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)

Teilband: Wissenschaftlicher Teil

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: 28.11.2025

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

Da für die wissenschaftlichen Verhandlungen eine Neukonzeption ins Auge gefasst wurde, sind für den vorliegenden Band neue Publikationsrichtlinien angewandt und im Programm der Jahresversammlung 1975 bekanntgegeben worden. Danach sollen nicht mehr alle an der Jahresversammlung vorgelegten Arbeiten publiziert werden, sondern nur die Hauptvorträge und die Beiträge zu den Symposien. Eine Ausnahme wird gemacht für Fachvorträge der wissenschaftlichen Gesellschaften, welche über keine eigene Zeitschrift in der Schweiz verfügen.

La SHSN a décidé une nouvelle conception pour les Actes scientifiques. Ainsi les nouvelles directives de publication pour l'édition 1975 publiées dans le programme pour l'assemblée annuelle 1975 ont été appliquées. En conséquence seulement les conférences générales et les contributions dans le cadre de symposia seront publiées. Une exception a été faite pour les conférences scientifiques des sociétés de la SHSN ne disposant pas d'un propre périodique.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Leere Seite
Blank page
Page vide

Leere Seite
Blank page
Page vide

Geschenke und Tauschsendungen

für die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
sind zu adressieren:

An die Bibliothek der
Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
Stadt- und Universitätsbibliothek Bern
(Schweiz)

Les dons et échanges

destinés à la Société helvétique des sciences naturelles
doivent être adressés:

A la Bibliothèque de la
Société helvétique des sciences naturelles
Bibliothèque de la ville de Berne
(Suisse)

Doni e cambi

destinati alla Società elvetica di scienze naturali
vanno indirizzati:

Alla Biblioteca della
Società elvetica di scienze naturali
Biblioteca municipale di Berna
(Svizzera)

Leere Seite
Blank page
Page vide

ETH ZÜRICH
GEOBOTANISCHES INSTITUT
STIFTUNG RÜBEL
Lauf Nr. A 17
Standort

Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

WISSENSCHAFTLICHER TEIL

An der Jahresversammlung gehaltene Vorträge

Actes de la Société helvétique des sciences naturelles

PARTIE SCIENTIFIQUE

Communications présentées à l'Assemblée générale annuelle

Atti della Società elvetica di scienze naturali

PARTE SCIENTIFICA

Comunicazioni presentate all'Assemblea generale annuale

Gegründet / Fondée en / Fondata nel 1815

155. Jahresversammlung in Aarau 1975
155e Assemblée annuelle à Aarau 1975
155a Assemblea annuale a Aarau 1975

Birkhäuser Verlag, CH-4010 Basel

Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Wissenschaftlicher Teil

155. Jahresversammlung
vom 3.–5. Oktober 1975
in Aarau

Birkhäuser Verlag, CH-4010 Basel
(Für Mitglieder beim Generalsekretariat,
Laupenstrasse 10, 3001 Bern)

Actes de la Société helvétique des sciences naturelles

Partie scientifique

155e Assemblée annuelle
du 3 au 5 octobre 1975
à Aarau

Birkhäuser Verlag, CH-4010 Bâle
(Les membres s'adresseront au Secrétariat général,
10, Laupenstrasse, 3001 Berne)

Inhaltsverzeichnis / Table des matières

A. Eröffnungsvortrag / Discours d'ouverture

Hans Moor, Jahrespräsident (Rombach AG): „Bildung in der kleinstädtischen Kultur, oder die Aufgabe der kantonalen und lokalen Naturforschenden Gesellschaften" 7

B. Hauptvorträge / Conférences générales

Thema: „Sehen – Abbilden – Erkennen"

Karl Georg Götz (Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Tübingen): Sehen, Abbilden, Erkennen – Verhaltensforschung am visuellen System der Fruchtfliege Drosophila 10

René Dändliker (Brown Boveri Forschungszentrum, Baden): Objektives Sehen und Erkennen: Messen 35

Heinz Durrer (Institut für Pathologie der Universität Basel): Sehen – Abbilden – Erkennen: Dargelegt am Beispiel der Evolution der Schillerfarben der Vogelfeder. 43

C. Markus-Guggenheim-Gedenkvortrag

veranstaltet von der Schweizerischen Gesellschaft für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften:

Heinrich Zoller (Universität Basel): Konrad Gessners Historia Plantarum – Eine Synthese von Wissenschaft und Kunst. 57

D. Symposia

1. Schweizerische Gesellschaft für Anthropologie:
„Recherches anthropologiques sur la biologie de la population suisse"
M.-R. Sauter (Département d'Anthropologie, Université de Genève): Résumé 71

2. Schweizerische Botanische Gesellschaft und Schweizerische Pflanzenphysiologische Gesellschaft:
„Lumière et Végétaux"
P.A. Siegenthaler (Université de Neuchâtel): Introduction 73
2.1. J. Nösberger (ETH Zürich): Licht- und Stoffproduktion von Pflanzenbeständen. 73
2.2. P. Schürmann (Université de Neuchâtel): Photosynthetic Metabolism and Ecology 74

3. Schweizerische Gesellschaft für Vererbungsforschung: „Moderne Chromosomenanalyse"
3.1. U. Leemann (Institut für Allgemeine Botanik ETH Zürich): Quantitative Aspekte der Chromosomenanalyse 77
3.2. W. Schnedl (Histologisch-Embryologisches Institut der Universität Wien): Bändermuster der Chromosomen und andere neue Verfahren der Cytogenetik 84

4. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung: „Zukunftsorientierte Planung für den Umweltschutz (Gewässerschutz)"
H. Mislin (Carona/Lugano): Einführung 93
4.1. H.R. Wasmer (EAWAG Dübendorf): Wirkung und Grenzen von Umweltschutzmassnahmen 93
4.2. E. Bosset (Inspecteur cantonal des eaux, Lausanne): Prévention de la pollution des eaux par des mesures prises à la source 94
4.3. B. Ferrini (Lugano): Methodik und Umweltschutzkoordination 96
4.4. H. Bretscher (Ciba-Geigy, Basel): Lösung der Abwasserprobleme bei der Herstellung von Antibiotika am Beispiel des Werkes FERVET S.p.A. 96

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) 97
1.2. M.C.E. Huber, H.P. Mühlethaler, H. Nussbaumer: Die Gruppe für Atom- und Astrophysik ETH Zürich 103
1.3. J.-Cl. Mermilliod et B. Hauck: Activité de l'Institut d'Astronomie de l'Université de Lausanne, 1974–1975 106
1.4. A. Zelenka (Eidg. Sternwarte Zürich): Berechnete Profile einiger Wasserstofflinien des Sonnenspektrums. 107
1.5. Rapport d'activité scientifique pour l'année 1975 de l'Observatoire de Genève 108
1.6. H.K. Asper und A.O. Benz (Gruppe für Radioastronomie, Mikrowellenlabor, ETH Zürich): Der computergesteuerte Radiospektrograph der ETH Zürich 119

2. Geophysik
2.1. B. Primault (Institut Suisse de Météorologie, Zurich): Considérations générales sur les indices de confort 129
2.2. K. Frey (Olten): Orographische Wolken in äquatorialen und arktischen Breiten 129
2.3. K. Lenggenhager (Bern): Das Problem der farbigen und weissen senkrechten Nebenlichtsäulen und Unternebensäulen 130
2.4. M. Bouët (Le Mont sur Lausanne): Sur une singulière distribution des passages frontaux en un lieu donné 134
2.5. H. Kahle (Institut für Geophysik, ETH Zürich): Zur Ursache von globalen Schwereanomalien 134

F. Nekrologe

Jean G. Baer	Institut de Zoologie, Neuchâtel	139
Fritz Baltzer (Ehrenmitglied)	S. Rosin	142
Eduard Frey	M. Welten	144
Gustave Joyet	Hans H. Staub	146
Pierre Ed. Marmier	H. Jung	147
Robert A. Naef	Helmut Müller	149
Padrot Nolfi	Walter Jann	151
Emile Novel	Institut d'Hygiène, Genève	153
Rolf F. Rutsch	W. Mohler	154
Walter Saxer	Hans Bühlmann	158
Otto Schlaginhaufen	Wolfgang Scheffrahn	158
Bernard Susz	Augustin Lombard	156
Hans E. Thalmann	Wolf Maync	158
Walter Tobler	F. Bamatter	158
Franco Zschokke	A.M. Cotti	159

A. Eröffnungsvortrag / Discours d'ouverture

Eröffnungsvortrag des Jahrespräsidenten,
H. Moor, Rombach AG

Bildung in der kleinstädtischen Kultur, oder die Aufgabe der kantonalen und lokalen Naturforschenden Gesellschaften

Bildung

Bildung ist heute wohl schwieriger zu definieren als der Artbegriff in der Biologie. Zeitlicher Wandel und – in der Gegenwart – ideologischer Standort der Zitierenden haben zu einer ganzen Palette von Begriffen geführt. Früher verstand man unter Bildung die Summe der erworbenen Fähigkeiten und Kenntnisse, betrachtete sie als erreichtes Niveau, als Grad der Geprägtheit, also etwas Statisches. Später wurde der ganze Prozess, das Sammeln dieser Erfahrungen in den Mittelpunkt gerückt, ein dynamischer Aspekt kam dazu. Heute schliesslich sieht man auch auf die transitive Komponente, auf das Bewirken dieser Entfaltung. So zeigt heute jede Diskussion zum Beispiel um das Recht auf Bildung die jetzige schillernde Vielfalt dieses Begriffs. Und bei all diesen Betrachtungen sollten wir auch das Objekt dieser Bemühungen nicht aus den Augen verlieren, den ganzheitlichen Menschen, oder, wie Pestalozzi es ausdrückte: Bildung als Entfaltung von Kopf, Herz und Hand.

Stadt

Was macht eine Gemeinde zur Stadt? Die spezifischen Merkmale des Historikers: Marktrecht, Gerichtsbarkeit und Recht auf Leutpriesterwahl genügen längst nicht mehr, die von den Planern verwendete numerische Begrenzung nach der Einwohnerzahl noch weniger. Eine Stadt ist nicht nur Wohngemeinschaft, sondern auch Lebensgemeinschaft mit deutlichen Zeichen echter Symbiosen. Das gilt ganz besonders auch für die Kleinstadt, wie es deren im Aargau eine ganze Reihe gibt. Hier kommt der Tradition, die man einmal die Mitbestimmung der Vorfahren genannt hat, eine ganz besondere Rolle zu. Sicher liegen darin auch Nachteile: etwa eine mögliche Begrenzung des geistigen Horizonts, begrenzte Mittel für Bildungsangebot und kulturelles Schaffen. Zum Teil heben die heutige Mobilität der Bevölkerung und die Tätigkeit der Massenmedien diese Nachteile wieder auf.

Die Kleinstadt bietet aber auch unbestreitbare Vorteile: Ruhe, Nähe der genuinen Natur, überschaubare Zu- oder manchmal auch Missstände. Es wird nicht die heile Welt alter Lesebücher vorgestellt, aber in allem gesehen eben doch eher menschengemässes Milieu, als es die Anonymität der Grossstadt zu bieten vermag.

Diese mag vielleicht mehr Denkanstösse vermitteln, lässt aber weniger Zeit zum Nachdenken (um ein bekanntes Wortspiel abzuändern). Wenn Sie das Lied „Eusi chlini Stadt" von Dieter Wissmann kennen, spüren Sie etwas von diesem Zauber der Kleinstadt.

„bloss e chlini Schtadt mit bürgerliche Wend,
bloss e chlini Schtadt, wo ein dr ander kennt.
Zugeh, Du hesch statt Wolkechratzer Schiterbiige,
zugeh, statt high society bloss Damerige,
und wenn au uf em Globus nienetwo din Name stoht,
bisch Du doch en Ort, wo sichs guet läbe loht!"

Kultur

Wie die Arbeit des aargauischen Verfassungsrates gerade in diesem Saal zeigte, ist es ebenfalls recht heikel, zu umschreiben, was man unter diesem Begriff versteht. Der Zürcher Dichter Herbert Meier formulierte es einmal so: Kultur, das bedeutet Cognac statt Schnaps. Sicher ist Kultur nicht einfach Synonym zu Bildung: Es soll unkultivierte Gebildete geben wie auch Kulturträger auf sehr einfachen Bildungsstufen: denken Sie an überliefertes Brauchtum, an den Handwerker, der seine Geräte ausschmückt, ohne dass er einen unmittelbaren Nutzen davonträgt. Kultur ist jede Form der Gestaltung des innern und äussern Lebens, die sich vom unabdingbaren, vegetativ nötigen Existieren abhebt.

Es darf auch festgestellt werden, dass bei uns kulturelle Tätigkeit eher von der Basis her, aus der privaten Initiative des einzelnen oder von Gruppen lebt, der Staat kann subsidiär solche Bestrebungen unterstützen, sie aber wohl schwerlich diktieren.

Welche Stellung kommt in diesem abgesteckten Rahmen den kantonalen und lokalen Naturforschenden Gesellschaften zu? Geschichtlich betrachtet dienten diese Gesellschaften dem Zusammenschluss der auf naturwissenschaftlichem Gebiet Wirkenden und Interessierten, der Diskussion eigener und fremder Forschungsergebnisse, der Weitung des Horizontes durch Einladen von Gastreferenten. Der einzelne hatte im letzten Jahrhundert nicht nur einen relativ grösseren Überblick auf Nachbardisziplinen, sondern auch mehr Musse, sich damit abzugeben. Beispiele dafür haben Sie im Referat von Ständerat Urech kennengelernt, weitere folgen morgen bei Herrn Dr. Balmer in der Geschichte der Naturwissenschaften.

Wo stehen diese regionalen Gesellschaften heute? Forschungs- und Wissenschaftspolitik sind schon längst in andern Händen, wie es die eben erfolgte Statutenrevision der SNG beweist. Dennoch bleiben Aufgaben, die diesen Gesellschaften ein weiteres Lebensrecht sichern: In Vorträgen und auf Exkursionen begegnen sich Wissenschafter und interessierte Laien (wobei ich unter Laien durchaus auch wissenschaftlich Gebildete anderer Disziplinen

verstehe). Dieser Dialog scheint mir für beide Seiten fruchtbar und notwendig: Seit der Atombombe, seit dem Bericht des Clubs of Rome, seit einem beginnenden Umdenken der geplanten und meist verstädterten Zeitgenossen ist eine gewisse Unsicherheit in der Öffentlichkeit über den Wert und die Rolle der Naturwissenschaft zu beobachten. Es gibt viel mehr Wissenschafter als früher, die unübersehbar weitere, für den Nichtspezialisten meist unverständliche Ergebnisse produzieren, oder um Professor Steinmann 1928 zu zitieren: „eine Sündflut von bedrucktem Papier veröffentlichen, das zum grössten Teil ungelesen in die Regale wandert". Daneben wird auch das Budget des Steuerzahlers zusehends mehr belastet, sein Misstrauen nimmt zu. Presseberichte über gestörte Vorlesungen tun ein weiteres, um Vorurteile und Unbehagen der Hochschule gegenüber zu stärken.

Es geht um das Erkennen der gemeinsamen Verantwortung, die besonders bei den Naturwissenschaften in diesem Jahrhundert zum vordringenden Problem geworden ist. Es gilt, nicht nur das Machbare möglich zu machen, sondern auch Konsequenzen zu sehen, oder, wie es Professor Benz von der ETH einmal formulierte „den Menschen vom homo faber zum homo sapiens zu führen".

In diesem Sinne glaube ich unserer alten Aargauischen und der etwas jüngern Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft ein fruchtbares und gedeihliches Fortbestehen wünschen zu dürfen und erkläre hiermit die 155. Jahresversammlung der SNG als eröffnet.

B. Hauptvorträge / Conférences générales

Thema „Sehen – Abbilden – Erkennen"

1. Sehen, Abbilden, Erkennen – Verhaltensforschung am visuellen System der Fruchtfliege *Drosophila*

Karl Georg Götz (Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Tübingen)

Ein weitverzweigtes Netz von Bewegungsdetektoren des Sehsystems ermöglicht der winzigen Fruchtfliege eine gezielte Kurs- und Höhensteuerung nach sichtbaren Merkmalen der Umgebung. Die Analyse der Sehvorgänge im Verhaltensexperiment vermittelt eine Vorstellung von Aufbau und Eigenschaften der verwendeten Nervenschaltungen und eröffnet einen Einblick in die Vererbung der neuronalen Schaltpläne.

