesures dans la bande $60 \leqslant \lambda \leqslant 200\ \mu$, dont la réduction est en cours.

1.5.5. Instrumentation – Techniques

a) Stations d'observations au sol

1. Gornergrat. En 1974, une convention entre l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique (France), l'Observatoire de Lyon, la Fondation du Jungfraujoch-Gornergrat et l'Observatoire de Genève a été signée. Son but est l'installation au Gornergrat d'un télescope Ritchey-Chrétien de 1 m de diamètre. En automne 1974, une coupole de 7,30 m était construite sur la tour sud de l'hôtel Kulm. La monture du télescope a été assemblée (8 tonnes de matériel). La mise en service de cet instrument est prévue pour début 1976.

2. Chili. Un accord avec l'European Southern Observatory a permis d'installer en automne 1975 un télescope de 40 cm à La Silla, Chili, 2400 m. Cet instrument, démonté au Gornergrat, a reçu une monture équatoriale moderne avec commande motorisée et affichage des coordonnées α et δ. Il est équipé d'un photomètre pour la photométrie de Genève. Des observations continues seront assurées à cette station.

3. Saint-Michel. Avec le télescope de 1 m, on poursuit avec régularité les mesures photométriques (système de l'Observatoire de Genève). La mise en opération du photomètre différentiel P7 et du spectrophotomètre Coravel est programmée pour 1976.

b) Instruments

1. Photomètre P7. Un photomètre différentiel travaillant dans les 7 couleurs de la photométrie de Genève et contrôlé par un ordinateur a été construit durant les années 1972 à 1974. En automne 1974, une mission d'un mois a eu lieu à St. Michel l'Observatoire, avec ce nouveau photomètre. Des résultats de mesure ont été stockés sur des cassettes magnétiques. L'unité de cassettes comprenant trois lecteurs-enregistreurs a été également construite pour la circonstance.

Le temps écoulé depuis lors a été consacré d'une part à parfaire la mise au point technique de cette unité, à terminer son intégration software dans le système DOS (appels compatibles avec ceux des bandes magnétiques standards) et d'autre part au traitement des résultats acquis en novembre 1974, composés d'environ 100 000 nombres. Le problème important du rattachement précis des nouvelles mesures à celles du système standard vient d'être résolu de manière satisfaisante.

2. Spectrophotomètre Coravel. Coravel est un spectrophotomètre permettant de mesurer directement les vitesses radiales stellaires par corrélation croisée entre un masque optique et le spectre de l'étoile (méthode de Griffin). Le spectrographe est un spectrographe à échelle ayant une dispersion de 2 Å / mm et dont le domaine spectral s'étend de 3600 Å à 5100 Å environ. Il est entièrement contrôlé par un mini-ordinateur.

La construction du spectrophotomètre est terminée; nous avons procédé aux premiers essais en laboratoire. Nous nous attaquons actuellement au problème de la construction d'un masque optique permettant de mesurer des étoiles de type G, K et M. Nous pensons effectuer les premiers essais sur le ciel dans le courant de l'année 1976.

3. Densitomètre. Un microphotomètre digitalisé et commandé par un ordinateur HP a été construit à l'Observatoire. Son but est la mesure des densités de clichés électronographiques. La mesure se fait soit par balayage, soit par une succession de diaphragmes circulaires. Les données peuvent être stockées sur disques ou bandes magnétiques.

Les programmes en temps réel sont en cours de mise au point. Des tests sont effectués actuellement pour déterminer la précision des mesures.

4. Caméra de Kron. L'Observatoire de Genève prépare depuis mars 1975 l'utilisation d'une caméra électronique (tube de Kron) à la station du Gornergrat. Des tests sur le tube ont été réalisés avec succès. L'adaptation avec le télescope (bonnette photo) est en préparation.

c) Recherche spatiale

Le groupe de recherche spatiale de l'Observatoire de Genève, fondé en 1963, a mis au point une nacelle stratosphérique lancée par ballon. Son but est de permettre des expériences scientifiques hors atmosphère. La commande de la nacelle est soit automatique (le programme de vol perforé sur bande étant à bord de la nacelle), soit effectuée du sol par télémétrie (possibilité de voir au sol le champ stellaire sur écran de télévision). Depuis 1974, cinq tirs ont été accomplis en France à Aire/l'Adour en collaboration avec le Centre National d'Etudes Spatiales. Un photomètre à 8 bandes passantes réparties de 2000 Å au visible associé à un télescope de 15 cm a permis par comptage de photons la mesure de plusieurs étoiles des Pléiades (Observatoire de Genève). Des clichés photographiques obtenus avec une chambre à grand champ ont confirmé la distribution galactique de composants de la matière interstellaire détectés à l'aide de tirs de fusées (Laboratoire d'Astronomie Spatiale, Marseille). Une nouvelle série d'interférogrammes de l'infrarouge solaire (10 à 100 microns) a été enregistrée par l'expérience du Professeur Kneubühl (Ecole Polytechnique de Zurich). Plusieurs observations de la variation crépusculaire de l'épaisseur réduite de l'ozone atmosphérique ont été faites par Rigaud (Laboratoire de Physique et Dynamique de l'Atmosphère, Villepreux, France).

A l'Observatoire de Genève, l'activité est centrée sur le perfectionnement technologique des appareils, notamment pour l'orientation de la nacelle (pointage grossier magnétique de nuit, pointage fin grâce à un miroir plan orientable et asservi, les instruments restant fixes) et pour la photométrie par comptage de photons. Depuis 1975, l'Observatoire développe avec le Laboratoire d'Astronomie Spatiale de Marseille, la construction de deux nacelles de 500 kg. Leur mise en service est prévue pour l'automne 1976.

Bibliographie

Brault, J.W., Müller, E.A., 1975, "The solar lithium abundance, I: Observations of the solar lithium feature at 76707.8 Å", Solar Phys. 41, 43.

Burki, G., 1975, "Non-uniform extinction in open star clusters and dispersion of the photometric sequences", Astron. Astrophys., sous presse.

Chmielewski, Y., Müller, E.A., Brault, J.W., 1975, "The solar beryllium abundance", Astron. Astrophys. 42, 37.

Golay, M., 1974, "Introduction to astronomical photometry", D. Reidel publ. co., Dordrecht.

Goy, G., 1973, "Un nouveau catalogue général d'étoiles de type O", Astron. Astrophys. suppl. 12, 277.

Goy, G., 1975, "Remarks on some problems related to O stars", Astron. Astrophys., sous presse.

Grenon, M., 1975, "Some observational properties of G and K stars", Colloque d'Albany, Dudley Obs. reports no. 9, p. 413.

Grenon, M., 1975, "Relations between physical parameters and MK classification as functions of metal abundance", Symposium de l'U.A.I. no. 72, sous presse.

Holweger, H., Müller, E.A., 1974, "The photospheric barium spectrum: solar abundance and collision broadening of Ba II lines by hydrogen", Solar Phys. 39, 19.

Lindemann, E., Burki, G., 1975, "Rings and chains in simulated stellar fields", Astron. Astrophys. 41, 355.
Maeder, A., 1974, "Analytical studies in stellar evolution II. On the evolution of rotating stars in the log T_c – log ρ_c", Astron. Astrophys. 34, 409.
Maeder, A., 1975, "Numerical models with overshooting from convective cores", Mémoires Soc. Royale des Sciences de Liège, 6e série, tome VIII, p. 327.
Maeder, A., 1975, "Photometry and the evolutionary tracks in the HR diagram", Colloque d'Albany, Dudley Obs. reports no. 9, p. 427.
Mandwewala, N., 1975, "Analysis of Rufener's method for the atmospheric extinction reduction", Publ. Obs. Genève, sous presse.
Martinet, L., 1974, "Heteroclinic orbits and wild stellar behaviour in our galaxy", Astron. Astrophys. 32, 329.
Martinet, L., 1975, "On the sensitivity of orbital behaviour . . .", Symposium I.A.U. no. 69, Besançon, Ed. Hayli A.
Martinet, L., and Mayer F., 1975, "Galactic orbits and integrals of motion for stars of old galactic populations", Astron. Astrophys., sous presse.
Mayer, F., and Gomez, A., 1975, "On the conditions of persistence of old stellar groups", Astron. Astrophys. 42, 341.
Mayor, M., 1974, "Some remarks on local kinematical disturbances in our galaxy and their interpretations", dans "La dynamique des galaxies spirales", p. 383. Coll. int. du CNRS no. 241.
Mayor, M., 1975 a, "Chemical evolution of the galactic disk and the radial metallicity gradient", dans "Abudances in stellar populations", Symposium I.A.U. no. 72, Lausanne 1975, Ed. B. Hauck.
Mayor, M., 1975 b, "The mean eccentricity of the stellar orbits of a sample of stars in the solar neighbourhood chosen on the basis of metallicity". Soumis pour publication dans Astron. Astrophys.
Mayor, M., 1975 c, "Chemical evolution of the galactic disk and the radial metallicity gradient". Soumis pour publication dans Astron. Astrophys.
Müller, E.A., Peytremann, E., de la Reza, R., 1975, "The solar lithium abundance, II: Synthetic analysis of the solar lithium feature at 76707.8 Å", Solar Phys. 41, 53.
Müller, E.A., Stettler, P., Rast, J., Kneubühl, F.K., Huguenin, D., 1975, "The solar brightness temperature in the far infrared", Osservazioni e Memorie dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, no. 105.
de la Reza, R., Müller, E.A., 1975, "The potassium abundance in the solar photosphere", Solar Phys. 43, 15.
Rufener, F., 1975, "Catalogue of stars measured in the Geneva Observatory photometric system", sous presse.

1.6. H.K. Asper und A.O. Benz (Gruppe für Radioastronomie, Mikrowellenlabor ETH Zürich): **Der computergesteuerte Radiospektrograph der ETH Zürich**

I. Einführung

Die Zielsetzung für die Entwicklung des an der Eidgenössischen Technischen Hochschule seit 1974 im Bereich von 100–1000 MHz digital arbeitenden Radiospektrographen war eine rationelle Verarbeitung der empfangenen Daten mit einer entsprechend geeigneten langfristigen Speicherungsmöglichkeit. Zu diesem Zweck wurde eine computergesteuerte Empfangsanlage ent-

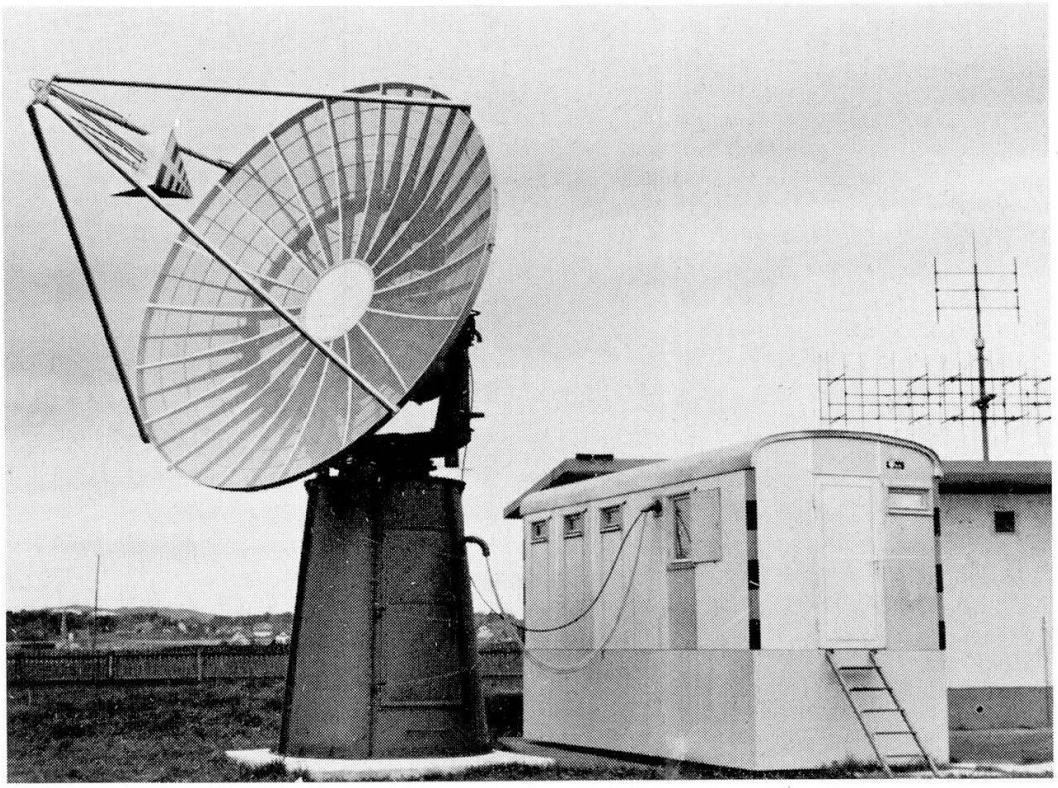

Abb. 1 Ansicht der Radiospektrographenanlage in Dürnten (ETH Zürich) mit Empfängermesswagen und 5 m-Antennenreflektor (Schweiz. Wagons- und Aufzügefabrik Schlieren) (aus Asper, 1975).

wickelt, welche die Intensität der aktiven solaren Radiostrahlung (Radioburst) auf einem 9-Spur-Magnetband digital aufzeichnet und speichert. Nach weiterer Verarbeitung und Reduktion der Daten in einer Grossrechenanlage werden die digitalen Daten elektronen-optisch auf einen Breitformatfilm übertragen zur Langfristspeicherung. Eine spätere Rückgewinnung der Daten (8 bit oder 255 Intensitätsstufen) ist ohne Degradierung zur Wiederverarbeitung auf Magnetband möglich. Abbildung 1 zeigt die Empfangsanlage der Aussenstation Dürnten (ca. 30 km südöstlich von Zürich), bestehend aus der Antenne (5 m Reflektor) und dem Labormesswagen für Empfänger, Computer, Antennensteuerung, Magnetbandstation sowie Filmregistrierung.

II. Instrument

Das Prinzip des digital gesteuerten Radiospektrographen ist aus Abbildung 2 ersichtlich. Der digitale Prozessrechner (Hewlett-Packard, Modell 2100A) übernimmt grundsätzlich fünf Aufgaben: (1) Steuerung und Kontrolle des elektronisch durchstimmbaren Empfängers, (2) Erkennung von solaren Radiobursts und Diskriminierung gegenüber terrestrischen Störungen aufgrund spezieller Burst-Kriterien, (3) Adressierung (Zeit, Datum etc.) der Burstdaten und Übertragung auf Magnetband, (4) Positionssteuerung der Antenne und (5) Organisation des Messablaufes und Überwachung der Anlage.

Über den Digital-Analog-Wandler (D/A) wird die Messfrequenz im Empfänger innerhalb des Messbereichs von 100–1000 MHz mit einer Genauigkeit von max. ± 1 MHz eingestellt. Das verstärkte Empfangssignal (2000 Intensitätswerte pro Sekunde zu 8 bit, Signalintensitätsdynamik von 60 db oder 10^6:1) gelangt über einen Analog-Digital (A/D)-Wandler zunächst in den Kernspeicher des Rechners. Werden die Daten aufgrund des Burstkriteriums als solar erkannt, so werden die im Kernspeicher vorübergehend gespeicherten Daten mit Datum, Zeit etc. adressiert und auf ein 9-Spur-Magnet-