Das besondere Interesse der Naturforscher und Geisteswissenschaftler an den Geheimnissen des Sehvorgangs lässt sich bis in die Antike zurückverfolgen. Ein Ausspruch Platos ist überliefert, der die Wertschätzung dieses Forschungsgebiets anschaulich hervorhebt: *Unter allen Organen bildeten die Götter die strahlenden Augen zuerst.* Die Beschäftigung mit den Vorgängen im Fliegenauge kann sich natürlich nicht auf eine so weitreichende Tradition berufen. Wir müssen uns mit dem Ausspruch des Physikers, Chemikers und Physiologen Robert Boyle zufriedengeben, der vor etwa 300 Jahren gesagt hat: *Soweit wir das überhaupt beurteilen können, halte ich es für möglich, dass ein Fliegenauge mehr technische Geheimnisse enthält als der ganze Sonnenball.* Trotzdem blieben die Fliegenaugen aber noch etwa 200 Jahre in den Präparatekästen der Mikroskopiker, bis die Physiologen Johannes Müller und später vor allem Sigmund Exner mit der Erforschung der technischen Geheimnisse dieses Abbildungssystems begannen. Am Ende seiner vergleichenden Studien schrieb Exner: *Das Auge der Wirbeltiere könnte jeden langweilen, der den Reichtum und die Mannigfaltigkeit der Augen von Krebsen und Insekten kennengelernt hat.* Angeregt und unterstützt durch Exner, hat Karl v. Frisch am Anfang dieses Jahrhunderts den Nachweis geführt, dass Bienen Farben sehen und Muster unterscheiden können. Nicht zuletzt diese Befunde haben eine vielseitige Forschungsaktivität ausgelöst

und den Eindruck verdichtet, dass Probleme der Informationsaufnahme, der Informationsverarbeitung, der Informationsspeicherung und der Informationsübertragung am übersichtlich strukturierten visuellen System der Insekten erfolgreich untersucht werden können.

Ähnlich wie die Biene und andere sehtüchtige Insekten verwendet auch die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* die vom Sehsystem aufgenommene Information über die Helligkeitsumwelt u. a. in einem hochentwickelten neuronalen Prozessrechner zur Stabilisierung ihrer Lauf-und Flugbewegungen. Die Untersuchungen an diesem Prozessrechner lassen in Umrissen die *Konstruktionsprinzipien* der im Sehsystem verwendeten Nervenschaltungen erkennen. Gegenwärtig hofft man durch genetische Eingriffe einen ersten Einblick in die *Instruktionsprinzipien* zu gewinnen, nach denen der Aufbau solcher Nervenschaltungen in der Entwicklungsphase der Fruchtfliegen erfolgt. Die Frage nach der Verschlüsselung, Vererbung und erblichen Störung der neuronalen Schaltpläne führt in weitgehend unerforschtes Neuland, dessen Erkundung aufregende Entdeckungen und wichtige Beiträge zum Verständnis der Erbkrankheiten des menschlichen Nervensystems erwarten lässt.

Sehtest im stationären Flug

Während die Leistungsfähigkeit des visuellen Systems von Versuchspersonen durch Befragung im Sehtest ermittelt werden kann, ist man bei Versuchstieren auf die Messung von Reaktionen angewiesen, die sich aus der Reizung der Sehelemente ergeben. Die räumliche Verteilung der Sehelemente in den beiden Facettenaugen lässt erwarten, dass die Fliege *Drosophila* etwa 86 % ihrer Umgebung gleichzeitig betrachten kann. Diese Gesamtschau unterscheidet sich wesentlich vom fovealen Sehen des Menschen, bei dem ein Sechstel aller Sehelemente auf einen kleinen Bereich von weniger als 0,04 % der gesamten Umgebung konzentriert sind.

Die Beobachtung Ihrer Umwelt hilft der kleinen Fliege, den gelaufenen oder geflogenen Kurs einzuhalten und ihren Aktionsradius zu erweitern. Kursabweichungen werden durch Horizontalverschiebungen der Umwelt innerhalb des Sehfelds signalisiert. Durch *Wendereaktionen* in Richtung der gesehenen Verschiebung kann die Fliege den Bewegungsreiz unterdrücken und damit unfreiwilligen Kursabweichungen entgegenwirken. In ähnlicher Weise führen Änderungen der Flughöhe zu Vertikalverschiebungen der Umwelt innerhalb des Sehfelds. In diesem Fall kann die Fliege durch *Hubreaktionen* in Richtung der gesehenen Verschiebung unfreiwillige Höhenabweichungen vermeiden [1]. Die genannten Verhaltensleistungen lassen sich bei stationär laufenden oder fliegenden Versuchstieren durch geeignete Musterbewegung im Sehfeld hervorrufen. Die Registrierung der Lauf- oder Flugsteuerreaktionen auf die Bewegung unterschiedlicher Muster liefert dem Experimentator objektive Aussagen über das Sehvermögen des beteiligten Sehsystems. Abb. 1 zeigt eine Einrichtung zur Untersuchung der Wendereaktionen bei stationärem Flug. Der Bewegungsreiz geht von einem vertikalen Streifenmuster aus, das mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um das Versuchstier rotiert und dessen Musterperiode unter dem Winkel λ gesehen wird. Die Fliege ist mit Klebwachs am senkrechten Schaft eines mechano-

elektrischen Drehmomentwandlers befestigt. In dem vergeblichen Bestreben, der Musterbewegung zu folgen, erzeugt die Fliege Drehmomente um die Hochachse, deren Richtung und Grösse registriert werden können. Dabei zeigt sich, dass die etwa 1 mg schwere Fliege mit ihrem weit weniger als 0,1 mg schweren Sehsystem Musterbewegungen wahrnehmen kann, die noch unter der Umlaufgeschwindigkeit eines Minutenzeigers bzw. über der Bildwechselgeschwindigkeit eines Tonfilms liegen [2]. Das menschliche Wahrnehmungsvermögen ist unter gleichen Bedingungen auf einen wesentlich schmaleren Geschwindigkeitsbereich beschränkt.

Um die Bewegungen wahrzunehmen, muss eine nichtlineare neuronale Verrechnung von Signalen zwischen wenigstens zwei benachbarten Sehelementen des Fliegenauges stattfinden [3]. Es gibt viele Möglichkeiten, die nacheinander empfangenen Helligkeitssignale benachbarter Sehelemente geeignet miteinander zu verrechnen. Durch Verhaltensversuche lassen sich die Möglichkeiten einschränken und die Eigenschaften der Bewegungsdetektoren spezifizieren. Es ist z.B. denkbar, dass jedes der beiden Fliegenaugen entweder einen unidirektionalen Bewegungsdetektor für Bewegungen von vorn nach hinten oder einen unidirektionalen Bewegungsdetektor für Bewegungen von hinten nach vorn oder aber einen bidirektionalen Bewegungsdetektor zur Unterscheidung beider Bewegungsrichtungen aufweist. Durch Experimente mit einseitiger Reizgebung in der Versuchsanordnung Abb. 1 lassen sich die ersten beiden Möglichkeiten ausschliessen. Dem in Abb. 2 gezeigten Zeitverlauf der Wendereaktionen auf einseitige und beidseitige Musterbewegung ist zu entnehmen, dass den beiden Augen *bidirektionale* Bewegungsdetektoren zugeordnet sind, deren Übertragungseigenschaften nach einer Anfangsphase von wenigen Minuten *asymmetrisch* werden.

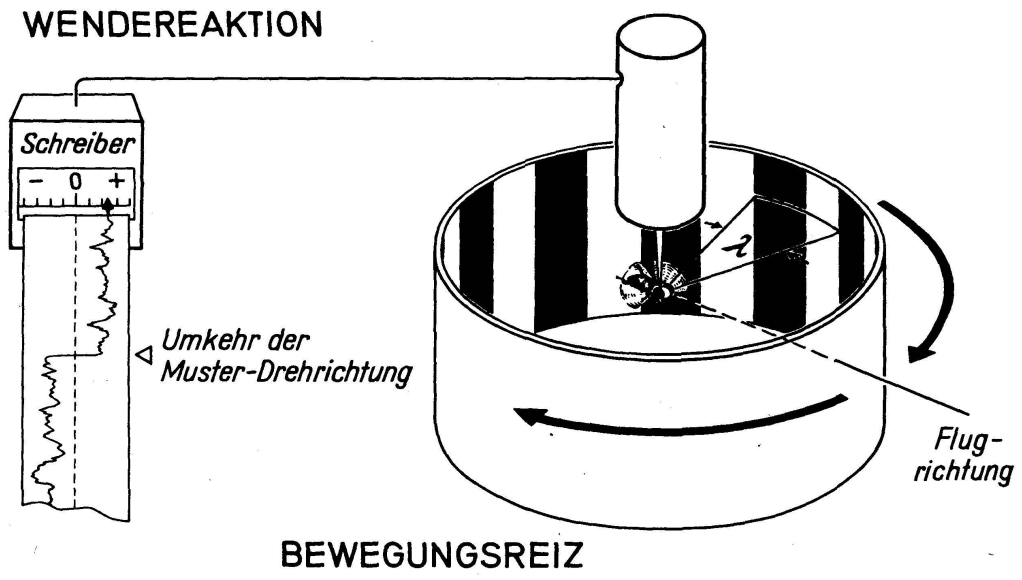


Abb. 1 Versuchsanordnung zur Messung der *Wendereaktion* bei stationärem Flug. Durch die umlaufende Streifenfolge mit der Musterperiode λ wird der *Bewegungsreiz* in den Gesichtsfeldern der beiden Fliegenaugen vorgegeben. Ein mechanoelektrischer Wandler registriert das Drehmoment um die Hochachse, mit dem die fixierte Fliege der Musterbewegung zu folgen versucht.

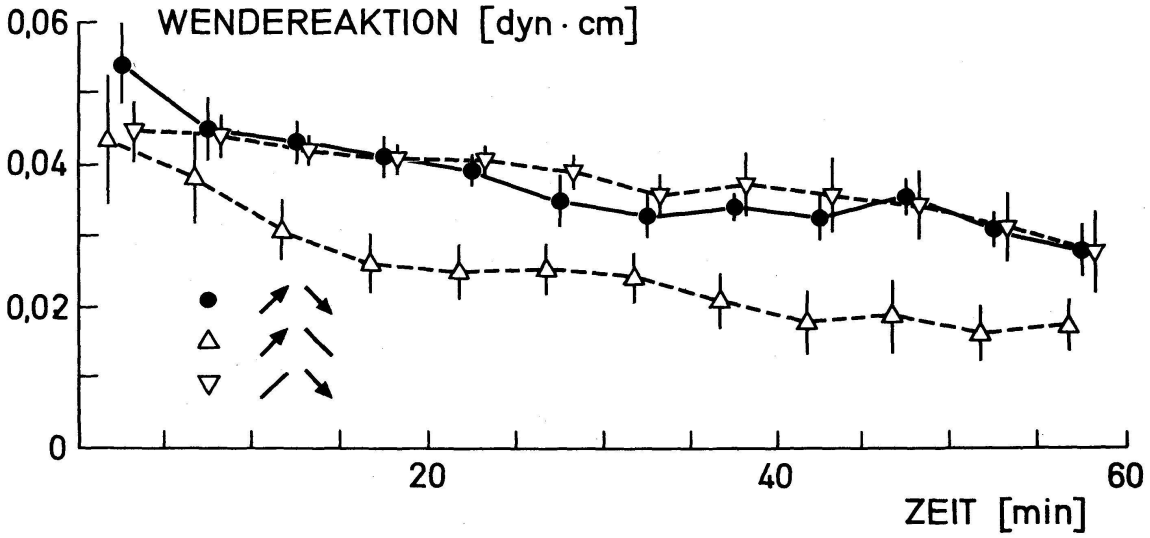


Abb. 2 Zeitverlauf der mittleren Wendereaktionen von sechs Fruchtfliegen bei unterschiedlicher Reizgebung in den Gesichtsfeldern der beiden Facettenaugen. Wenige Minuten nach Flugbeginn entwickelt sich eine *Asymmetrie* der Reaktionen auf vergleichbare einseitige Musterbewegungen (△,▽), die bei weiterer Ermüdung der Fliegen offensichtlich erhalten bleibt. Der Mittelwert der Reaktionen auf beidseitige Musterbewegung (●) entspricht etwa dem Drehmoment eines Gewichts von 0,04 Milligramm an einem Hebel von 1 Zentimeter Länge.

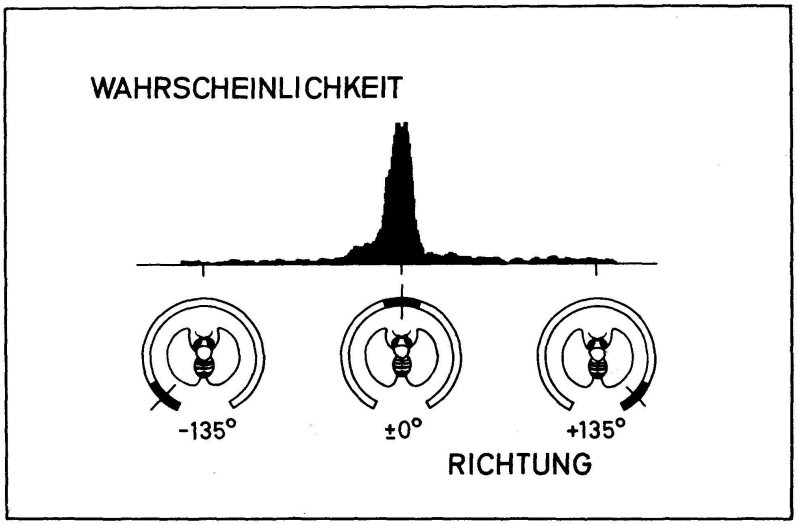


Abb. 3 Bei simuliertem freiem Flug in ruhender Umgebung ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines senkrechten schwarzen Streifens im vorderen Sehbereich der Fruchtfliege am grössten. Zur Ermittlung der abgebildeten Wahrscheinlichkeitsverteilung wurde die *Objektbewegung* mit umgekehrtem Drehsinn an die Wendereaktion des stationär fliegenden Versuchstiers gekoppelt und die *Objektverweilzeit* in Abhängigkeit vom Winkelabstand zur Flugrichtung für die Dauer von je einer Minute an zwei Fliegen registriert [5].

Diese Asymmetrie der Wendereaktionen ist nicht auf die Fruchtfliege beschränkt. Aufgrund eingehender Untersuchungen an der etwa vierzigmal schwereren Stubenfliege *Musca* konnten Reichardt und Mitarbeiter nachweisen, dass die Asymmetrie das optomotorische Repertoire der Fliege wesentlich erweitert [4]. Befindet sich nämlich anstelle des Streifenmusters ein markantes Objekt im Gesichtsfeld der Fliege, so ist bei Fluktuationen der Orientierung im freien Flug ein Übergang des Objekts vom hinteren zum vorderen Sehbereich wegen der Asymmetrie optomotorisch weniger behindert und dadurch wahrscheinlicher als ein Übergang vom vorderen zum hinteren Sehbereich. Es ist daher zu erwarten, dass die Fliege das Objekt im vorderen Sehbereich „fixiert" und als potentiellen Landeplatz ansteuert.

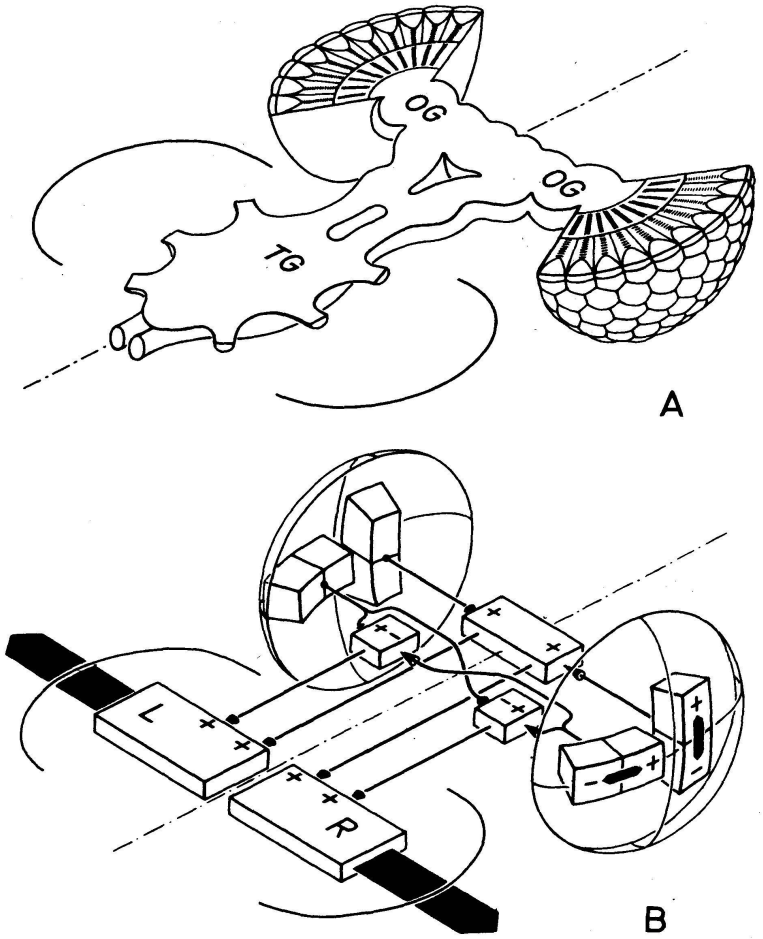


Abb. 4 (A) Vereinfachte Darstellung des Nervensystems zwischen Kopf und Thorax der Fliege. OG: Optische Ganglien, TG: Thorakalganglien. In der Schnittebene durch die Facettenaugen ist die regelmässige Anordnung der Cornea-Linsen, der zugeordneten Rezeptorbündel und der nachgeschalteten Sehelemente angedeutet.
(B) Zur Kurs- und Höhensteuerung müssen Vorzeichen und Grösse der horizontalen und vertikalen Bewegungskomponenten in den Gesichtsfeldern der beiden Facettenaugen ermittelt werden. Hierzu sind mindestens vier verschiedene Gruppen von bidirektionalen Bewegungsdetektoren erforderlich. Das Blockdiagramm veranschaulicht die Übertragung der Bewegungsinformation auf die thorakalen Steuermuskeln des linken (L) und rechten (R) Flügels.

Durch geeignetes Ankoppeln der Objektbewegung an die Wendereaktion der Fliege lässt sich diese Verhaltensleistung unter stationären Bedingungen untersuchen [4] [5]. In der Versuchsanordnung der Abb. 1 wird der freie Flug in ruhender Umgebung simuliert, indem man die elektrische Messgrösse der Wendereaktionen der festgehaltenen Fliege zum Antrieb des Musterzylinders in Gegenrichtung heranzieht. Richtung und Geschwindigkeit der Musterbewegung im Sehfeld der Fliege werden in diesem Fall nicht vom Experimentator, sondern ausschliesslich vom Versuchstier vorgegeben. Befindet sich nun lediglich ein senkrechter schwarzer Streifen auf der Innenseite des Zylinders, so ist nach Abb. 3 die Aufenthaltswahrscheinlichkeit dieses Objekts bei richtiger Ankopplung erwartungsgemäss im vorderen Sehbereich der Fliege *Drosophila* am grössten.

Die angeführten Beziehungen zwischen Bewegungsreiz und Wendereaktion im stationären Flug ermöglichen einen Einblick in die Organisation der Regelsysteme zur Einhaltung eines vorgegebenen Kurses bzw. zum Ansteuern eines visuellen Objekts. Abb. 4 veranschaulicht am schematisch vereinfachten Sehsystem der Fliege die benötigten bidirektionalen Bewegungsdetektoren zur Aufnahme der horizontalen Bewegungskomponenten in den Sehfeldern der beiden Augen. Jeder Bewegungsdetektor erfordert die neuronale Verknüpfung von wenigstens zwei benachbarten Sehelementen unterschiedlicher Blickrichtung. Die in der Abbildung nicht ausgeführte Verknüpfung der würfelförmig gezeichneten Sehelemente muss geeignete nichtlineare Verrechnungseigenschaften aufweisen und die zur Objektsteuerung notwendigen Asymmetriebedingungen erfüllen. Bei der Übertragung der Bewegungsinformation auf die Muskeln des thorakalen Flugsteuerungssystems muss ausserdem eine Verrechnung der Ausgangssignale der horizontalen Bewegungsdetektoren nach dem in Abb. 4B angegebenen Schema erfolgen. Wie man aus der Abbildung leicht ersieht, entsteht durch diese Verrechnung die erforderliche *Differenz* der Schlagamplituden des linken und rechten Flügels, auf der die bewegungsinduzierte Wendereaktion der Fruchtfliege nachweislich beruht.

Während die kleine Fliege bewegungsinduzierte Wendereaktionen nicht nur mit den Flügeln, sondern auch mit sämtlichen Beinpaaren ausführen kann, ist die erwähnte Hubreaktion auf das Flugsystem beschränkt. Die Hubreaktion wird durch die vertikale Bewegungskomponente in den Sehfeldern der beiden Augen hervorgerufen. Eine Bewegung von unten nach oben signalisiert der Fliege abnehmende Flughöhe und vergrössert entsprechend die *Summe* der Flügelschlagamplituden. Verläuft die Bewegung in Gegenrichtung, so wird zunehmende Flughöhe signalisiert und die Summe der Flügelschlagamplituden verkleinert. Die Hubreaktion trägt daher zur Stabilisierung der Flughöhe bei. Die entsprechenden Bewegungsdetektoren und das Verrechnungsschema ihrer Ausgangssignale sind ebenfalls in Abb. 4B enthalten. Die zur unabhängigen Steuerung der Differenz und der Summe der Flügelschlagamplituden erforderliche Mindestzahl der ipsilateralen und kontralateralen Verbindungen zwischen den Augen und den Flugsteuermuskeln verringert sich um die Hälfte, wenn die Bewegungsdetektoren symmetrische Schräglagen zu den in Abb. 4B gezeigten Richtungen einnehmen [1] [6]. Die entsprechenden Untersuchungen lassen erkennen, dass der Vorteil einer solchen Schaltungsvereinfachung von *Drosophila* genutzt werden könnte [7] [8].

Verhaltensexperimente mit lokaler Reizgebung haben gezeigt, dass das Bewegungssehen der Fruchtfliege nicht auf begrenzte Bereiche der Sehfelder

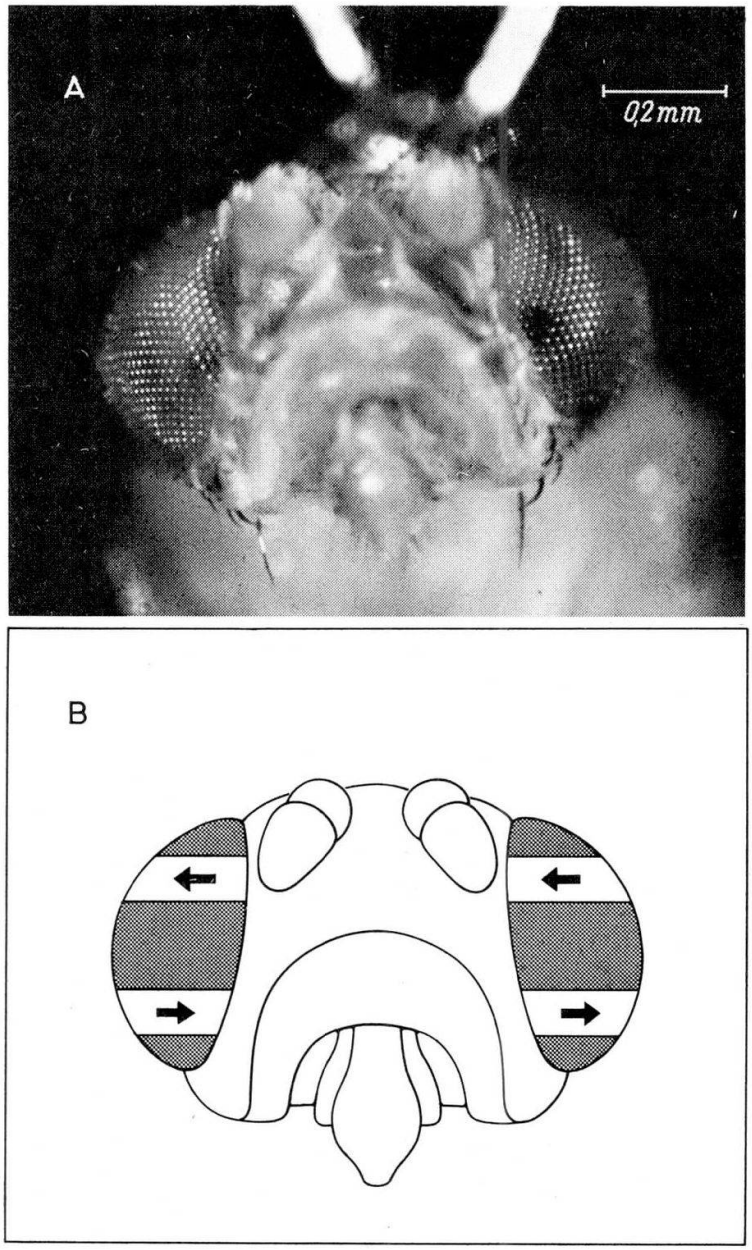


Abb. 5 (A) Vorderansicht der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* ♀. Zur raumfesten Aufhängung während des Fluges wurde ein V-förmiger Drahtbügel (oberer Bildrand) durch einen Stromimpuls für den Bruchteil einer Sekunde erwärmt und mit einer geringen Menge Klebwachs an Kopf und Thorax des etwa 1 Milligramm schweren Versuchstiers angeschmolzen. Auf dem Bild ist das Raster der Cornealinsen in den beiden Facettenaugen zu erkennen.
(B) Vereinfachte Darstellung der Reizbedingungen im vorderen Augenbereich der Fruchtfliege bei gleichzeitigem Musterumlauf im Uhrzeigersinn (oben) bzw. Gegenuhrzeigersinn (unten). Das Verhaltensexperiment liefert Aussagen über die Verrechnung der Signale von Bewegungsdetektoren in verschiedenen Augenzonen.

beschränkt ist. Die Befunde aus verhaltensphysiologischen [2] [7] [9] [10], elektrophysiologischen [11] [12] und neuroanatomischen [13] [14] Untersuchungen an *Drosophila* und vor allem an den grösseren Fliegenarten *Musca* und *Calliphora* stützen die Vermutung, dass die rund 1400 Sehelemente der Fruchtfliege ein umfassendes, regelmässiges Netzwerk von homologen Bewegungsdetektoren bilden.

Nach welchem Verrechnungsprinzip werden die Ausgangssignale der homologen Bewegungsdetektoren des gesamten Sehfelds zusammengefasst? Eine Antwort auf diese Frage liefern Verhaltensexperimente in der Anordnung Abb. 1, bei der die Drehbewegung eines horizontal geteilten Musterzylinders im unteren und oberen Zylinderabschnitt bei gleicher Umlaufgeschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung verläuft. Durch diese in Abb. 5 veranschaulichten Reizbedingungen werden zugeordnete Bewegungsdetektoren der beiden Augen jeweils paarweise gereizt, so dass sich die in Abb. 2 behandelten Asymmetrieeigenschaften der Reaktionsbeiträge aufheben. Befinden sich z.B. n_R Sehelemente in der durch Rechtsumlauf gereizten Augenzone und gleichzeitig n_L Sehelemente in der durch Linksumlauf gereizten Augenzone, so versucht die Fliege dem überwiegenden Bewegungsreiz zu folgen. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist die Wendereaktion von Grösse und Anordnung der gereizten Zonen weitgehend unabhängig. Stärke und Richtung der gemessenen Reaktionen folgen im wesentlichen aus dem Zahlenunterschied $n_R - n_L$ der beteiligten Sehelemente. Werden gleich viele Sehelemente durch gegenläufige Musterbewegungen gereizt, so lässt sich in keinem der untersuchten Fälle eine signifikante Wendereaktion nachweisen. Man kann daraus schliessen, dass die Signale der über das gesamte Gesichtsfeld verteilten Bewegungsdetektoren mit gleichem Gewicht in die Wendereaktionen der Fliege eingehen. Während der Mensch seine Aufmerksamkeit vor allem auf Bewegungen im fovealen Teil seines Gesichtsfelds konzentriert, reagiert die Fliege in den beschriebenen Versuchen offensichtlich auf den mittleren Bewegungszustand des gesamten Umfelds.

In dem bisher gegebenen Überblick wurde das Zustandekommen der bewegungsinduzierten Reaktionen der Fruchtfliege von den thorakalen Muskelsystemen der Flügel und Beine über die Verrechnung der Bewegungsinformationen beider Augen, die Verschaltung der Netzwerke der richtungsspezifischen Bewegungsdetektoren in den optischen Ganglien dieser Augen bis zur Verknüpfung benachbarter Sehelemente in den einzelnen Bewegungsdetektoren zurückverfolgt. Obwohl die Kenntnisse über die Verarbeitung der Bewegungsinformation im Sehsystem der Fliege noch an manchen Stellen unvollständig sind, deutet sich hier bereits das Konstruktionsprinzip der verwendeten Nervenschaltung an. Diese Schaltung hat mit mehreren tausend Nervenzellen einen beachtlichen Anteil am gesamten Nervensystem der Fruchtfliege, das nach neuroanatomischen Schätzungen rund 100 000 Nervenzellen enthält.