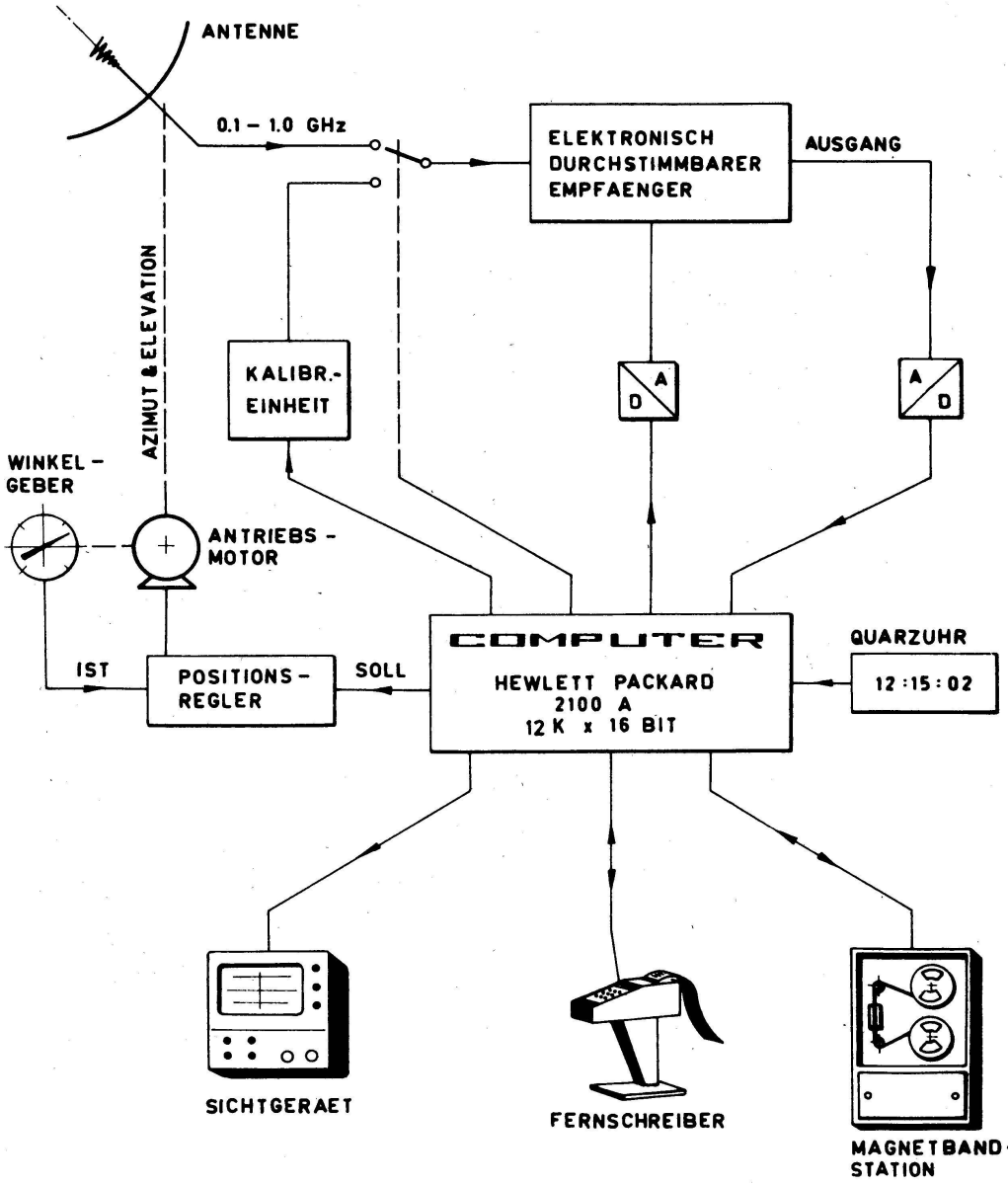

Abb. 2 Vereinfachtes Blockdiagramm der Empfangsanlage. Der Computer steuert die Empfangsfrequenz, die Antenne sowie die Kalibration des Empfängers. Anhand programmierbarer Burstkriterien werden nur Messdaten von solaren Radiobursts auf das Magnetband überschrieben. Das Sichtgerät dient zur Funktionskontrolle sowie zur Überprüfung der auf Magnetband gespeicherten Daten (aus Asper, 1975).

band überschrieben. Während der Messungen liefert der Rechner über den Fernschreiber laufend ein Protokoll über die als solare Radiobursts erkannten – und somit auf Magnetband registrierten – Radiodaten.

Mit Hilfe der Kalibriereinheit (Frequenz und Intensität) wird der Empfänger in gewissen Zeitabständen geeicht. Die entsprechenden Eichdaten werden ebenfalls adressiert und periodisch (ca. 1–10 min) auf dem Magnetband gespeichert und bei der weiteren Auswertung der Messdaten in einer Grossrechenanlage zur Korrektur bezüglich Empfangsfrequenz und Signalintensität (Antennentemperatur) verwendet.

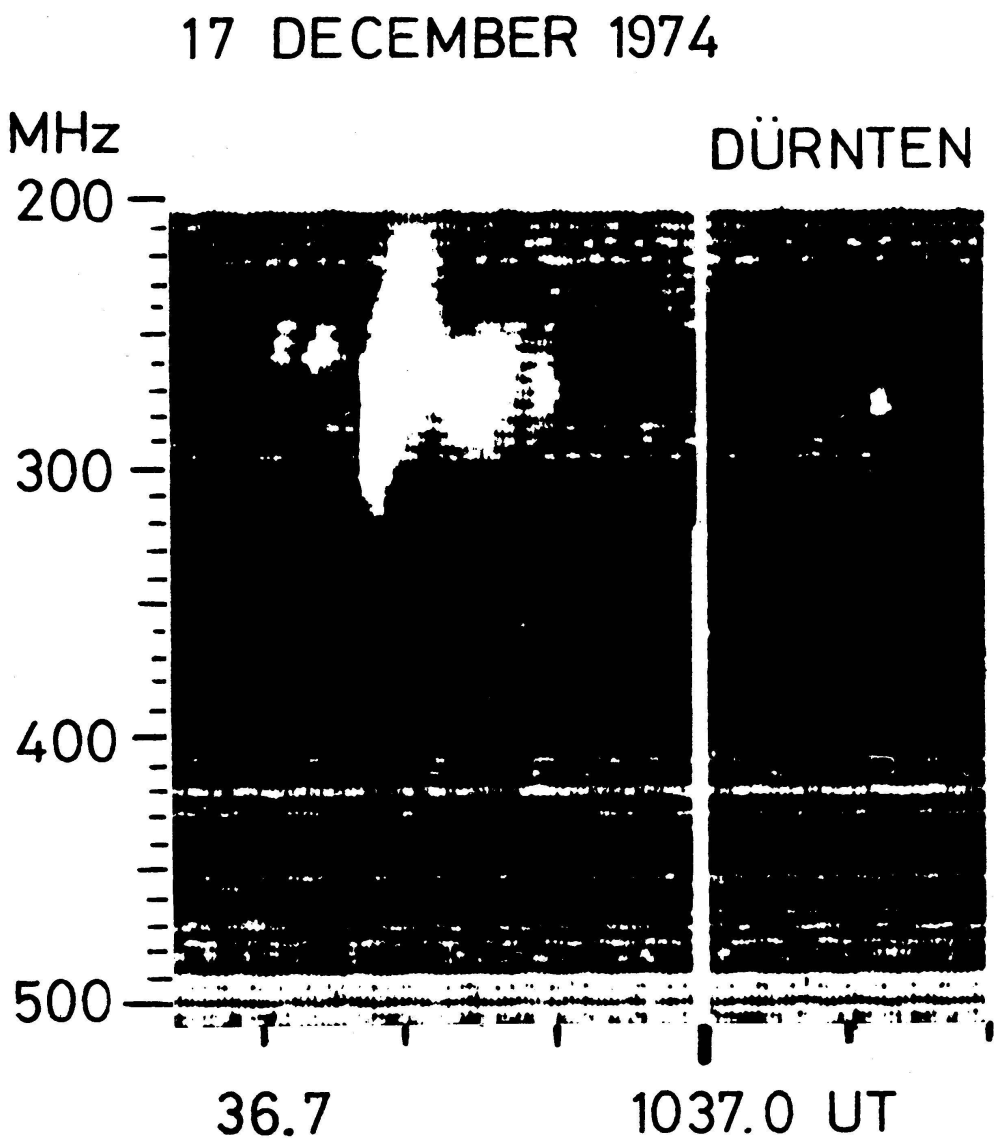

Abb. 3 Analogregistrierung eines solaren Radioausbruches durch die Anlage der ETH in Dürnten ZH. Die Zeit geht von links nach rechts; die Frequenz nimmt von oben nach unten zu. Hell bedeutet erhöhte Intensität der Sonnenstrahlung. Horizontale Linien sind terrestrische Störsignale (Sender), und die vertikale Linie bei 1037 UT ist eine Minutenmarke.

Zur täglichen kontinuierlichen Positionierung der Antenne auf die Sonne werden in einer digitalen Vergleichsschaltung die Ist-Positions-