Aufbau und Eigenschaften des abbildenden Systems

Die Fliege *Drosophila* besitzt zwei halbkugelförmige Facettenaugen von etwa 0,3 mm Durchmesser. Jedes der beiden Augen ist aus etwa 700 opti-

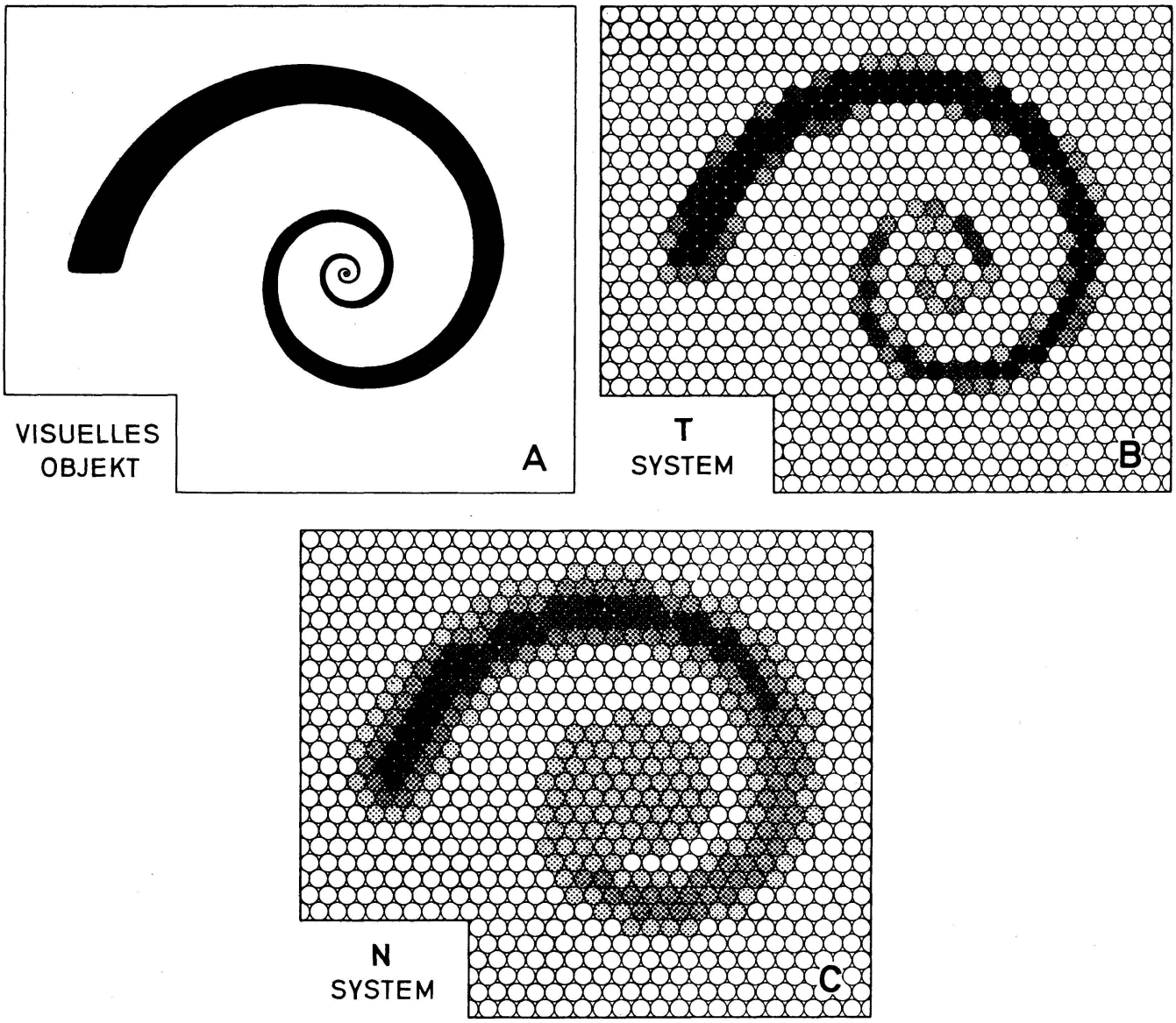


Abb. 6 Errechnete Übertragung eines Spiralmusters (A) durch die beiden Sehsysteme des *Drosophila*-Auges. Das Sehvermögen der Fliege wird bei starker Beleuchtung durch die Sehschärfe des *Tagsystems* (B) und bei schwacher Beleuchtung durch die Lichtempfindlichkeit des *Nachtsystens* (C) bestimmt.

schen Abbildungssystemen zusammengesetzt, deren Cornealinsen entsprechend Abb. 5A ein regelmässiges Raster auf der Augenoberfläche bilden. Abb. 4A veranschaulicht die Struktur der Sehsysteme in den unteren Augenhälften. Im Abbildungsbereich jeder Linse befindet sich die in Abb. 18 gezeigte, für Fliegen charakteristische Anordnung von acht Lichtrezeptoren R1–8, die das Licht aus sieben verschiedenen Raumrichtungen aufnehmen und in elektrische Signale für das reizverarbeitende Nervensystem umsetzen. Die pigmentierten Randzellen der Abbildungssysteme verhindern das Ein-

dringen von Seitenlicht und verleihen dem Auge seine auffallende Färbung. Jedem der Abbildungssysteme des Auges ist im ersten optischen Ganglion des anschliessenden Nervensystems ein *Sehelement* aus zwei Untereinheiten zugeordnet, bei dem die Signale von acht Lichtrezeptoren aus sieben benachbarten Abbildungssystemen innerhalb einer komplexen Faserschicht zusammenlaufen. Die Bedeutung dieses Verrechnungsschritts für das Sehvermögen der Fliegen konnte vor einiger Zeit aufgeklärt werden. Die grundlegenden Untersuchungen von Braitenberg, Kirschfeld und ihren Mitarbeitern [9] [13] haben gezeigt, dass Fliegen – ähnlich wie der Mensch – zwei unterschiedliche Sehsysteme besitzen. Das lichtunempfindlichere *Tagsystem* (T) wird von der Menge der Doppelrezeptoren R7–8 gebildet, die einen verhältnismässig kleinen Wirkungsquerschnitt und daher eine entsprechend hohe Sehschärfe aufweisen. In den gleich dicht angeordneten Sehelementen des lichtempfindlicheren *Nachtsystems* (N) werden dagegen die Signale von sechs Rezeptoren R1–6 zusammengefasst, die verschiedenen Abbildungssystemen angehören, aber Licht aus der gleichen Richtung empfangen. Der verhältnismässig grosse Wirkungsquerschnitt dieser Rezeptoren führt zu einer entsprechend geringeren Sehschärfe des Nachtsystems. Die unterschiedlichen Übertragungseigenschaften der beiden Sehsysteme des *Drosophila*-Auges sind in Abb. 6 veranschaulicht. Bei starker Beleuchtung kann die Fliege die etwa zweimal höhere Sehschärfe des Tagsystems ausnutzen, während bei schwacher Beleuchtung das rund 30 mal lichtempfindlichere Nachtsystem die günstigeren Übertragungseigenschaften aufweist.

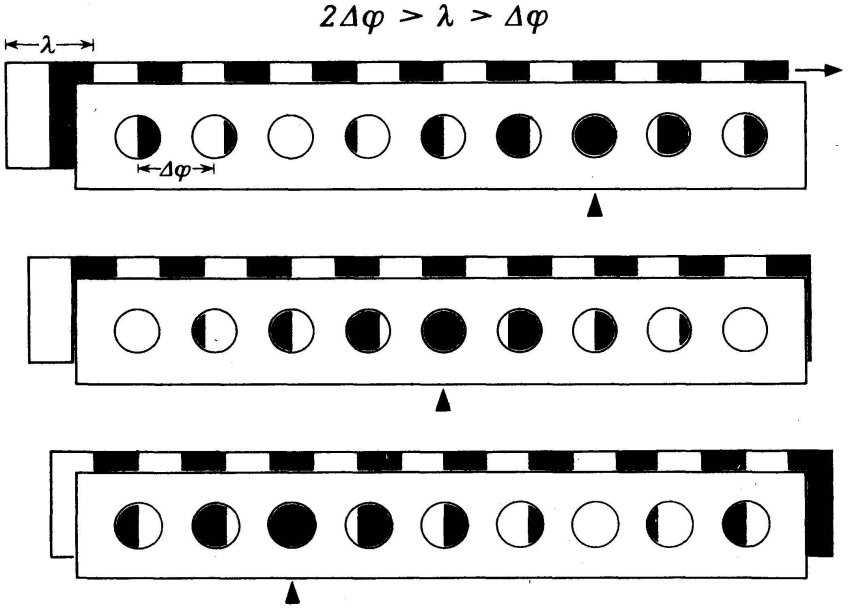


Abb. 7 Unvollständige Übertragung einer Streifenfolge der Musterperiode λ durch eine Reihe von Rasterelementen mit dem Abstand $\Delta\varphi$. Geometrische Interferenz zwischen dem periodischen Muster und dem periodischen Raster erzeugt eine Helligkeitsverteilung im Raster, die sich bei einer Musterverschiebung in entgegengesetzter Richtung bewegt. Die Markierung (▲) bezeichnet das Rasterelement mit der niedrigsten mittleren Sehfeldhelligkeit bei schrittweiser Verschiebung des vorgegebenen Musters in Pfeilrichtung.

Die bisher dargelegten Vorstellungen über die Abbildungseigenschaften des Sehsystems der Fruchtfliege wurden im wesentlichen durch die mikroskopischen Untersuchungen am lebenden Auge und an Augenschnittpräparaten gewonnen [10]. Es ist naheliegend, im Verhaltensexperiment zu prüfen, wie weit diese potentiellen Abbildungseigenschaften für das Bewegungssehen genutzt werden. Die Grundlagen dieses Verfahrens seien hier kurz angedeutet. In der Versuchsanordnung Abb. 1 wurde als reizgebendes Muster eine Streifenfolge der Musterperiode $\lambda = 30^\circ$ durch das Sehfeld der Fliege bewegt. Der räumliche Helligkeitsverlauf einer solchen Streifenfolge kann mit dem zeitlichen Druckverlauf einer Schallwelle verglichen werden. Die Musterperiode λ erhält hierdurch die Bedeutung einer Wellenlänge. Mit abnehmender Wellenlänge erhöht sich die räumliche Frequenz der Streifenfolge bzw. die zeitliche Frequenz der Schallwellen. Durch Verwendung von Mustern unterschiedlicher räumlicher Frequenz lassen sich die optischen Übertragungseigenschaften des Fliegenauges im Verhaltensexperiment ermitteln. Dabei ist zu erwarten, dass mit zunehmender Streifendichte zwei Effekte auftreten, die für die endlichen Übertragungseigenschaften von Facettenrastern bezeichnend sind:

(1) Unterschreitet die Streifenbreite $\lambda/2$ den Winkelabstand $\Delta\varphi$ zwischen den Zentren der Sehfelder benachbarter Rasterelemente, so wird das Muster nicht mehr vollständig übertragen. Abb. 7 veranschaulicht die übertragene Helligkeitsverteilung in einer Reihe von Rasterelementen bei schrittweiser Verschiebung eines Streifenmusters, dessen Musterperiode λ den angegebenen Bedingungen entspricht. Da sich die übertragene Helligkeitsverteilung entlang der Markierung (▲) in der Gegenrichtung verschiebt, ist unter diesen Bedingungen eine Vorzeichenumkehr der Wendereaktion zu erwarten. Es lässt sich leicht zeigen, dass eine weitere Zunahme der Streifendichte zu wiederholtem Vorzeichenwechsel führen muss.

(2) Unterschreitet die Streifenbreite $\lambda/2$ die Winkelbreite $\Delta\rho$ des Sehfelds der Rasterelemente, so wird der Musterkontrast nicht mehr vollständig übertragen. Wie Abb. 8 zeigt, befinden sich in diesem Fall stets helle und dunkle Musteranteile im Sehfeld des Rasterelements. Folglich erreicht die vom Rasterelement übertragene mittlere Sehfeldhelligkeit bei einer Musterverschiebung nicht mehr die extremen Helligkeitswerte des vorgegebenen Musters. Es ist daher eine Abschwächung der Wendereaktion zu erwarten, die mit zunehmender Streifendichte zum vollständigen Ausbleiben der Reaktion führen muss.

In Abb. 9 ist die Wendereaktion der Fruchtfliege in Abhängigkeit von der Musterperiode λ der verwendeten Streifenfolgen bei optimaler Reizbewegung aufgetragen. Unterhalb von etwa 10° ist sowohl der erwartete Vorzeichenwechsel als auch die erwartete Abschwächung der Wendereaktion zu beobachten. Diese Grenze markiert daher den Bereich, in dem die Auflösung des Musters durch das Rastersystem und die Übertragung des Musterkontrasts durch die Rasterelemente im Verhaltensexperiment unvollständig wird. Eine verfeinerte Analyse der Verhaltensdaten, auf die hier nicht eingegangen werden soll, liefert genauere Abschätzungen für die Rasterparameter der

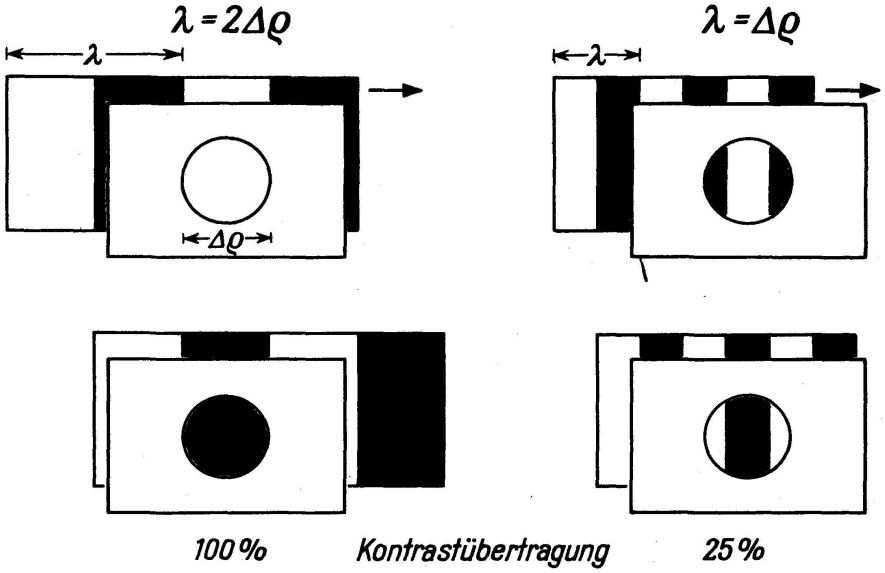


Abb. 8 Vollständige und unvollständige Kontrastübertragung durch ein Rasterelement mit der Sehfeldbreite $\Delta\rho$. Kontrastverluste im Raster sind dann zu erwarten, wenn die mittlere Sehfeldhelligkeit bei Musterverschiebungen nicht mehr die maximalen und minimalen Helligkeitswerte des vorgegebenen Musters erreicht.

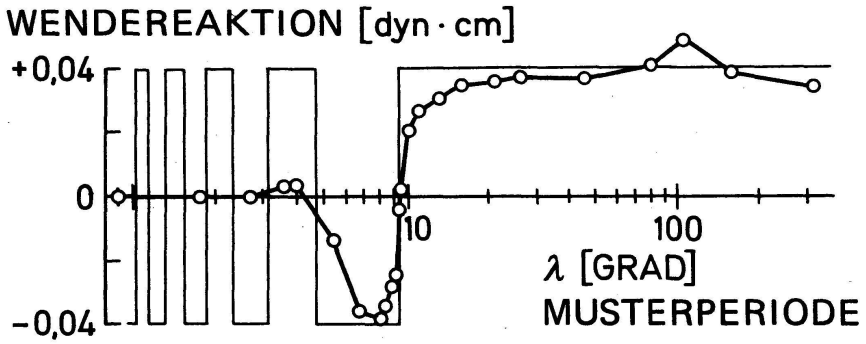


Abb. 9 Mittlere Wendereaktion von neun Fruchtfliegen in Abhängigkeit von der Musterperiode der Streifenfolgen. Die Versuche wurden mit der Schirmpigmentmutante *white apricot* bei optimaler Reizbewegung von 1 Musterperiode/sec. durchgeführt. Vorzeichenwechsel und Abschwächung der Reaktionen bei Musterperioden unterhalb von etwa 10° sind auf unvollständige Musterübertragung nach Abb. 7 und 8 zurückzuführen. Die mäanderförmige Interferenzfunktion wurde für eine Rasterkonstante $\Delta\varphi$ = 4,6° berechnet. Sie zeigt an, ob das gerasterte Bild eines bewegten Musters in gleicher (+) oder entgegengesetzter (−) Richtung über die Sehelemente der Bewegungsdetektoren läuft.

Facettenaugen, die den optisch und anatomisch ermittelten Grössen weitgehend entsprechen, aber noch keine gesicherten Aussagen über die Beteiligung der beiden Sehsysteme am Bewegungssehen zulassen [2] [7] [10] [15].

Die Verarbeitung von Musterkomponenten

Aus der Kenntnis der Übertragungseigenschaften für einfache Streifenfolgen mit unterschiedlicher Musterperiode λ lassen sich in bestimmten

Fällen Aussagen über die Bewertung von Helligkeitsfolgen gewinnen, die nicht mehr der Klasse der einfachen periodischen Muster angehören. So, wie man aus einfachen Grund- und Obertönen beliebige Klänge zusammensetzen kann, lassen sich auch durch Überlagerung einfacher periodischer Streifenmuster beliebige Helligkeitsfolgen herstellen. Zur Veranschaulichung solcher Helligkeitsfolgen zeigt Abb. 10A den Helligkeitsverlauf entlang dem inneren Umfang zweier Musterzylinder zur Reizgebung nach Abb. 1. Als auffälligen Unterschied besitzt das obere Muster z.B. zwei Helligkeitsminima, während das untere Muster nur ein Helligkeitsminimum aufweist. Bemerkenswert an diesen Mustern ist, dass beide aus der Überlagerung der gleichen, in Abb. 10B zusammengestellten Grund- und Oberwellen hervorgegangen sind. Der Musterunterschied entsteht lediglich durch *Phasenverschiebung* der ersten Oberwelle um ein Viertel ihrer Wellenlänge. Durch Rotation der Musterzylinder erhalten die Sehelemente der Fliege repetitive Reizfolgen, die mit dem Schalldruckverlauf bei der Überlagerung der entsprechenden Grund- und Obertöne vergleichbar sind.

Die Untersuchung des Bewegungssehens der Fruchtfliege hat ergeben, dass die beiden unterschiedlichen Reizfolgen in Abb. 10A bei gleicher Um-

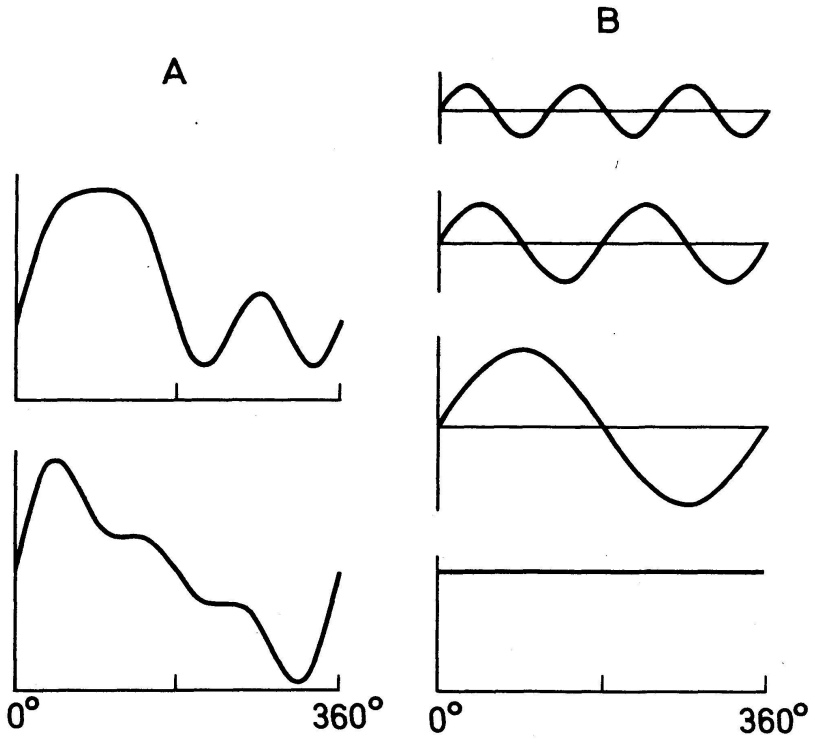


Abb. 10 (A) Helligkeitsverlauf zweier in sich geschlossener Muster zur Reizgebung nach Abb. 1. Dem unteren Diagramm entspricht ein Musterzylinder mit einem, dem oberen Diagramm ein Zylinder mit zwei dunklen Streifen.
(B) Gemeinsame Fourier-Komponenten der beiden Muster. Durch Phasenverschiebung der zweitobersten Komponente um 45° nach rechts lässt sich das Einstreifenmuster in das Zweistreifenmuster überführen. Durch die Phasenverschiebung der Musterkomponente werden die *objektinduzierten* Wendereaktionen der Fruchtfliege drastisch verändert, während die *bewegungsinduzierten* Wendereaktionen im zeitlichen Mittel konstant bleiben [5] [16] [17] [20].

laufgeschwindigkeit Wendereaktionen mit gleichem zeitlichem Mittelwert hervorrufen [5] [16]. Die in den Phasenbeziehungen der Musterkomponenten enthaltene Bildinformation hat unter diesen Bedingungen keinen Einfluss auf das Bewegungssehen; die bewegungsinduzierten Wendereaktionen der Fruchtfliege sind allem Anschein nach phaseninvariant. Dieses Ergebnis liefert einschränkende Bedingungen für das Verrechnungsprinzip der beteiligten Bewegungsdetektoren und ermöglicht bei hinreichend schwachen Reizstärken die Berechnung der mittleren Wendereaktionen aus der Summe der Beiträge der Musterkomponenten [3] [7] [17]. *Die Phaseninvarianz des Bewegungssehens* lässt ausserdem eine gewisse Analogie zum menschlichen Hören erkennen. In seiner 1863 erschienenen „Lehre von den Tonempfindungen" hat Hermann v. Helmholtz die Unabhängigkeit des Klangeindrucks von den Phasenbeziehungen der Klangkomponenten nachgewiesen. Wegen der *Phaseninvarianz des menschlichen Hörens* können z.B. Klänge mit repetitivem Schalldruckverlauf nach Abb. 10A nicht ohne weiteres unterschieden werden.

Während die Phasenbeziehungen der Musterkomponenten im Sehfeld der Fliege für die Kurssteuerung keine besondere Bedeutung besitzen, ist die Verwertung der Phaseninformation für das Ansteuern eines visuellen Objekts unerlässlich. Wiederholt man den in Abb. 3 beschriebenen Versuch zur Messung der objektinduzierten Wendereaktionen mit den zuvor beschriebenen Musterzylindern nach Abb. 10A, so wird der Einfluss der Phaseninformation auf das Verhalten der Fruchtfliege deutlich. Entsprechend der unterschiedlichen Zahl der Helligkeitsminima liefert das obere Muster eine zweigipflige, das untere Muster dagegen eine eingipflige Häufigkeitsverteilung der Musterposition im Sehfeld der Fliege [5]. Bei der hier erfolgten Simulation des freien Flugs in ruhender Umgebung reagiert die Fliege auf die unterschiedliche Phasenlage einer gemeinsamen Musterkomponente. Die objektinduzierten Wendereaktionen von frei laufenden Fruchtfliegen [18] lassen ähnliche Ergebnisse erwarten.

Das Erkennen von Mustermerkmalen

In den bisher behandelten Verhaltensuntersuchungen wurden ausschliesslich Muster mit *eindimensionaler* Helligkeitsverteilung angewendet, die entsprechend den Beispielen in Abb. 10 aus Frequenzkomponenten bestimmter Amplitude und Phase zusammengesetzt werden können. Im allgemeinen werden Muster im Sehfeld der Fliege *zweidimensionale* Helligkeitsverteilungen aufweisen. Solche Muster kann man sich aus zwei eindimensionalen Helligkeitsverteilungen zusammengesetzt denken, von denen z.B. die eine in Horizontalrichtung und die andere in Vertikalrichtung verläuft. Anhand dieser Zerlegung könnte man erneut nach den Bedingungen fragen, unter denen die Wirkung eines Musters auf die Fliege aus der Summe der Wirkungen der Musterkomponenten hervorgeht. Prozesse der Musterbewertung, in denen die Phaseninformation eine wichtige Rolle spielt, können auf diese Weise nicht erfasst werden. Obwohl die Grundlagen zur Untersuchung derartiger Prozesse bereits geschaffen wurden [17] [19] [20] [21], gibt es z.Z. noch keine gesicherten Vorstellungen über das Musterunterscheidungsvermögen der Fruchtfliege. Erste Ansätze in dieser Richtung gehen auf die folgenden Überlegungen zurück.

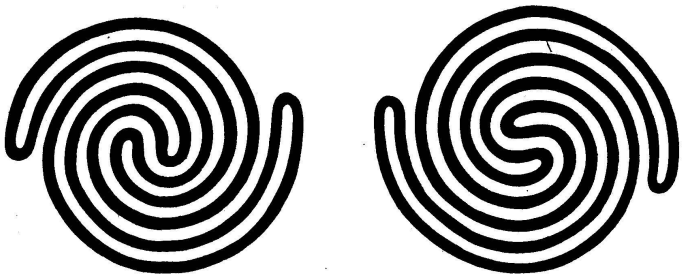


Abb. 11 In dem von Minsky und Papert 1968 entworfenen Musterpaar zeigt sich die unterschiedliche Zahl der Musterelemente gewöhnlich erst bei näherer Inspektion des Linienverlaufs. Das linke Muster enthält eine, das rechte Muster dagegen zwei in sich geschlossene Schlingen.

Werden einer Versuchsperson zwei Muster zum Vergleich vorgelegt, so erfolgt die Musterunterscheidung nach bestimmten *Merkmalen*. Entsprechend den perzeptiven und kognitiven Fähigkeiten unterscheidet man auffällige Merkmale, die unmittelbar ins Auge fallen, und unauffällige Merk-

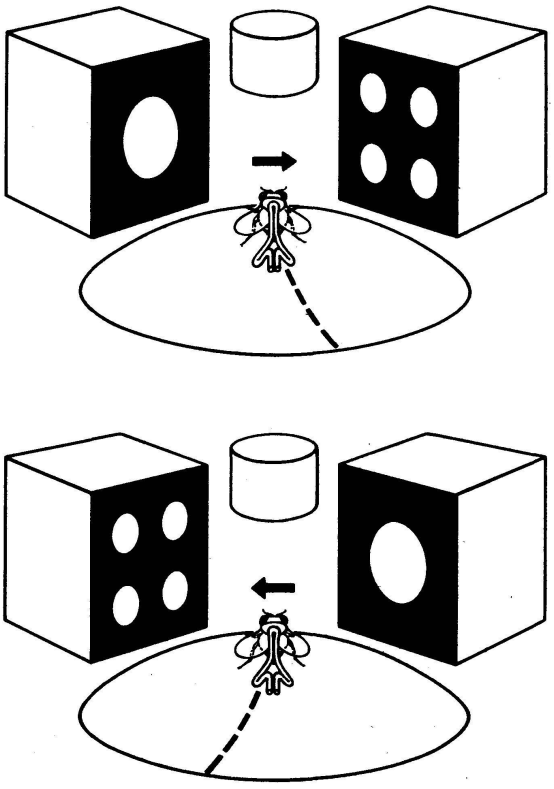


Abb. 12 Bewegungskompensator zur Messung der Wendereaktionen bei stationärem Lauf. Das Versuchstier wird durch einen Schlitten am Fliegen gehindert und läuft im übrigen frei auf einem Ball, dessen Drehbewegungen von einem elektromagnetischen Sensor oberhalb des Schlittens gesteuert werden. Die Drehbewegungen des Balls halten die Fliege in einer vorgegebenen Position und Orientierung zu den Musterprojektoren und ermöglichen gleichzeitig die Registrierung ihrer Wendereaktion. Zur Ermittlung der Musterpräferenz werden die Muster nach jeweils 5 Minuten Messzeit gegeneinander vertauscht.

male, die eine eingehende Inspektion der Musterdetails erfordern [22]. Dass sogar die einfachsten Mustermerkmale unauffällig sein können, zeigt das von Minsky und Papert entworfene Musterpaar in Abb. 11. Ohne nähere Inspektion des Linienverlaufs ist für uns kaum zu erkennen, dass das linke Muster aus einer, das rechte Muster dagegen aus zwei in sich geschlossenen Schlingen besteht.

Die Eigenschaften der objektinduzierten Wendereaktionen lassen erwarten, dass die für Fliegen auffälligen Merkmalsunterschiede von Musterpaaren aus der unterschiedlichen Musterbewertung in entsprechenden Verhaltensexperimenten ermittelt werden können. Abb. 12 veranschaulicht eine Versuchsanordnung zur Messung der Wendereaktionen beim stationären Lauf. Das Versuchstier ist mit einem kleinen Schlitten verbunden und bewegt sich mehrere Stunden frei auf der Oberfläche eines beliebig drehbaren Balls mit Servoantrieb. Die Drehungen werden von einem Sensor oberhalb des Balls gesteuert, der Position und Richtung der Fliege zu den Musterprojektoren in den Sehfeldern der beiden Augen innerhalb gewisser Schwankungsbereiche konstant hält. Die gemessenen Kompensationsbewegungen des Balls entsprechen den Wendereaktionen der Fliege. Zur Ermittlung der Musterpräferenz werden die Muster in regelmässigen Zeitabständen gegeneinander vertauscht. Die mittlere Krümmung des Laufwegs in Richtung auf das bevorzugte Muster wird in Umdrehungen pro Meter Weglänge angegeben. Die auf dunklem Hintergrund gebotenen Muster stimmen in der Gesamtfläche ihrer hellen Musterbestandteile überein, so dass die beiden Fliegenaugen stets etwa gleich stark beleuchtet werden. Durch die Fluktuation der Muster innerhalb der Sehfelder der Augen werden auch solche Instanzen des Sehsystems der Fliege an der Musterbewertung beteiligt, die speziell auf Lichtreizänderungen ansprechen [6] [23]. Bietet man dem Versuchstier die in Abb. 12 gezeigten Muster zur Wahl, so ergibt sich entsprechend der angedeuteten durchschnittlichen Laufspur eine schwache signifikante Präferenz für

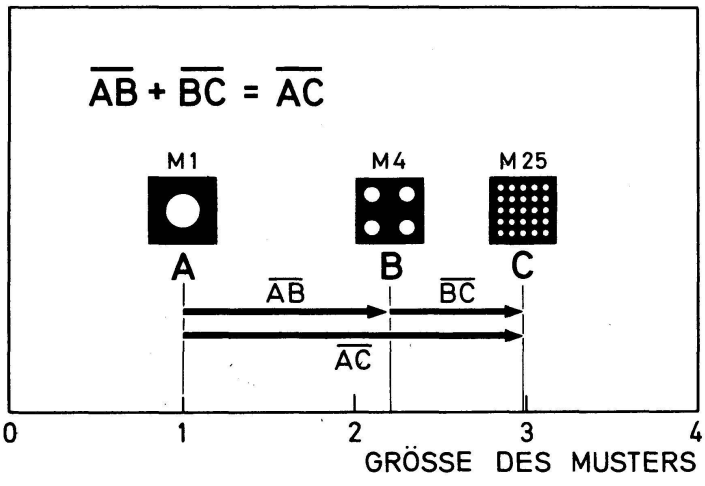


Abb. 13 Zur Veranschaulichung der *Additivität* der Präferenzen wurde jedem der drei Muster ein willkürlich gewähltes Merkmal als Bewertungsgrösse zugeordnet, und es wurde angenommen, dass der Vergleich von je zwei Mustern im Verhaltensexperiment der Abb. 12 Präferenzen liefert, die den *Differenzen* der Bewertungsgrössen dieser Muster entsprechen.

das Muster mit der grösseren Ausdehnung; ein Befund, der z.B. mit den Eigenschaften des Bewegungssehens erklärbar wäre.

Der Vergleich zweier Muster kann auf vielfältige Weise erfolgen. Ein besonders einfacher Fall liegt vor, wenn zu jedem Muster einer Musterreihe eine *Bewertungsgrösse* A, B, C, . . . so gefunden werden kann, dass die Präferenzen innerhalb der verschiedenen Musterpaare durch die *Differenzen* $\overline{AB}$, $\overline{BC}$, $\overline{AC}$, . . . der zugehörigen Bewertungsgrössen gegeben sind. Zur Veranschaulichung dieser Bedingung wurde in Abb. 13 die relative Musterfläche als willkürliche Bewertungsgrösse der Musterreihe gewählt; die Bewertungsgrösse könnte ebensogut eine beliebige Funktion verschiedenartiger Unterscheidungsmerkmale sein. Besitzt sie die genannten Eigenschaften, so ist innerhalb der Musterreihe die aus Abb. 13 ersichtliche Additivität der Bewertungsunterschiede und damit die *Additivität der Musterpräferenzen* erfüllt. Durch Überprüfung der gemessenen Präferenzen in einem Additivitätstest kann man feststellen, ob die Muster in entsprechend einfacher Weise miteinander verglichen werden.

Sind die Additivitätsbedingungen im Verhaltensexperiment nicht erfüllt, so lassen sich die Musterpräferenzen nicht mehr als Differenzen geeignet gewählter Bewertungsgrössen darstellen. Zur Veranschaulichung eines solchen Falls wurde die willkürlich gewählte Bewertungsgrösse der Punktmusterreihe in Abb. 14 nach zwei unabhängigen Mustermerkmalen aufgetragen. Dabei wurde angenommen, dass die Präferenzen den *Abständen* der zugehörigen Bewertungsgrössen in diesem Diagramm entsprechen. Diese Annahme schliesst die Additivität der Bewertungsunterschiede aus, sofern die drei Bewertungsgrössen nicht zufällig auf einer Geraden liegen.