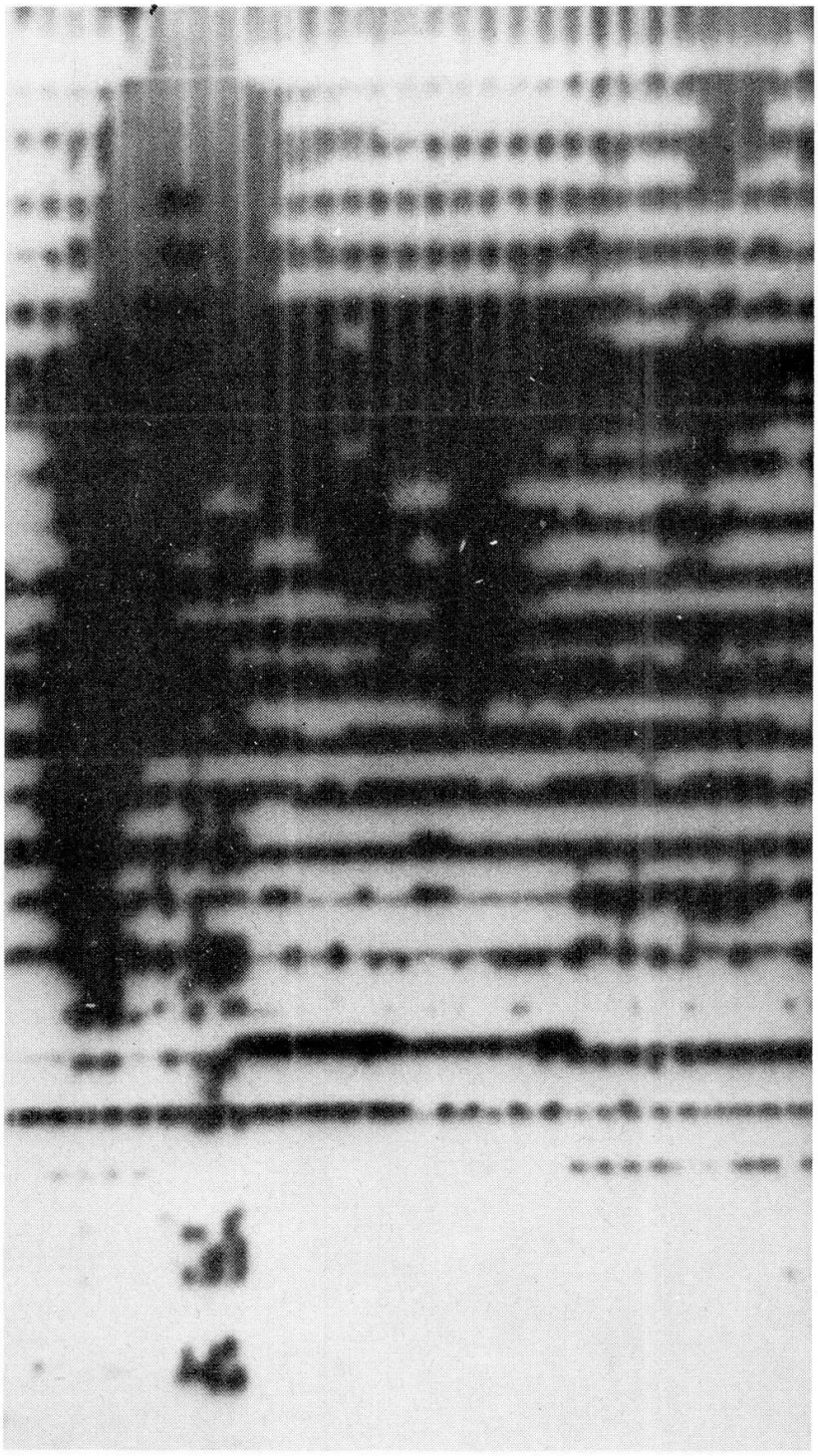

Abb. 4 Monitorbild der unverarbeiteten digitalen Rohdaten desselben Bursts wie in Bild 3. Die Darstellungsart ist dieselbe. Der Frequenzausschnitt ist kleiner, dafür die Zeitauflösung grösser.

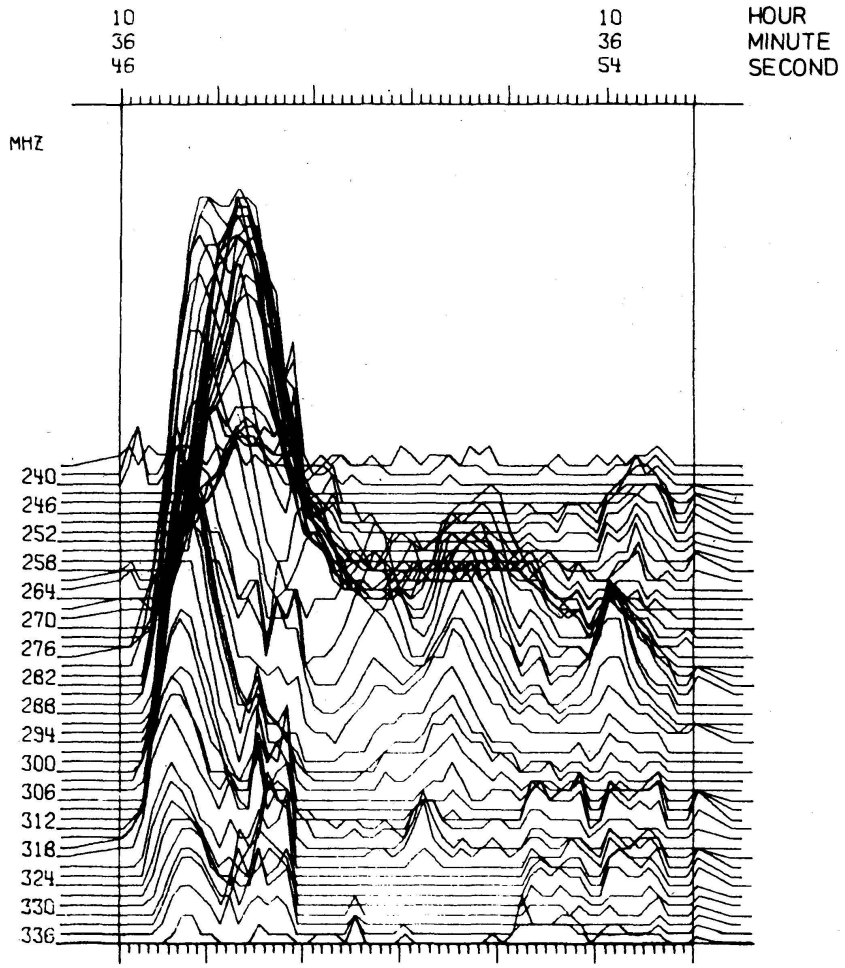

Abb. 5 Intensität (in willkürlichen logarithmischen Einheiten), als Funktion der Zeit für verschiedene Frequenzen dargestellt, die am linken Rand angegeben sind. Die Daten wurden geeicht (ruhiges Niveau subtrahiert) und in der Frequenzachse mit einem Tiefpassfilter verarbeitet. Die Zeichnung ist für die endliche Frequenzzykluszeit korrigiert.

werte beider Koordinaten (Azimut und Elevation) mit den Soll-Positionswerten verglichen. Die Soll-Position ist die berechnete Antennenposition und wird aus einer im Rechner gespeicherten Tabelle laufend ermittelt. Die Ist-Position wird von den digitalen Winkelgebern beider Antennenachsen geliefert. Ist in der Vergleichsstufe die Differenz zwischen Soll- und Istwert nicht gleich Null, so werden die Antriebsmotoren so lange nachgesteuert, bis die Abweichung vom Sollwert kleiner als 0,7 Bogengrad geworden ist.

III. Resultate

Abbildung 3 zeigt den solaren Radioausbruch vom 17. Dezember 1974, wie er mit dem Analogempfänger, der als Ergänzung der digitalen Anlage weiter betrieben wird, direkt auf Film registriert wurde. Wir sehen einen stärkeren

Typ III-Burst (längliche vertikale Struktur bei 1036.8 WZ), der von einer diffusen rundlichen Fläche (bis 1036.9 WZ) gefolgt wird. Hätte man nur dieses Bild, wäre es verlockend, den flächigen Burst als Typ V zu klassifizieren, der von einem (bisher noch im beobachteten) Typ III-Burst in Absorption durchsetzt ist. Diese kontinuierlichen Filmaufnahmen erlauben eine sichere Erfassung aller Bursts im ganzen Frequenzband, besonders wenn das digitale System in einem schmalen Band mit hoher Zeitauflösung arbeitet.