Um eine ungeeignete Musterwahl zu vermeiden, wurde der Additivitätstest mit vier verschiedenen Kombinationen von Punktmustern durchgeführt,

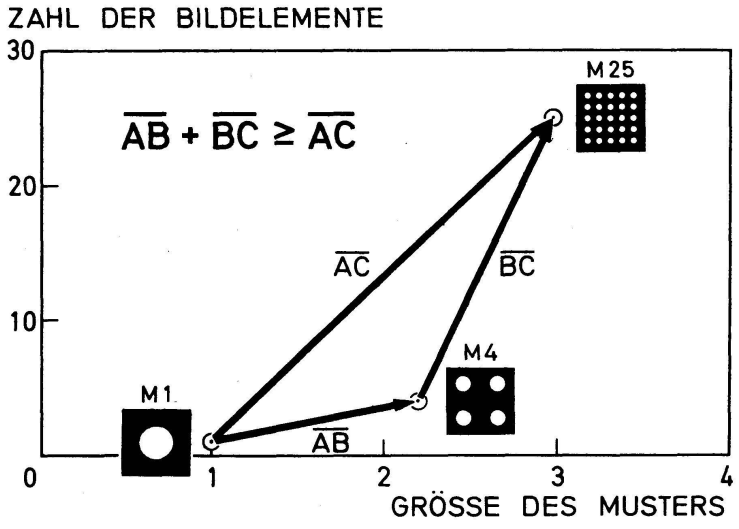


Abb. 14 Zur Veranschaulichung der *Nichtadditivität* der Präferenzen wurde jedem der drei Muster eine willkürlich gewählte Merkmalskombination als Bewertungsgrösse zugeordnet, und es wurde angenommen, dass der Vergleich von je zwei Mustern im Verhaltensexperiment Präferenzen liefert, die den *Abständen* der Bewertungsgrössen dieser Muster entsprechen.

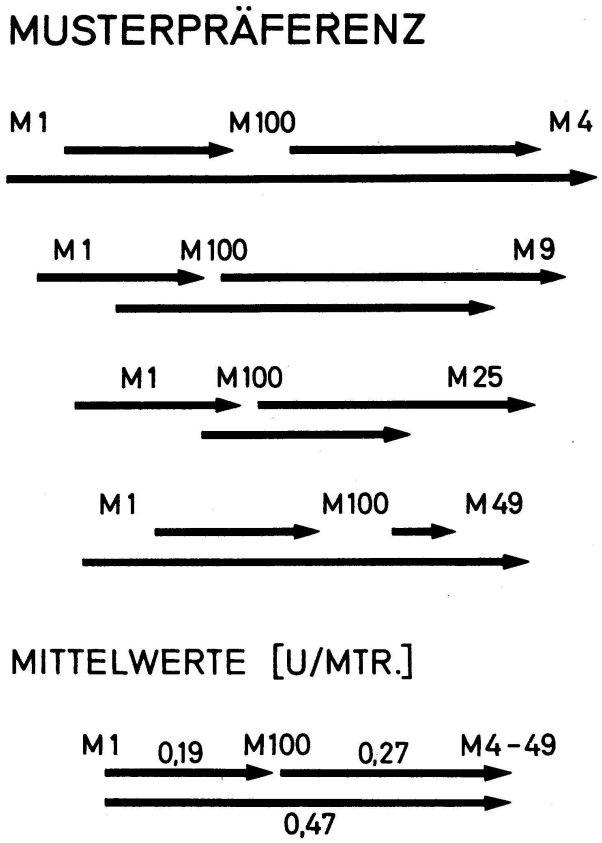


Abb. 15 Zusammenstellung der experimentell ermittelten Präferenzen innerhalb einer Reihe von Punktmustern (M) mit 1, 4, 9, 25, 49 und 100 Musterelementen. Die Verbindungspfeile zwischen je zwei Musterbezeichnungen entsprechen den Umdrehungen pro Meter Laufweg, die *Drosophila* auf dem Bewegungskompensator Abb. 12 in Richtung auf das bevorzugte Muster ausführt. Während die Additivitätstests innerhalb der vier Mustergruppen wegen der Streuung der Messwerte kein einheitliches Bild ergeben, lassen die gewichteten Mittelwerte aus der gesamten Musterreihe die Additivität der Präferenzen innerhalb des Fehlerbereichs erwarten.

deren Punktzahl zwischen eins (M1) und hundert (M100) lag. Insgesamt wurden 7547 m Weglänge von 183 Fliegen ausgewertet. Vorzeichen und Grösse der in Umdrehungen pro Meter Weglänge gemessenen Musterpräferenzen sind durch Richtung und Länge der Pfeile in Abb. 15 wiedergegeben. Während die Einzeltests wegen der Streuung der Messwerte kein einheitliches Bild ergeben, lassen die gewichteten Mittelwerte der gesamten Versuchsserie auf eine Additivität der Präferenzen im Verhaltensversuch schliessen. Innerhalb der Punktmusterreihe sind die Präferenzen daher in einfacher Weise als Differenzen einer Musterbewertungsgrösse darstellbar. Der Vergleich zweier Muster dieser Reihe im Sehsystem der Fruchtfliege lässt sich unter diesen Bedingungen innerhalb der Fehlergrenzen auf die Ermittlung der Differenz zweier Bewertungsgrössen zurückführen. Ob diese Bewertungsgrössen auch für andere Musterreihen existieren und welche Musterunterscheidungsmerkmale sie enthalten, kann nur durch zusätzliche Experimente entschieden werden.

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse über das Musterunterscheidungsvermögen von Insekten stammen vor allem aus Dressurversuchen an Bienen. Diese Tatsache zeigt bereits, dass die Musterbewertung bei diesen Insekten plastisch ist und durch Erfahrungen beeinflusst werden kann. Bei *Drosophila* hatte sich eine gewisse Plastizität der neuronalen Schaltung für das Bewegungssehen bereits in Abb. 2 abgezeichnet. Die für die Objektansteuerung notwendige Asymmetrie der Wendereaktionen fehlt bisweilen in der Anfangsphase des stationären Flugs, in der die Fliege möglicherweise noch keinen Landeplatz anstrebt. Die Plastizität der Musterbewertung konnte dagegen bisher nur in einem Fall nachgewiesen werden, indem sich Dressur- und Testmuster in verschiedener Höhe über dem Horizont der Fliege befanden.

Die Vererbung der Schaltpläne des visuellen Systems

Unter den zahllosen Insektenarten, an denen man Sehvorgänge studieren könnte, nimmt die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* eine Sonderstellung ein. Die klassische Genetik verdankt diesem Tier wesentliche Erkenntnisse über die Eigenschaften von Erbfaktoren, ihren Austausch in Kreuzungsexperimenten und ihre Veränderung durch Mutation. Mit den Methoden der molekularen Genetik konnte inzwischen die im Erbgut der Zellen gespeicherte Informationsmenge abgeschätzt werden. Das gesamte Genom, in dem die Instruktion zum Aufbau der Fruchtfliege in einer nur für die Zellorganellen verständlichen Computersprache enthalten ist, umfasst nach J. Bonner [24] rund 125 Millionen Basenpaare des Informationsträgermoleküls DNS. Das entspricht einer Informationsmenge von etwa 250 Millionen bit oder Ja-Nein-Aussagen, zu deren Speicherung das längste der in der

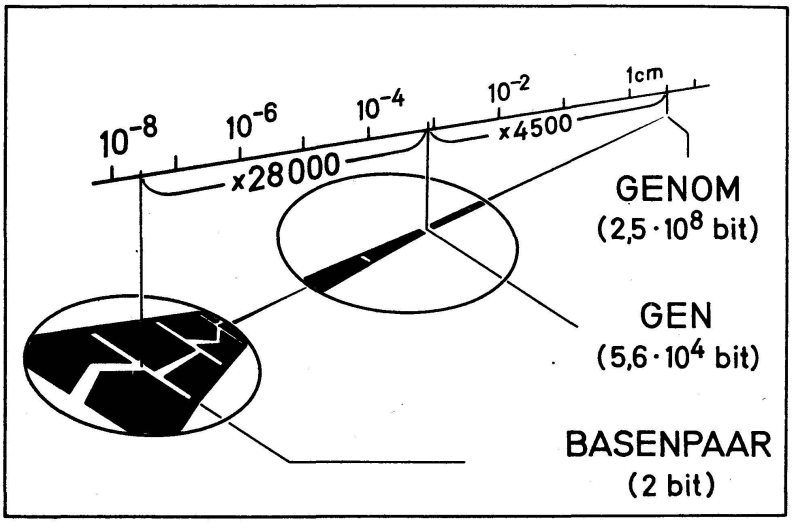


Abb. 16 Quantitative Angaben zum Nukleinsäuregehalt der Chromosomen von *Drosophila melanogaster* [24] verhelfen zu einer vorläufigen Abschätzung der Informationsmenge im Erbgut einer Zelle. Gestreckt und aneinandergereiht, würden die Informationsträgermoleküle den veranschaulichten submikroskopisch dünnen Faden mit einer Speicherkapazität von etwa 250 000 000 Ja-Nein-Aussagen ergeben.

Computertechnik verwendeten Magnetbänder immerhin ausreichen würde. Nur etwa 20 % davon können zur Vererbung der Schaltpläne genutzt werden (Y. Hotta, persönliche Mitteilung). Die Informationsmenge ist auf vier Chromosomen untergebracht, deren DNS-Moleküle – gestreckt und aneinander gereiht – den in Abb. 16 schematisch verkürzt gezeichneten, submikroskopisch dünnen Faden von etwa 4 cm Länge ergeben würden. Nach vorläufig ungesicherten Vorstellungen ist das Genom der Fruchtfliege in schätzungsweise 4500 Untereinheiten aufgeteilt, die möglicherweise den Erbfaktoren oder Genen entsprechen. Die Schädigung eines Gens durch Mutation führt zu genspezifischen erblichen Defekten. Besonders eingehend studiert wurden Mutationen, die eine Veränderung sichtbarer Merkmale, z.B. der Körperfarbe, der Augenstruktur oder der Borstenform, bewirken. Bis heute konnten viele hundert Mutationen dieser Art beschrieben und bestimmten Abschnitten des Genoms zugeordnet werden. Durch systematische Suche nach Verhaltensstörungen bei den Nachkommen bestrahlter oder mutagenbehandelter Fruchtfliegen wurden in den letzten Jahren spezifische *Verhaltensmutanten* entdeckt, deren unsichtbare Abnormitäten auf der Veränderung je eines Gens beruhen [25]. Störungen im sensorischen Bereich der Fliegen finden sich vorwiegend bei Mutanten, die z.B. auf Lichtreiz [26] [27] [28] [29] oder Schwerkrafteinwirkung [30] abnormal reagieren. Bei veränderter Tagesrhythmik [31] oder abnormalem Paarungsverhalten [32] liegen die Störungen eher im zentralnervösen Bereich der Fliegen. Andere Symptome, z.B. Muskelträgheit oder Muskelunruhe [33], lassen sich dagegen vorwiegend auf Störungen im motorischen Bereich der Fliegen zurückführen. In einigen Fällen ist die Ausprägung der genannten Verhaltensmerkmale von veränderlichen Parametern abhängig. Es wurden z.B. Mutanten isoliert, bei denen die Verhaltensstörungen erst in höherem Alter bzw. erst oberhalb oder unterhalb bestimmter Temperaturen auftreten [34] [35]. Durch *Gen-Rekombination* lassen sich unterschiedliche Verhaltensdefekte der Fliege in einem Genom vereinigen [25] [27]. Die *Mosaiktechnik* ermöglicht u.a. die Gewinnung von lokalen Mutanten, in denen die Ausprägung der Defekte nur in einem Teilbereich des Zellverbands erfolgt, der durch sichtbare Merkmale kenntlich gemacht werden kann. Mit diesem mikrochirurgischen Hilfsmittel lassen sich Komponenten von Verhaltensstörungen und Verhaltensleistungen innerhalb des Nerven- und Muskelsystems der Fliege lokalisieren [25] [34]. Durch Anwendung dieser verhaltensgenetischen Methoden hofft man gegenwärtig, die Eigenschaften funktionsfähiger Nervenschaltungen der Fliege zu ermitteln, das Entstehen der Schaltungen im Entwicklungsstadium aufzuklären und den Entstehungsprozess auf die entsprechenden genetischen Instruktionen zurückzuführen.

Günstige Ausgangsbedingungen für derartige Vorhaben bietet das weitverzweigte Sehsystem der Fruchtfliege. Die wesentlichen Verknüpfungen zwischen den sensorischen Eingängen und den motorischen Ausgängen eines solchen Systems sind in Abb. 17 schematisch vereinfacht dargestellt. Jedes der beiden black-box-Diagramme veranschaulicht z.B. die nichtlineare Verrechnung der Signale benachbarter Sehelemente in den lokalen Bewegungsdetektoren der Augen sowie die Zusammenfassung der Signale dieser Detektoren im gesamten Augenbereich. Es ist nicht wahrscheinlich, dass ein genetischer Defekt zum Ausfall nur einer von vielen homologen Verknüpfungen des Bewegungssehsystems führt. Eine einfache Rechnung zeigt, dass die

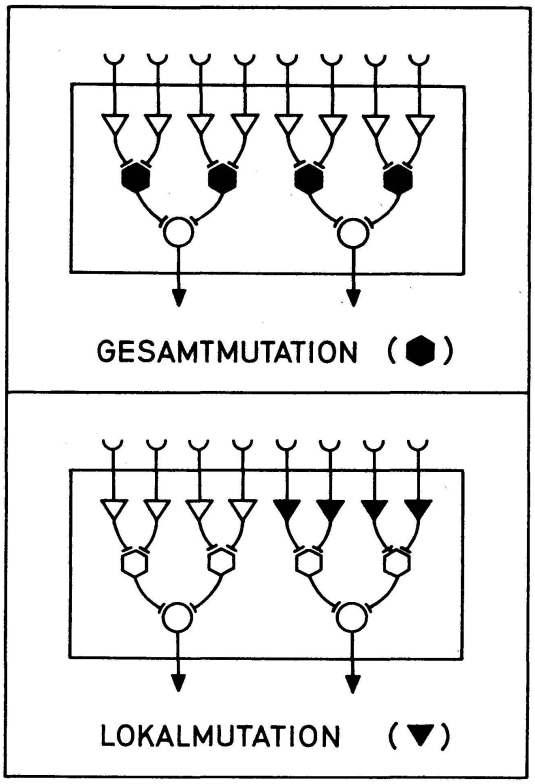


Abb. 17 Genetische Defekte des Nervensystems, veranschaulicht an einem einfachen Schaltschema mit acht sensorischen Eingängen und zwei motorischen Ausgängen. Die begrenzte Informationskapazität des Genoms lässt erwarten, dass die Mutation eines Verhaltensgens den Ausfall homologer Verknüpfungen eines bestimmten Typs entweder im gesamten Nervensystem (oberes Beispiel) oder, besonders bei Anwendung der Mosaiktechnik, in lokalen Bereichen des Nervensystems (unteres Beispiel) zur Folge hat.

Informationskapazität des Genoms zur individuellen Programmierung der Verknüpfung von 100 000 Nervenzellen nicht ohne weiteres ausreicht. Folglich kann man annehmen, dass ein genetischer Defekt entsprechend den Beispielen in Abb. 17 den Ausfall einer grösseren Gruppe homologer Verknüpfungen bewirkt und vollständige Bewegungsblindheit dann hervorruft, wenn diese Gruppe *alle* homologen Verknüpfungen eines bestimmten Typs enthält.