Der gleiche Ausbruch wurde auch mit dem neuen System digital auf Magnetband registriert. Die digitalen Werte können off-line via Computer zur raschen Beurteilung zwecks Kontrolle oder Auswahl auf einem speziellen Monitor dargestellt werden (Bild 4). Dabei handelt es sich um ungeeichte Rohdaten. Die Daten auf Magnetband werden auf dem Grosscomputer der ETH ausgewählt, geeicht, beliebig weiterverarbeitet und zum Schluss ausgeschrieben oder gezeichnet. Bild 5 z.B. zeigt Profile längs der Zeitachse. Darin wird deutlich, dass der zweite, diffuse Burst nicht vom Typ V ist, sondern dass er eine Kombination von drei mittleren Ausbrüchen und einem schwachen Typ III-Ausbruch ist. In der Isointensitätsdarstellung (Bild 6) sind wieder die verschiedenen Typ III-Bursts erkenntlich. Zusätzlich ist die Andeutung der „inversen J"-Struktur bei etwa 284 MHz erkennbar. In Bild 7 wurden die verarbeiteten Daten wieder auf Film aufgetragen. Dank der gleichen Darstellungsart lassen sich die Digitalwerte von Auge „lesen" und mit dem Analogverfahren (Bild 3) vergleichen. Man beachte vor allem die differen-

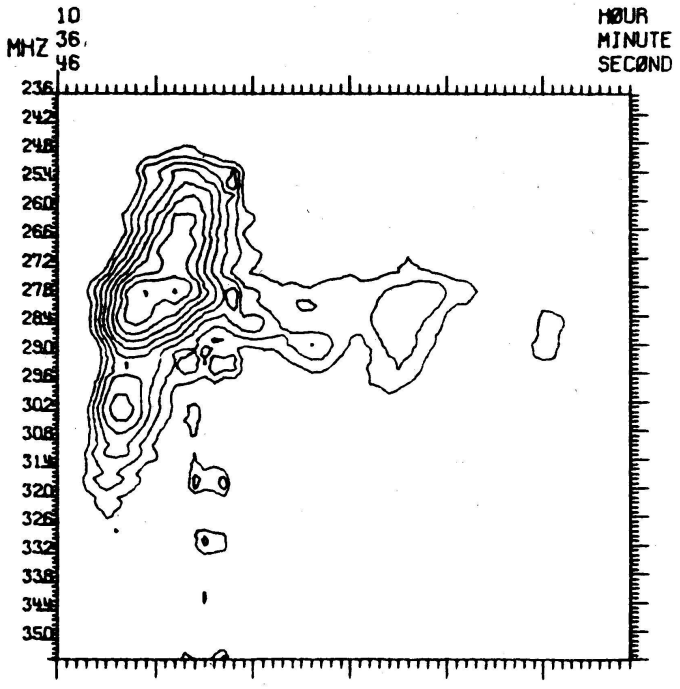

Abb. 6 Isointensitätskurven der gleichen Daten wie in Bild 5, in ähnlicher Darstellung wie Bild 3 gezeichnet. Die Aequidistanz ist in logarithmischen Einheiten bestimmt.

Abb. 7 Aufbelichtung der digitalen Daten mittels einer Optronics „Photomation Mark II"-Anlage. Jedes Einheitsviereck stellt einen Wert in 8 bit (256 Graustufen) dar. Es wurde die gleiche Darstellungsart wie in Bild 3 gewählt: die Frequenz geht von 236 MHz (oben) bis 394 MHz (unten), die Zeit von 1036.46 bis 1038.55,6 WZ (aus Benz und Asper, 1975).

zierteren Grautöne (mehr Intensitätsauflösung) und die erhöhte Sichtbarkeit der Strukturierung. Das digital aufgezeichnete Bild lässt sich mit der gleichen Maschine (Optronics „Photomation Mark II") wieder lesen und eignet sich damit auch als langzeitlicher Datenspeicher.

Literatur

Asper, H.K.: 1975, Naturwissenschaften, im Druck.
Benz, A.O. und Asper, H.K.: 1975, Kleinheubacher Berichte, im Druck.

2. Geophysik

2.1 B. Primault (Institut Suisse de Météorologie, Zurich): **Considérations générales sur les indices de confort**

En parcourant la littérature, on est frappé de voir que ce qui est qualifié de "atmosphère confortable" varie d'un auteur à l'autre. La plupart d'entre eux donne des limites précises définies en général par la température et l'humidité. En reportant ces limites sur un même diagramme, on est frappé de la diversité des zones déclarées agréables ou, au contraire, suffocantes.

La raison de cette diversité provient vraisemblablement du fait que les auteurs consultés sont partis, les uns de données de laboratoire, les autres de questionnaires remplis par des gens vivant en plein air. La plupart des indices de confort consultés font abstraction du vent.

Si l'on compare les sources de chacun de nos auteurs, on constate que leurs définitions dépendent du matériel de base disponible à chacun.

A première vue, il serait possible de limiter l'indice de confort à une température et une humidité au-dessous desquelles les conditions pourraient être qualifiées d'agréables.

2.2. Karl Frey (Olten): **Orographische Wolken in äquatorialen und arktischen Breiten**

Auf der Strecke Bogota–Villavicencio (Kolumbien, 4° nördliche Breite) wurde das östliche Andengebirge am 27. Mai 1972 bei einer Ostföhnlage und am 2. Juni bei einer Westföhnlage überflogen. Die durch die orographische Beschaffenheit der Ostanden gebildete Bewölkung wurde vom Boden und vom Flugzeug aus bei beiden Föhnlagen fotografiert.

Am 13. Juli 1973 bestand in einem Fjord in Spitzbergen bei Ny Aalesund (79° Breite) eine typische Föhnlage, bei der die Bildung der orographischen Bewölkung fotografiert werden konnte.

Vorgängig wurde die Ansicht über die Entwicklung des Föhns dargelegt, wie sie der Verfasser in früheren Arbeiten aufgrund einer Analyse der räumlichen Felder der meteorologischen Elemente auf der Luv- und Leeseite einer Föhnströmung beschrieben hat.

Bei Süd- und bei Nordföhn ist es – nebst den bedeutenden Druckgradienten – das ausgeprägte barokline Solenoidfeld auf der Leeseite, das der Föhnströmung die notwendige Absinkbeschleunigung und die Energie verschafft, um mit machtvoller Stärke in die Täler hinunter vorzudringen und die bestehenden Kaltluftschichten wegzuräumen.

Für die Föhnklassifikation wird unterschieden zwischen:
Antizyklonalföhn (freier Föhn) – Antizyklonaler Höhenföhn – Zyklonaler Höhenföhn – Antizyklonaler Talföhn – Zyklonaler Talföhn – Dimmerföhn.

2.3 K. Lenggenhager (Bern): **Das Problem der farbigen und weissen senkrechten Nebenlichtsäulen und Unternebensäulen**

Während die Lichtsäulen in hiesigen Berggebieten ihr Entstehen hauptsächlich den vornehmlich in horizontalen Lagen fallenden Schneesternchen verdanken[1], sind in den Polargebieten die hexagonalen Eisplättchen vorherrschend, welche sowohl für Lichtsäulen als auch für die farbigen (gelegentlich auch weissen) Neben- oder Unternebenlichtsäulen verantwortlich sind, deren Abstände bei niedrigeren Sonnenständen ca. 22° von der Hauptsäule betragen.

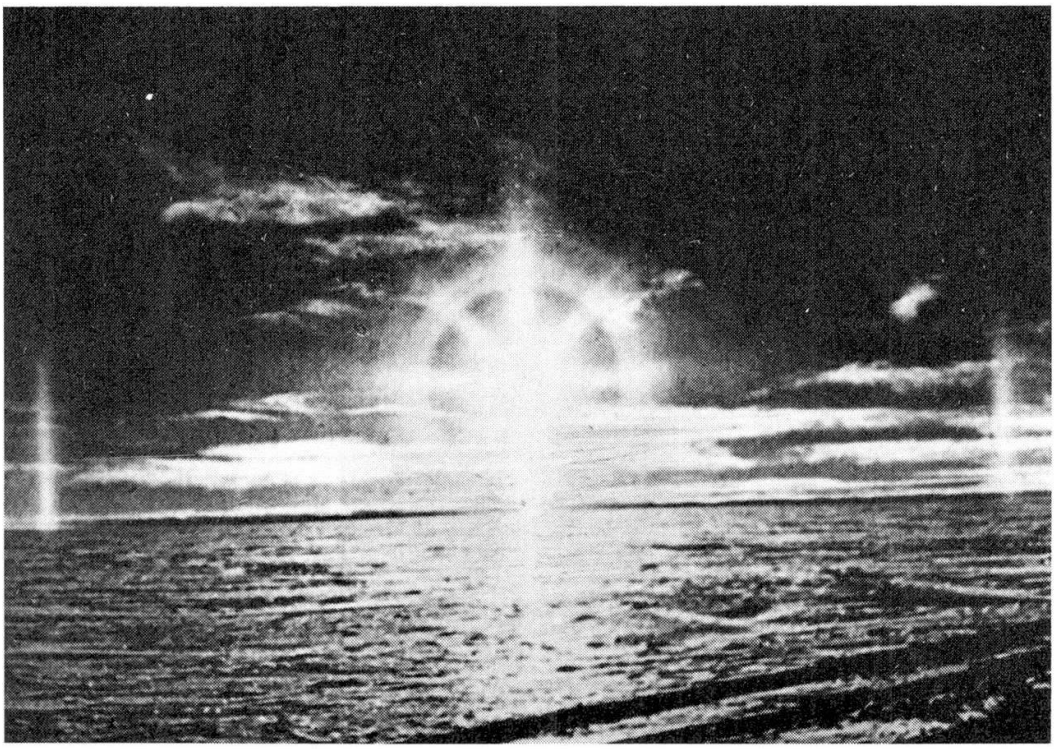

Abb. 1: Zwei farbige Unternebensäulen im Südpolargebiet. Durch die Sonne das weisse Kreuz und ein die Sonne umgebender, farbiger Kranz (aus „Der grosse Readers Weltatlas").

In der Abbildung 1 ist ein solches Beispiel wiedergegeben, das in der Antarktis fotografiert, im grossen Readers Weltatlas jedoch ohne Kommentar farbig abgebildet ist[2]. Die beiden senkrechten farbigen Nebensäulen sind je 9,6° lang, verglichen mit ihrem theoretischen Abstand vom Sonnenvertikal von 22°. Das Rot dieser Nebensäulen ist nach innen gelegen.

Zur Erklärung der farbigen Nebensäulen

Durch die vornehmlich mit horizontalen Hauptflächen fallenden Eisplättchen der Nebensäulen werden gleich wie beim Halo von 22° Radius nur deren minimal gebrochene Strahlen gesehen, weil sich Farben stärkerer Brechgrade nach aussen gegenseitig zu Weisslicht überlagern. So entsteht ja auch der gelegentlich zu sehende weisse Schweif schön farbiger Nebensonnen.

Wenn solche schmalen hexagonalen Plättchen in bewegterer Luft fallen und um ihre horizontale Vorzugslage pendeln, so überlagern sich in gleicher Weise ihre stärker gebrochenen Farbstrahlen zu Weiss. Es verbleiben dann nur die jeweils in minimaler Brechstellung erzeugten Farbstrahlen. Dies ergäbe also keine senkrechte farbige Neben- oder Unternebensäule.

Eine Möglichkeit zur Bildung farbiger Unternebensäulen und Nebensäulen bietet folgende Überlegung. Gleich wie eine tiefer liegende Sonne und sogar Nebensonne auf ruhigerer Seeoberfläche lange und schmale Lichtstrassen bedingen, können schaukelnde Plättchen der Neben- und Unternebensonnen ihre minimalen Brechstrahlen (die nicht durch stärkere Brechgrade überlagert werden können) auf leicht schwankenden Plättchen der nahen Umgebung in Form längerer, gerader Farbstrassen spiegeln lassen.

Da es sich hierbei, im Gegensatz zur Lichtstrasse auf ruhigeren Gewässern, nicht nur um gewöhnliche Reflexion handelt, sondern zum Teil sogar um Totalreflexion, ist die Lichterscheinung solcher Neben- und Unternebensäulen erheblich.

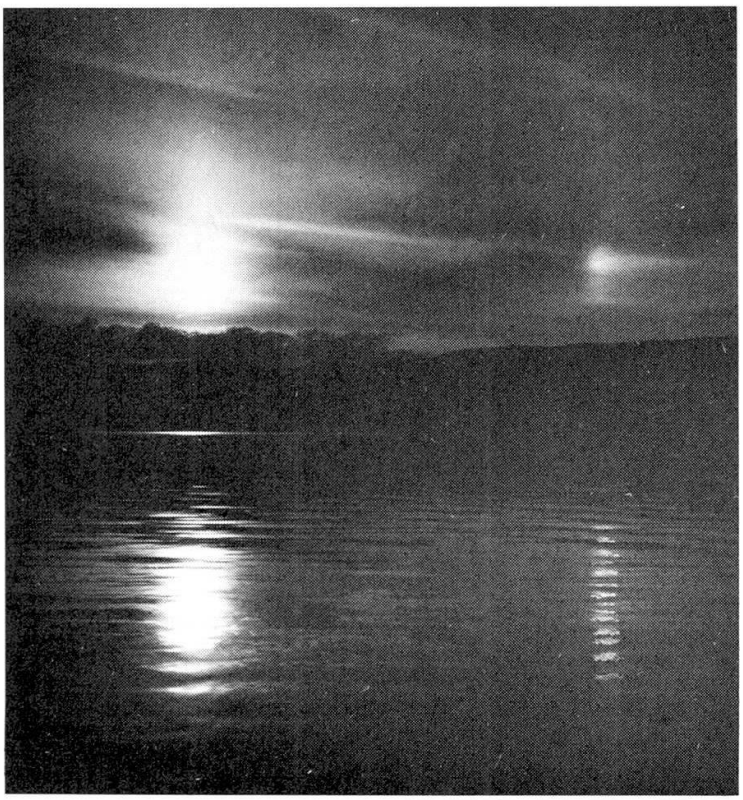

Abb. 2: Sonne und Nebensonne spiegeln sich in längeren Lichtstrassen auf ruhigerer Seeoberfläche.

Abb. 3: Untere Lichtsäule mit ebenfalls weisser Unternebensäule auf Weissfluhjoch (nach M. Jaggi).

Ein Hauptargument für diese Ansicht bieten zwei Beobachtungen von verschieden hohen Sonnenständen mit ihren Säulen und Nebensäulen, welch letztere beide den gleichen, minimalen Abstand vom Sonnenvertikal aufwiesen, die eine Beobachtung bei einem Sonnenstande von ca. 5°, die andere jedoch bei 15°. (Die Bilder wurden gezeigt.)

Einen Hinweis für eine solche Deutung ergibt die Abb. 2, wo sich die Sonne mit ihrer Nebensonne als längere Lichtstrassen auf ruhigerer Seeoberfläche spiegeln. Jedoch ist auch das Umgekehrte möglich: Längliche Untersonnen können auch durch ihr in der Vertikalen konvergierendes Licht von allen in minimalen Brechlagen befindlichen, pendelnden Plättchen wirksame Brechstrahlen für gerade Neben- oder Unternebensäulen bedingen.

Eine Stütze für diese Ansicht bietet eine eigene Flugbeobachtung einer hellen, runden Untersonne auf Eiswolken, welche einen farbigen Totalhalo von 22° Radius um sich herum bewirkte[3].

Durch die beschriebene Auffassung ist es nun auch verständlich, dass sich Nebensonnen und Unternebensonnen auf bewegteren Eisplättchen (aber auch auf Schneesternchen) als *schräge* Säulen spiegeln können, gleich wie eine nicht zu hohe Sonne sich auf schräg zum Sonneneinfall verlaufenden Wellen als schräge Lichtstrasse spiegeln kann[4]. So wurden farbige Bilder von schrägen Nebensäulen und auch von farbigen Unternebensäulen gezeigt. Diese konnten je nach Windrichtungen oben oder auch unten gegensinnige Abstände vom Sonnenvertikal aufweisen.

Farblose Lichtsäulen

Weder im Buche von Pernter[5] noch bei Visser[6] oder bei Meyer[7] sind solche in ihren erschöpfenden Abhandlungen über Haloerscheinungen erklärt, z.T. nicht einmal erwähnt. In der Abb. 3 ist eine kleinere, weisse, senkrechte Unternebensäule aus einer Arbeit von Jaggi[8] mit dessen Erlaubnis wiedergegeben. Ihr Abstand von der Untersäule ist mit 22° bestimmt worden bei einem nicht erwähnten Sonnenstande, der, den Schatten entsprechend, ungefähr 30° betragen haben dürfte.

Während vieler winterlicher Aufenthalte auf dem Säntisgipfel (2504 m) konnte der Schreibende mehrfach senkrechte weisse, seltener farbige Unternebensäulen von bis 10° Länge mit Abständen von ca. 22° von den Unterlichtsäulen beobachten und fotografieren. Ihre weisse Mischfarbe könnte durch sehr dünne Eisplättchen unterschiedlicher Dicken mit ungleichen Abständen untereinander erklärt werden in Analogie zu weissen, sehr schmalen Lichtstrassen auf Dunkelbrillen, die durch nicht entfetteten Fingerkuppenstrich beobachtet werden können[9]. Der Verfassen konnte auf dem winterlichen Säntisgipfel mehrfach farblose und farbige Unternebensäulen und Nebensäulen fotografieren, von welchen einige Farbdias gezeigt wurden.