Unter den zahlreichen Lichtrezeptormutanten ist eine Gruppe von besonderem Interesse, bei der bestimmte Rezeptortypen im gesamten Augenbereich nahezu vollständig degenerieren oder ausfallen. Abb. 18 veranschaulicht die Anordnung des Sehpigments in den zentralen Tandemrezeptoren R7–8 des Tagsystems und den umgebenden Rezeptoren R1–6 des Nachtsystems innerhalb eines Rasterelements der Facettenaugen von *Drosophila* [10]. In den Mutanten *ord* (outer receptors degenerating) bzw. *ora* (outer receptors absent) degenerieren bzw. fehlen die Pigmentstrukturen R1–6 des Nachtsystems. In der Mutante *sev* (sevenless) fehlt das Pigment des Rezeptors R7. Die Untersuchung dieser Mutanten hat bereits Aufschluss über die spektralen Eigenschaften der beiden Sehsysteme geliefert und lässt Einblicke in die Beteiligung dieser Systeme am Bewegungssehen erwarten [27]

[28] [29]. Von den zahlreichen bewegungssehgestörten Verhaltensmutanten mit intaktem Rezeptorsystem seien als Beispiele die Mutanten *nonA*^{H2} (No on-transient) und S129 (M. Heisenberg et al.) erwähnt, in denen die zur Objektansteuerung erforderliche Asymmetrie der Wendereaktionen nach Abb. 2 im gesamten Augenbereich *(nonA*^{H2}*)*, bzw. im oberen Augenbereich (S129) stark beeinträchtigt ist [26] [27] [36]. Als Beispiel für zentrale Störungen der Informationsverarbeitung im Sehsystem sei die Mutante *dunce* genannt, deren Lernvermögen erblich gestört ist. Im Gegensatz zum *Drosophila*-Wildtyp ist diese Mutante nicht auf Farben dressierbar, obwohl sie ein normales Farbunterscheidungsvermögen besitzt [37].

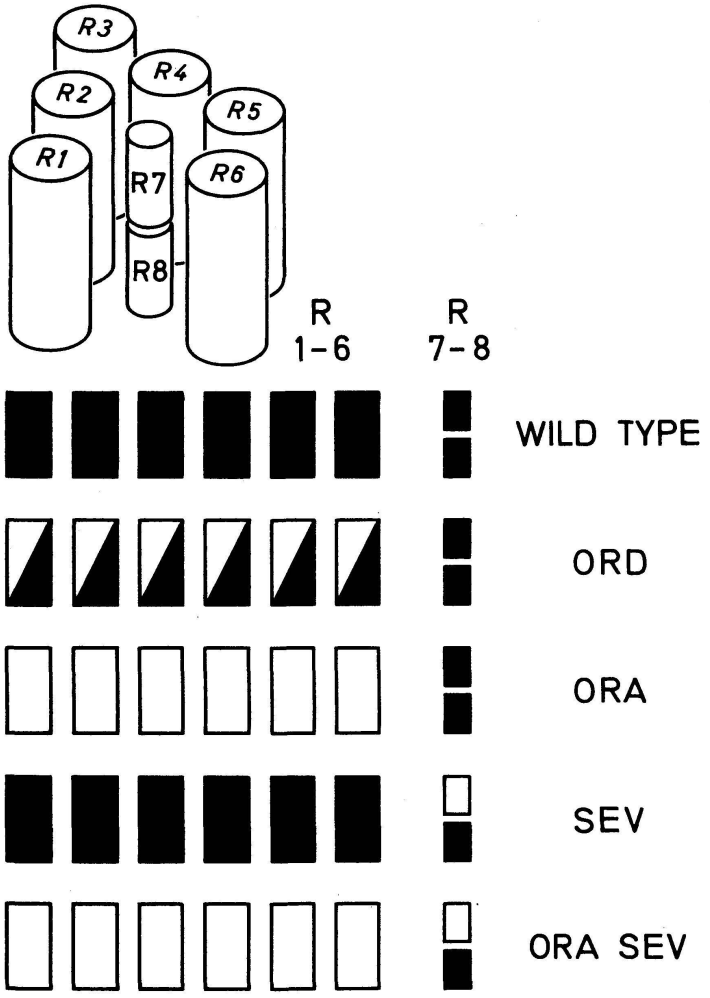


Abb. 18 Säulenförmige Anordnung des Sehpigments der Lichtrezeptoren R1–8 in den rund 1400 Rasterelementen der Facettenaugen von *Drosophila*. Beim *Wildtyp* sind die äusseren (R1–6) und inneren (R7–8) Rezeptoren überall vollständig ausgebildet. In allen Rasterelementen der Mutanten *ord (outer receptors degenerating, rdg B*^{KS222}) und *ora (outer receptors absent,* JK84) degeneriert bzw. fehlt die Pigmentierung der äusseren Rezeptoren R1–6 nahezu vollständig. In allen Rasterelementen der Mutante *sev (sevenless* LY3) bildet der Lichtrezeptor R7 kein Sehpigment. Die Rasterelemente der Doppelmutante *ora sev* enthalten nur noch den Lichtrezeptor R8 [28] [29].

Die Anwendung der verhaltensgenetischen Methoden auf das Sehsystem der kleinen Fruchtfliege ist gegenwärtig in einem vielversprechenden Anfangsstadium. Mit dem vorliegenden Bericht über den Stand der Verhaltensuntersuchungen an diesem System sollte nicht so sehr gezeigt werden, was getan wurde, sondern was getan werden kann, um in die schaltungstechnischen Geheimnisse der Sehvorgänge einzudringen.

Freunden und Mitarbeitern möchte ich für die Durchsicht des Manuskripts danken. Ebenso Fräulein C. Hanser und Herrn E. Freiberg für die sorgfältige Bearbeitung des Manuskripts und der Zeichnungen. Die Wiedergabe der Abbildungen 4, 7 und 10 sowie 2, 3, 6, 16 und 17 erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verlage Karger, Basel, und Springer, Heidelberg.

Bibliographie

1 Götz, K.G.: Flight control in *Drosophila* by visual perception of motion. Kybernetik 4, 199–208 (1968).
2 Götz, K.G.: Optomotorische Untersuchung des visuellen Systems einiger Augenmutanten der Fruchtfliege *Drosophila*. Kybernetik 2, 77–92 (1964).
3 Poggio, T., Reichardt, W.: Considerations on models of movement detection. Kybernetik 13, 223–227 (1973).
4 Reichardt, W.: Musterinduzierte Flugorientierung; Verhaltensversuche an der Fliege *Musca domestica*. Naturwissenschaften 60, 122–138 (1973).
5 Zimmermann, G.: Der Einfluss stehender und bewegter Musteranteile auf die optomotorische Reaktion der Fliege *Drosophila*. Dissertation, Tübingen 1973.
6 Götz, K.G., Wenking, H.: Visual control of locomotion in the walking fruitfly *Drosophila*. J. comp. Physiol. 85, 235–266 (1973).
7 Buchner, E.: Elementary movement detectors in an insect visual system. Biol. Cybernetics 24, 85–101 (1976).
8 Buchner, E., et al.: (In Vorbereitung).
9 Kirschfeld, K.: Das neurale Superpositionsauge. Fortschritte der Zoologie, Bd. 21, Heft 2/3, 227–257 (1973).
10 Franceschini, N.: Sampling of the visual environment by the compound eye of the fly: Fundamentals and application. In: Photoreceptor Optics, ed. by A.W. Snyder and R. Menzel. S. 98–125. Berlin–Heidelberg–New York: Springer 1975.
11 Hengstenberg, R.: The effect of pattern movement on the impulse activity of the cervical connective of *Drosophila melanogaster*. Z. Naturforsch. 28c, 593–596 (1973).
12 Hausen, K.: Functional characterization and anatomical identification of motion sensitive neurons in the lobula plate of the blowfly *Calliphora erythrocephala*. Z. Naturforsch. 31c, 629–633 (1976).
13 Braitenberg, V., Strausfeld, N.S.: Principles of the mosaic organisation in the visual system's neuropil of *Musca domestica L.* In: Handbook of Sensory Physiology, Bd.

VII/3A, ed. by H. Autrum et al., 631–659. Berlin–Heidelberg–New York: Springer 1973.
14 Strausfeld, N.: Atlas of an Insect Brain. Berlin–Heidelberg–New York: Springer 1976.
15 Götz, K.G.: Die optischen Übertragungseigenschaften der Komplexaugen von *Drosophila*. Kbyernetik 2, 215–221 (1965).
16 Götz, K.G.: Principles of optomotor reactions in insects, Bibl.ophthal. 82, 251–259 (1972).
17 Varjú, D.: Optomotorische Reaktionen auf die Bewegung periodischer Helligkeitsmuster. Z. Naturforsch. 14b, 724–735 (1959).
18 Horn, E., Wehner, R.: The mechanism of visual pattern fixation in the walking fly, *Drosophila melanogaster*. J. comp. Physiol. 101, 39–56 (1975).
19 Reichardt, W., Poggio, T.: Visual control of orientation behaviour in the fly. Part I. A quantitative analysis. Quarterly Reviews of Biophysics 9,3, 1–65 (1976).
20 Poggio, T., Reichardt, W.: Visual control of orientation behaviour in the fly. Part II. Towards the underlying neural interactions. Quarterly Reviews of Biophysics 9,3, 67–128 (1976).
21 Julesz, B.: Foundation of Cyclopean Perception. Chicago–London: University of Chicago Press 1971.
22 Julesz, B.: Experiments in the visual perception of texture. Sci. Amer. 232, No. 4, 34–43 (1975).
23 Götz, K.G.: Spontaneous preferences of visual objects in *Drosophila*. Drosophila Inform. Service 46, 62 (1971).
24 Bonner, J., Wu, J.-R.: A proposal for the structure of the *Drosophila* genome. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 70, 535–537 (1973).
25 Benzer, S.: Genetic dissection of behavior. Sci. Amer. 229, No. 6, 24–37 (1973).
26 Pak, W.L.: Visual mutants of *Drosophila melanogaster*. In: Handbook of Genetics, Vol. 3, ed. by R.C. King, S. 703–733. New York: Plenum Publishing Corp. 1976.
27 Heisenberg, M.: Genetic approach to a visual system. In: Handbook of Sensory Physiology, ed. by H. Autrum et al., Berlin–Heidelberg–New York: Springer (in Vorbereitung).
28 Harris, W.A., Stark, W.S., Walker, J.A.: Genetic dissection of the photoreceptor system in the compound eye of *Drosophila melanogaster*. J. comp. Physiol. 256, 415–439 (1976).
29 Koenig, J.H., Merriam, J.R.: Isolation of the R7+8 visual pathway in mutant *Drosophila melanogaster*. Behavioural selection of autosomal mutants with abnormal ERGs in *Drosophila melanogaster*. Austral. J. Biol. Sciences (im Druck).
30 Benzer, S.: From a gene to behavior. J. Amer. Med. Association 218, 1015–1022 (1971).
31 Konopka, R.J., Benzer, S.: Clock mutants of *Drosophila melanogaster*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 68, 2112–2116 (1971).
32 Gill, K.S.: A mutation causing abnormal mating behavior. Drosophila Inform. Serv. 38, 33 (1963).
33 Kaplan, W.D.: Genetic and behavioral studies of *Drosophila* neurological mutants. In: The Biology of Behavior, ed. by J.A. Kiger jr., 133–157. Oregon: Oregon State University Press 1972.
34 Hotta, Y., Benzer, S.: Mapping of behaviour in *Drosophila* mosaics. Nature 240, 527–535 (1972).
35 Grigliatti, T.A., Hall, L., Rosenbluth, R., Suzuki, D.T.: Temperature-sensitive mutations in *Drosophila melanogaster* XIV. A selection of immobile adults. Molec. gen. Genet. 120, 107–114 (1973).
36 Heisenberg, M., Götz, K.G.: The use of mutations for the partial degradation of vision in *Drosophila melanogaster*. J. comp. Physiol. 98, 217–241 (1975).
37 Dudai, Y., Jan, Y.-N., Byers, D., Quinn, W.G., Benzer, S.: *Dunce*, a mutant of *Drosophila* deficient of learning. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 73, 1684–1688 (1976).

Leere Seite
Blank page
Page vide

2. Objektives Sehen und Erkennen: Messen

René Dändliker
(Brown Boveri Forschungszentrum, CH-5401 Baden, Schweiz)

1. Einleitung

Der Mensch verfügt mit seinen Augen und seinem Gehirn über ein ausserordentlich gutes und leistungsfähiges System zum Sehen und Erkennen seiner Umwelt. Dieses subjektive visuelle Wahrnehmungssystem hat jedoch einen grossen Nachteil: es lässt sich leicht täuschen und ist deshalb in vielen Fällen für den objektiven Vergleich von Bildern und Gegenständen wenig geeignet. Deshalb hat der Mensch im Laufe der Jahre technische Hilfsmittel erfunden, die ein objektives Sehen und Erkennen bestimmter Bild- und Objekt-Eigenschaften ermöglichen. Diese Art des Sehens und Erkennens nennt man häufig Messen.

In Fig. 1 ist ein Beispiel dafür dargestellt. Höhe und Breite des Hutes in Fig. 1a scheinen auf Grund des subjektiven visuellen Eindrucks gleich zu sein. Im Gegensatz dazu scheint der Hut in Fig. 1b höher als breit zu sein. Ein objektiver Vergleich, z.B. mit einem Massstab, zeigt, dass Höhe und Breite des Hutes in Fig. 1b genau gleich sind. Ähnliche optische Täuschungen entstehen übrigens bereits bei viel einfacheren geometrischen Bildern und Mustern.[1)]

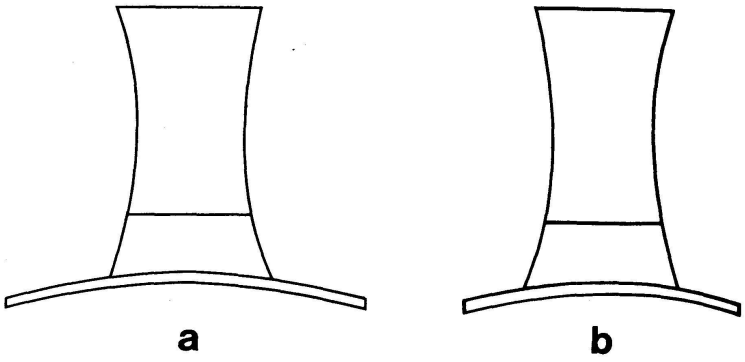


Fig. 1 Optische Täuschung beim Vergleich von Höhe und Breite eines Hutes.

2. Visierlinie

Eines der ältesten objektiven Mess-Hilfsmittel ist wahrscheinlich die Visierlinie zur Festlegung einer Geraden im Raum. Solche Visierlinien wurden jedenfalls schon sehr früh in der Geschichte der Menschheit verwendet, um die Bewegung von Sonne, Mond und Sternen zu vermessen und bestimmte Kalenderdaten, wie z.B. die Sommer-Tagundnachtgleiche, genau festzulegen. Ein berühmtes „Mess-Instrument" dieser Art von beinahe 100 m Durchmesser ist die Anlage von Stonehenge im Hügelland von Salisbury westlich von London, die genau auf den Sonnenaufgang der Sommer-Tagundnachtgleiche von 24. Juni 1680 v.Chr. ausgerichtet ist.[2)]

In der Landesvermessung, im Hoch- und Tiefbau, aber auch im Maschinenbau ist die Visierlinie noch heute ein wichtiges Messinstrument. Solange noch ein menschlicher Beobachter nötig ist, um die Koinzidenz zwischen Visiermarken festzustellen, bleibt allerdings ein gewisses Mass an Subjektivität übrig. Dies wird erst völlig ausgeschlossen, wenn die passive Visierlinie durch eine aktive Visierlinie, d.h. einen Laser-Lichtstrahl, ersetzt wird. Damit ist es möglich, dass sich ein photoelektrischer Detektor völlig objektiv und reproduzierbar die Mitte des Laser-Strahls und damit der Visierlinie suchen und finden kann. Solche Laser-Richtgeräte beginnen heute in vielen technischen Bereichen wie z.B. im Tunnelbau die passiven Richtinstrumente abzulösen.