Anmerkungen

1 Lenggenhager K.: Zur Erklärung der langen und schmalen Lichtsäulen. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A, 24, 93-112; 1975
2 Reader's Digest-Weltatlas: Verlag Das Beste G.m.b.H., Stuttgart; 1963
3 Lenggenhager K.: Ideale Sonnenspiegelung auf Wolken und deren Erklärung. Z. f. Meteorol. 23, 288; 1973
4 Lenggenhager K.: Zur Erklärung der langen und schmalen Licht-Reflexstreifen auf ruhigen Gewässern. Verhandlgen. d. Schweiz. Naturf. Ges. 254; 1972
5 Pernter J.M. und Exner F.M.: Meteorol. Optik, 2. Auflage, Verlag Braumüller, Wien und Leipzig; 1922
6 Visser S.W.: Die Haloerscheinungen. Handbuch d. Geophysik, 8, 1027; Bornträger, Berlin; 1960
7 Meyer R.: Die Haloerscheinungen. Verlag Henri Grand, Hamburg; 1929
8 Jaggi M.: Über die Lichtsäule. Verhandlgen. d. Schweiz. Naturf. Ges. 146, 79; 1946
9 Lenggenhager K.: Zur Entstehung der Nebenlichtsäulen. Z. f. Meteorol. 23, 360; 1973

2.4. M. Bouët (Le Mont sur Lausanne):
Sur une singulière distribution des passages frontaux en un lieu donné

Une recherche portant sur l'heure de passage des fronts froids (1764 cas étudiés) dans la région de Lausanne et déjà signalée antérieurement (Archiv f. Met., Geoph., Bioklim., A 17, 1968) a montré que ceux-ci sont en moyenne les plus fréquents vers 6 h et vers 16 h en H.E.C. (resp. 5,5 et 7 %), plus rares vers 11 h et 23 h (resp. 3 et 2 %). La fréquence accrue de l'après-midi est apparemment en relation avec l'instabilité troposphérique plus grande en ce moment de la journée; celle du début du jour ne peut par contre avoir la même cause. Le minimum nocturne de fréquence correspond à la stabilité moyenne plus grande des basses couches, mais celui de 11 h ne trouve pas d'explication du même ordre. Il faut rappeler cependant que la fréquence de la pluie en Europe centrale est minimum vers 12 h et que celle de l'orage est la plus faible vers 10 h. Il est curieux en outre qu'à une heure près à peine les extrema de fréquence des passages coïncident avec ceux de l'onde semi-diurne de pression, les maxima correspondant aux minima et inversement.

L'inégale distribution des heures de passage des fronts froids au cours du jour (en Suisse romande du moins) est surprenante et pose un problème difficile; que les changements de temps s'avèrent particulièrement rares au milieu de la nuit n'est pas étonnant; qu'ils le soient également en fin de matinée est par contre remarquable, mais correspond à l'expérience courante de l'évolution du temps selon laquelle l'éclaircie après la pluie apparaît volontiers au milieu du jour. La question reste ouverte.

2.5. H. Kahle (Institut für Geophysik, ETH Zürich):
Zur Ursache von globalen Schwereanomalien*

Als Schwereanomalien bezeichnet man üblicherweise Abweichungen der beobachteten Schwere von der theoretischen Schwere, die am Stationspunkt herrschen würde, wenn die Erde ein Rotationsellipsoid wäre. Da das Schwerefeld ein Integralfeld ist, enthält es die Schwerewirkungen sämtlicher im Erdinnern verteilter Störungsmassen. Diese Wirkungen haben je nach Tiefenlage und Dichteverteilung der Störungsmassen unterschiedliche Halbwertsbreiten und Amplituden. Die Halbwertsbreiten sind ein Mass für die Wellenlängen der Schwereanomalien. Entsprechend der Grösse der Fläche, die die Anomalien einnehmen, unterscheidet man zwischen lokalen, regionalen und globalen Schwerestörungen. Viele gravimetrische Interpretationen beschäftigen sich mit der Deutung der lokalen Anomalien, deren Ursachen oft in wenigen Kilometern Tiefe liegen. Um die lokalen Anomalien zu erhalten, muss man die regionale Anomalie bestimmen und vom beobachteten Schwerefeld abziehen. Die Ursachen der regionalen Anomalien liegen in der Erdkruste und

*Mitteilung Nr. 129 aus dem Institut für Geophysik der ETH Zürich.

zum Teil im oberen Erdmantel. Die noch langwelligeren globalen Schwerestörungen braucht man bei der Interpretation der lokalen Anomalien nicht zu berücksichtigen, da sie in den betrachteten Gebieten meist einen konstanten Wert haben.

Hingegen sind die globalen Schwereanomalien von grosser Bedeutung für die Analyse von Massenstörungen, die im tiefen Erdinnern liegen. Im folgenden wird versucht, eine Zusammenfassung über die möglichen Ursachen dieser globalen Anomalien wiederzugeben.

Die Berechnung der globalen Schwerestörungen beruht auf der Entwicklung des Schwerepotentials nach Kugelfunktionen: $P_n(\cos\theta)$, $\theta = 90° -$ geographische Breite, deren Koeffizienten aus Satellitenbahnstörungen abgeleitet werden. Zu den Gebieten mit positiven globalen Anomalien niederer Ordnung (zum Beispiel $n = 4$) gehören Südamerika, Europa, der südwestindische Ozean und die Tiefseegräben im Westpazifik. Die Minima liegen über dem nordwestlichen und zentralen Atlantik, dem ostindischen und südpazifischen Ozean sowie über dem nördlichen Pazifik. Diese Anomalien erreichen $\pm$ 20 mgal*. Sie zeigen keinen systematischen Zusammenhang mit der Verteilung der Kontinente, Ozeane und Lithosphärenplatten. Auch mit den aus seismischen Beobachtungen gewonnenen Strukturen der Erdkruste und Lithosphärenplatten können die langwelligen Anomalien niederer Ordnung bisher nicht erklärt werden. Ihre Ursachen müssen also in grösserer Tiefe liegen.

Als tiefste Störungsmasse für die Anomalien niederer Ordnung kommen Undulationen der Erdkern-Mantelgrenze in einer Tiefe von rund 2900 km in Betracht. Entlang dieser Diskontinuität nimmt die Dichte sprunghaft um 4.0 g cm^{-3} zu. Dieser Dichtesprung ist gross genug, dass schon sehr kleine Undulationen der Kern-Mantelgrenze (von wenigen Kilometern) Schwerewirkungen an der Erdoberfläche hervorrufen, die in der Grössenordnung der aus Satellitenbahnen abgeleiteten Anomalien niederer Ordnung (zum Beispiel $n = 4$) liegen. Beobachtungen von P_cP-Wellen, die den Erdkern durchlaufen haben, deuten auf solche Undulationen hin (Buchbinder, 1968).

Der Bereich oberhalb der Kern-Mantelgrenze wird vom unteren Erdmantel eingenommen, der bis in eine Tiefe von 1000 km heraufreicht. Aufgrund seismischer Geschwindigkeitsdaten von Anderson und Toksöz (1963) kann man folgern, dass die Dichte von der Tiefe 1000 km bis 2900 km kontinuierlich von etwa 4.6 g cm^{-3} bis auf 5.5 g cm^{-3} zunimmt und dort keine Diskontinuitäten aufweist. Statt dessen enthält der darüberliegende obere Erdmantel mehrere Unstetigkeitsflächen, entlang denen die seismische Kompressionswellengeschwindigkeit (Julian und Anderson, 1968) und die Dichte (Anderson, 1967 a,b, c, 1968, 1969) sprunghaft zunehmen. Zwei von diesen Unstetigkeitszonen kann man mit Phasentransformationen in Zusammenhang bringen (Birch, 1952, 1961). Die obere Gradientenzone liegt etwa in einer Tiefe von 400 km und die untere im Tiefenbereich um 650 km. Den oberen Sprung interpretiert man allgemein als Übergang von Olivin (einer Forsterit (Mg_2SiO_4)-Fayalith (Fe_2SiO_4)-Mischung) zu einer Spinell-Phase (Ringwood, 1958 a, b, c, 1966, 1969). Entlang dieser Olivin-Spinell-Übergangszone steigt die Dichte sprunghaft um etwa 8 % (0.3 g cm^{-3}) an. Wie neuere Hochdruckversuche gezeigt haben, hängt der Olivin-Spinell-Übergang

*1 mgal = 10^{-3} cm s^{-2}

stark von der Temperatur und dem Druck ab. Aus experimentellen Daten von Akimoto und Fujisawa (1968) hat Bott (1971) beispielsweise errechnet, dass die Gerade der Temperatur-Druck-Relationen, bei denen der Olivin-Spinell-Übergang von $(Mg_{0.9}, Fe_{0.1})_2\ SiO_2$ stattfindet, einen Gradienten von 0.06 kbar/°C aufweist.

Diesem Gradienten entspricht die Temperatur-Tiefen-Bedingung von etwa 5.5 °C/km. Das bedeutet, dass der Olivin-Spinell-Übergang etwa 1 km tiefer stattfindet, wenn sich die Temperatur um 5.5 °C erhöht. Daraus ergibt sich eine Undulation des Olivin-Spinell-Übergangs, die man einer lateralen Massenstörung mit dem Dichtekontrast 0.3 g cm^{-3} zuordnen kann. Bei der zweiten Übergangsphase, die etwa in 650 km Tiefe liegt (Anderson, 1967 c; Mao et al., 1969), erfolgt der Übergang in die noch dichteren Phasen in Form von Oxiden wie Stishovit (SiO_2), Periklas (MgO) und Wüstit (FeO). Im Gegensatz zur Olivin-Spinell-Übergangszone ist der Druck-Temperaturgradient dort jedoch negativ, so dass sich bei Temperaturerhöhungen der Übergang nach oben verschiebt. Da der Dichtesprung beim Spinell-Übergang ebenfalls 0.3 g cm^{-3} beträgt, würden sich die entsprechenden Schwereanomalien zum Teil kompensieren, wenn in der Tiefe dieser beiden Phasenübergänge eine Temperaturveränderung mit gleichem Vorzeichen und Betrag auftritt. Bott (1971) hat jedoch gezeigt, dass die Spinell-Oxid-Übergangszone wegen des negativen Temperatur-Tiefen-Gradienten bei Temperaturänderungen dazu tendiert, wieder in die alte Tiefenlage zurückzukehren – der Olivin-Spinell-Übergang dagegen nicht. Demnach kommt der Olivin-Spinell-Übergang eher als Ursache von Schwereanomalien in Frage als der Spinell-Oxid-Übergang.

Whitcomb, Anderson (1970) und Fuchs et al. (1971) fanden wichtige Hinweise für die mögliche Existenz von unterschiedlichen Tiefenlagen der Übergangszonen. Der Geschwindigkeitssprung entlang dieser Zonen ist so gross, dass dort Reflexionen von Erdbebenwellen auftreten. Nachdem die Raumwellen den Erdkern durchlaufen haben, können sie insbesondere an der Unterseite der Übergangszonen reflektiert werden, erneut den Erdkern durchlaufen und dann als Vorläufer vor der Hauptphase P'P' = PKPPKP registriert werden. Auf solche Reflexionen machten zum Beispiel Gutenberg (1960), Adams (1968), Engdahl und Flinn (1969), Bolt et al. (1968) und Niazi (1969) aufmerksam. Whitcomb et al. (1970) untersuchten Laufzeiten von Erdbeben, die in Japan bzw. Südamerika entstanden waren und im Gebiet des ozeanischen Rückens südlich von Afrika bzw. beim 90°-Ost-Rücken im Indischen Ozean reflektiert wurden. Das benutzte Seismographennetz lag in Kalifornien und Arizona. Es ergaben sich Reflexionen in den Tiefen bei 630, 280, 520, 940 und 410 km – jeweils in der Reihenfolge ihrer Nachweisbarkeit angegeben. Hierbei zeigten die Reflexionen in 410 km Tiefe und darunter in den beiden betrachteten Reflexionsgebieten einen korrigierten zeitlichen Unterschied im Seismogrammeinsatz von 4 Sekunden. Whitcomb et al. (1970) deuteten diesen Zeitunterschied, indem sie annahmen, dass die Phasenübergänge südlich von Afrika etwa um 20 bis 30 km höher liegen als unter dem 90°-Ost-Rücken. Bei einem Tiefenvergleich der Diskontinuitäten in der Mantelübergangszone in den U.S.A. (Johnson, 1967) und in Europa (Mayer-Rosa, 1969, Mayer-Rosa und Müller, St., 1971, 1973) sind Fuchs et al. (1971) auf noch grössere Unterschiede für die Tiefenlagen des Olivin-Spinell-Übergangs gekommen. In den U.S.A.

ergibt sich eine Tiefe von 400 km und in Europa eine solche von rund 300 km. Diese Undulationen korrelieren mit den langwelligen Schwereanomalien von n = 2 bis 6 (Fuchs et al., 1971), deuten sich aber auch im Feld zwölfter Ordnung an.

Vorläufige Modellrechnungen ergeben, dass die seismisch gefundenen Undulationen in der Mantel-Übergangszone theoretisch die Grössenordnung der beobachteten Anomalien mit intermediären Wellenlängen (z.B. n = 12) durchaus erreichen und sogar grösser sein können.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Stephan Müller, Zürich, für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Abkürzungen

B.S.S.A.	Bulletin of the Seismological Society of America
G.J.R. astr. Soc.	Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society
J.G.R.	Journal of Geophysical Research
Z.f.G.	Zeitschrift für Geophysik (Journal of Geophysics)

Literatur

Adams, R.D., 1968: Early reflections of P'P'as an indication of upper mantle structure. B.S.S.A., 58: 1933.

Akimoto, S. & Fujisawa, H., 1968: Olivine-Spinel Solid Solution equilibria in the system Mg_2SiO_4 – Fe_2SiO_4. J.G.R., 73: 1467–1479.

Anderson, D.L. & Tokzöz, M.N., 1963: Surface waves on a spherical earth. 1. Upper mantle structure from love waves. J.G.R., 68: 3483–3500.

Anderson, D.L., 1967a: A seismic equation of state. J.G.R., 13: 9–30.

Anderson, D.L., 1967b: Latest information from seismic observations. In: Gaskell (editor), The earth's mantle. Academic Press, 355–420.

Anderson, D.L., 1967c: Phase changes in the upper mantle. Science, 157: 1165–1173.

Anderson, D.L., 1968: Chemical inhomogeneity of the mantle. Earth and Planetary Science Letters, 5: 89–94.

Anderson, D.L., 1969: Bulk modulus – density systematics. J.G.R., 74: 3857–3864.

Birch, F., 1952: Elasticity and constitution of the earth's interior. J.G.R., 57: 227–286.

Birch, F., 1961: Composition of the earth's mantle. J.G.R., 4: 295–311.

Bolt, B.A., O'Neill, M. & Quamar, A., 1968: Seismic waves near 110°: Is structure in core or upper mantle responsible? G.J.R. Astr. Soc., 16: 475–487.

Bott, M.H.P., 1971: The mantle transition zone as possible source of global gravity anomalies. Earth and Planetary Science Letters, 11: 28–34.

Buchbinder, G.G.R., 1968: Properties of the core-mantle boundary and observations of P_cP. J.G.R., 73: 5901–5923.

Engdahl, E.R. & Flinn, E.A., 1969: Seismic waves reflected from discontinuities within the upper mantle. Science, 163: 177–179.

Fuchs, K., Mayer-Rosa, D. & Liebau, F., 1971: Lateral inhomogeneities of the earth's mantle and their petrological interpretation. Z.f.G., 37: 937–942.

Gutenberg, B., 1960: Waves reflected at the "surface" of the earth: P'P'P'P'. B.S.S.A., 50: 71–79.

Johnson, L.R., 1967: Array measurements of P velocities in the upper mantle. J.G.R., 72: 6309–6326.
Julian, B.R. & Anderson, D.L., 1968: Travel times, apparent velocities and amplitudes of body waves. B.S.S.A., 58: 339–366.
Mao, H.-K.,Takahashi, T., Basset, A., Weaver, J.S. & Akimoto, S., 1969: Effect of pressure and temperature on the molar volumes of wüstite and of three $(Fe\text{-}Mg)_2\ SiO_4$ Spinel solid solutions. J.G.R., 74: 1061–1069.
Mayer-Rosa, D., 1969: Die Geschwindigkeitsverteilung seismischer Wellen im oberen Erdmantel Europas. Dissertation, Universität Stuttgart, 79 pp.
Mayer-Rosa, D. & Müller, St., 1971: Velocity and density distributions in the upper mantle of Europe. XII Assemblée générale de la Commission Séismologique Européenne. Observatoire Royal de Belgique, Communications, Serie A-No. 13, Serie Géophysique No. 101: 171–172.
Mayer-Rosa, D. & Müller, St., 1973: The gross velocity-depth distribution of P- and S-waves in the upper mantle of Europe from earthquake observations. Z.f.G., 39: 395–410.
Niazi, M., 1969: Use of source arrays in studies of regional structure. B.S.S.A., 59: 1631–1643.
Ringwood, A.E., 1958a: The constitution of the mantle – I: Thermodynamics of the olivine-spinel transition. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 13: 303–321.
Ringwood, A.E., 1958b: The constitution of the mantle – II: Further data on the olivine-spinel transition. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 15: 18–29.
Ringwood, A.E., 1958c: The constitution of the mantle – III: Consequences of the olivine-spinel transition. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 15: 195–212.
Ringwood, A.E., 1966: Mineralogy of the mantle. In: Hurley (editor), Advances in earth science, MIT Press: 357–399.
Ringwood, A.E., 1969: Phase transformation in the mantle. Earth and Planetary Science Letters, 5: 401–412.
Whitcomb, J.H. & Anderson, D.L., 1970: Reflection of P'P'seismic waves from discontinuities in the mantle. J.G.R., 75: 5713–5728.