3. Form- und Lagevergleich in der Ebene

Für einen Menschen ist es eine einfache und alltägliche Aufgabe, die Form und die Lage von zwei Objekten in der Ebene, z.B. auf einem Tisch, zu vergleichen. Dies ist eine typische Aufgabe zur Bestimmung der Korrelation

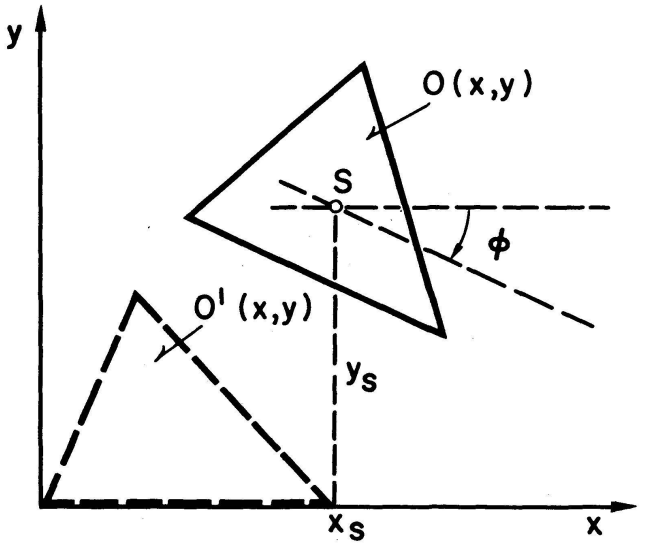


Fig. 2 Form- und Lagevergleich von ebenen Objekten.

zwischen zwei Bildern. Dazu ist das visuelle menschliche Wahrnehmungsvermögen besonders gut ausgebildet, und es fällt uns deshalb auch nicht schwer, die beiden Dreiecke in Fig. 2 durch Verschieben und Drehen des einen Dreiecks zur Deckung zu bringen. Wie schwierig und komplex diese Aufgabe jedoch wirklich ist, merkt man erst, wenn sie mit rein technischen Mitteln, z.B. durch einen Industrie-Roboter, gelöst werden soll.

Die kybernetische Lösung der Korrelationsaufgabe mit drei Freiheitsgraden, zwei Verschieberichtungen und die Drehung des Dreieckes, ist für eine technische Realisierung wenig geeignet, da der Aufwand an Regel- und Steuerautomatik beträchtlich wird, wenn die Aufgabe in weniger als einer Sekunde gelöst werden muss. In diesem Fall scheint es zweckmässiger zu sein, die Lage des Objektes in bezug auf ein festes Koordinatensystem zu vermessen und dann den Greifer des Roboters die bekannte Lage des Objektes auf einem günstigen Weg ansteuern zu lassen. Die Fläche

$$F = \int O(x, y)\, dx\, dy$$

des Objektes liefert bereits ein gutes Kriterium zur Unterscheidung verschiedener bekannter Objekte aus einer beschränkten Menge. Die Verschiebungslage kann unabhängig von der Drehlage durch die Koordinaten

$$x_S = \frac{1}{F} \int x\ O(x,y)\, dx\, dy, \quad y_S = \frac{1}{F} \int y\ O(x,y)\, dx\, dy$$

des Schwerpunktes S angegeben werden (Fig. 2). Diese drei Integrale über das Objekt O (x, y) lassen sich z.B. elektronisch aus dem Videosignal einer Fernsehkamera relativ einfach und schnell direkt bestimmen. In ähnlicher Weise erhält man auch noch die Drehlage des Objektes als Rotationswinkel ϕ um seinen Schwerpunkt.

4. Korrelation statistischer Muster

Die ausgesprochene Fähigkeit des menschlichen Wahrnehmungsvermögens zur Korrelation von Bildern äussert sich auch beim Erkennen von systematischen oder bekannten Strukturen, die durch ein statistisches Muster von Störungen, sog. Rauschen, überdeckt sind. Solche Störungen treten insbesondere auf bei der visuellen Beobachtung oder bei photographischen Aufnahmen von Gegenständen, die mit dem kohärenten Licht eines Lasers beleuchtet werden. Diese Erscheinung ist bekannt als Granulation oder Speckling[3] und äussert sich als statistisches Muster von hellen und dunklen Flecken beliebiger Form, deren mittlere Grösse durch die Apertur (Blende) des abbildenden optischen Systems (Auge, Photoobjektiv) bestimmt ist und gerade der maximalen, beugungsbegrenzten Auflösung entspricht. Objektiv kann das Rauschen bei solchen Aufnahmen dadurch reduziert werden, dass man verschiedene Aufnahmen desselben Objektes mit statistisch unabhängigen Störungen mittelt oder optisch korreliert.[4]

Die optische Korrelation erhält man in einfacher Weise aus dem Beugungsmuster, das bei der kohärenten Beleuchtung der Überlagerung von zwei transparenten Bildern der beiden statistischen Muster entsteht. Zwei gegen-

einander verschobene, korrelierte Muster liefern Beugungsstreifen, die den klassischen Young-Streifen bei der Beugung an einem Doppelspalt entsprechen. Die Streifen sind senkrecht zur Richtung der Verschiebung, und der Streifenabstand ist umgekehrt proportional zum Betrag der Verschiebung. Diese Korrelationsmethode kann verwendet werden, um aus einer Doppelbelichtungsaufnahme eines kohärent beleuchteten Objektes die Verschiebung der Oberfläche infolge mechanischer Deformation zwischen den beiden Aufnahmen zu bestimmen.[5)]

Ähnliche statistische Störungen treten auch bei der astronomischen Beobachtung von Sternen, die praktisch punktförmige Lichtquellen sind, als Folge der Luftturbulenzen in der Atmosphäre auf. Auch hier ermöglicht die optische Korrelation von vielen Einzelaufnahmen mit sehr kurzen Belichtungszeiten, kleiner als die Bewegung der Luftturbulenzen, das Auflösungsvermögen für Einfach- oder Doppelsterne beinahe bis zur Beugungsbegrenzung des Teleskopes zu steigern.[6)]

5. Dreidimensionale Objekte und Holographie

Spezielle Probleme entstehen beim Sehen und Erkennen dreidimensionaler Objekte. Grundsätzlich erzeugt jede optische Abbildung, sei es mit dem Auge oder mit einer Kamera, ein zweidimensionales Bild des Gegenstandes. Auf Grund der Erfahrungen über die Art der möglichen Gegenstände, der Perspektive, der Schärfentiefe bei der Abbildung und der Parallaxe beim zweiäugigen Sehen ist der Mensch im allgemeinen trotzdem in der Lage, mit Hilfe der Bildverarbeitung im Gehirn eine dreidimensionale Vorstellung des Objektes zu bekommen. Dieses Vorstellungsvermögen funktioniert auch weitgehend bei der Betrachtung von zweidimensionalen Bildern wie Photographien oder Zeichnungen von dreidimensionalen Objekten. Da der Informationsgehalt des zweidimensionalen Bildes aber offensichtlich geringer ist als derjenige der echten, räumlichen Vorlage, treten in gewissen Fällen Schwierigkeiten und Mehrdeutigkeiten bei der Interpretation auf.

Eine solche Schwierigkeit bei der Darstellung eines durchsichtigen Würfels wurde bereits 1832 vom Schweizer Mineralogen L.A. Necker beschrieben. Wie in Fig. 3 dargestellt, ist es auch bei perspektivisch richtiger Zeichnung (oben) nicht möglich zu entscheiden, welche Ecke des Würfels vorne oder hinten ist. Durch geeignete Unterbrechungen der hinteren Kantenlinien (links, rechts) wird dieses Problem gelöst. Zeichnerisch lässt sich aber auf diese Weise in der Ebene auch ein dreidimensionales Gebilde darstellen (unten), das in Wirklichkeit gar nicht existieren kann. Dieses Phänomen hat sich 1958 der holländische Graphiker M.C. Escher als Konstruktionsgrundlage für die Zeichnung des Hauses „Belvédère" genommen,[7,8)] das zwar bewohnbar aussieht, aber dennoch nicht als dreidimensionales Objekt existieren kann. Nach einem ähnlichen Prinzip ist auch seine Lithographie „Wasserfall" entstanden, welche scheinbar das Bild eines Perpetuum mobile ist.[8)]

Die Holographie scheint ein Verfahren zu sein, mit dem es möglich ist, dreidimensionale Objekte aufzunehmen und räumlich echt wiederzugeben. In der Tat erscheint bei der Rekonstruktion eines Hologrammes für den Beobachter ein Gegenstand, der genauso anzuschauen ist wie der

ursprünglich aufgenommene. Alle gewohnten Effekte wie Perspektive, Parallaxe und Schärfentiefe sind richtig vorhanden.[9] Ein Hologramm ist jedoch nur eine zweidimensionale Speicherung der Interferenzen zwischen dem Wellenfeld des kohärent beleuchteten Objektes und einer ebenfalls kohärenten ebenen oder divergenten Referenzwelle. Bei der Rekonstruktion des Hologrammes mit derselben Referenzwelle entsteht zwar wieder das aufgenommene Wellenfeld mit richtiger Amplitude und Phase, aber dieses Wellenfeld enthält nur dann die vollständige Information über das räumliche Objekt, wenn es sich um die zweidimensionale Oberfläche eines undurchsichtigen Gegenstandes handelt. Für durchsichtige Objekte oder Phasenobjekte, wie sie häufig in der biologischen Mikroskopie vorkommen, kann aus einem einzigen Hologramm nicht eindeutig auf die dreidimensionale Struktur geschlossen werden.[10] Ausserdem kann man durch Umkehrung der Referenzwelle resp. der Hologrammplatte ein rekonstruiertes Wellenfeld erzeugen, das einem scheinbaren Objekt entspricht, das in Wirklichkeit nicht existieren kann, ähnlich wie bei den erwähnten Bildern von

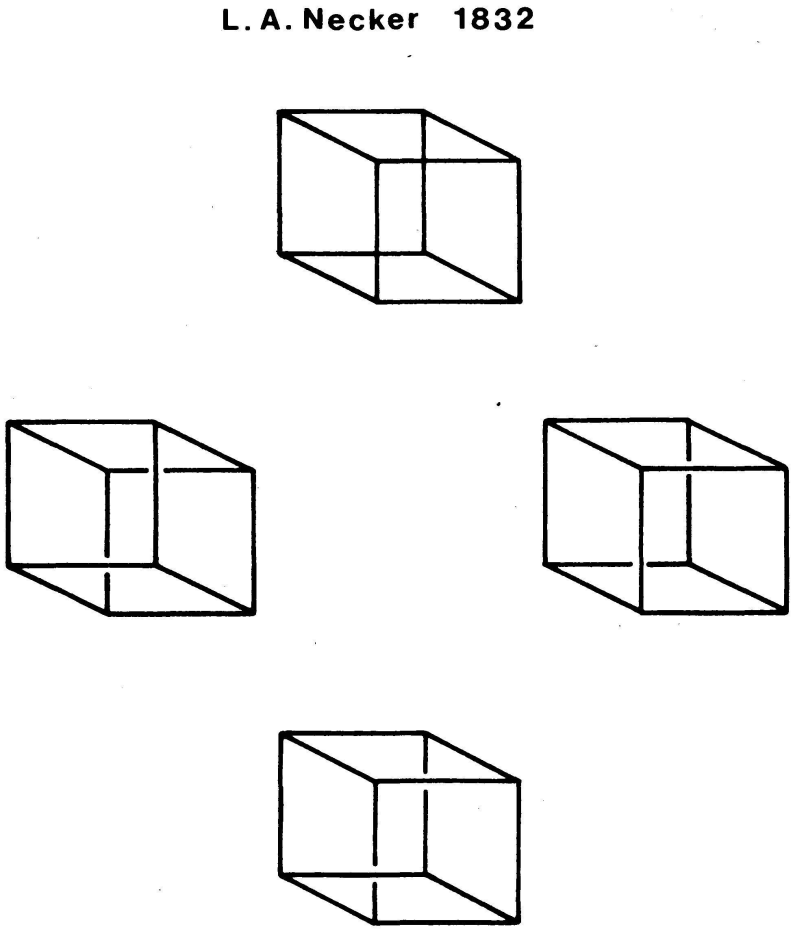


Fig. 3 Mehrdeutigkeiten bei der ebenen Darstellung räumlicher Objekte.

M.C. Escher. Bei dieser sog. pseudoskopischen Rekonstruktion erscheint das Objekt mit umgekehrtem Relief, d.h. konkav statt konvex, und es werden nähere Objektteile von weiter entfernten verdeckt.[11]

6. Holographische Interferometrie

Da mit Hilfe der Holographie das Wellenfeld eines kohärent beleuchteten Objektes mit der richtigen Amplitude und Phase gespeichert und rekonstruiert werden kann, ist es möglich, solche Wellenfelder zu einem späteren Zeitpunkt zu überlagern und miteinander interferieren zu lassen.[9] Bei der holographischen Interferometrie durch Doppelbelichtung wird das untersuchte Objekt bei zwei verschiedenen Deformationszuständen holographisch auf derselben Photoplatte aufgenommen. Die gleichzeitige Rekonstruktion dieser beiden Hologramme liefert ein Bild des Objektes, das mit einem Interferenzstreifenmuster überdeckt ist. Diese Streifen entsprechen Höhenlinien der Oberflächenverschiebung in einer bestimmten Richtung oder der Änderung der optischen Dicke bei durchsichtigen Objekten. Die optische Wegänderung zwischen zwei benachbarten Streifen ist gleich der verwendeten Lichtwellenlänge, d.h. etwa 0,5 μm. Die holographische Interferometrie wird eingesetzt bei der Untersuchung von Strömungen, Gasentladungen, Plasmen sowie Schwingungen und Deformationen von mechanischen Bauteilen. Solche Aufnahmen eignen sich vor allem zur qualitativen Beurteilung der Deformation auf Gleichmässigkeit. Extremstellen und allgemeinen Verlauf. Durch den Einsatz optoelektronischer Mittel kann jedoch das Interferenzmuster auf einen Bruchteil von weniger als einem Hundertstel Streifenabstand genau und objektiv vermessen werden.[12] Damit wird die holographische Interferometrie zu einem Messinstrument, mit dem für jede Stelle des aufgenommenen Objektes die Oberflächenverschiebung als Zahlenwert abgelesen werden kann. Daraus lässt sich dann die Dehnung und mechanische Beanspruchung des Objektes berechnen.

Literatur:

1 S. Tolansky, „Optical Illusions", Pergamon Press, 1964.
2 J. Hawkes, „Stonehenge", Scientific American, 188 (6), 25–31 (1953).
3 J.W. Goodman, „Statistical Properties of Laser Speckle Patterns", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 9–75.
4 T.S. McKechnie, „Speckle Reduction", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 123–170.
5 A.E. Ennos, „Speckle Interferometry", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 203–253.
6 J.C. Dainty, „Stellar Speckle Interferometry", in „Laser Speckle and Related Phenomena", Ed. J.C. Dainty, Springer-Verlag, 1975, p. 255–280.
7 M.L. Teuber, „Sources of Ambiguity in the Prints of Maurits C. Escher", Scientific American, 231 (1), 90–104 (1974).
8 „Die Welten des M.C. Escher", Heinz Moos Verlag, München, 1971;
„M.C. Escher, Graphik und Zeichnungen", Heinz Moos Verlag, München, 1967.
9 K.S. Pennington, „Advances in Holography", Scientific American, 218 (2), 40–48 (1968).

10 R. Dändliker, K. Weiss, „Reconstruction of the Three-Dimensional Refractive Index from Scattered Waves", Optics Commun. 1, 323-328 (1970).
11 F.B. Rotz, A.A. Friesem, „Holograms with Nonpseudoscopic Real Images", Appl. Phys. Letters, 8, 146–148 (1966).
12 R. Dändliker, B. Ineichen, F.M. Mottier, „High Resolution Hologram Interferometry by Electronic Phase Measurement", Optics Commun. 9, 412–416 (1973).

3. Sehen – Abbilden – Erkennen: Dargelegt am Beispiel der Evolution der Schillerfarben der Vogelfeder

Heinz Durrer (Institut für Pathologie der Universität Basel)

Wenn ich heute anstelle von Prof. Portmann zu Ihnen sprechen darf, über ein so typisches „Portmann-Thema" wie „Sehen – Abbilden – Erkennen", so kann ich annehmen, dass Sie verstehen, wenn ich nicht in der Art meines geschätzten Lehrers die Thematik angehe. Ich möchte eher in Umkehrung des Vorgehens versuchen, Ihnen einige wissenschaftliche Resultate über mein eigenes langjähriges Forschungsgebiet im Zusammenhang mit den Schillerfarben der Vogelfeder in knapper Form zu vermitteln. Ich hoffe, dass es mir gelingt, indem ich einige wenige Fakten zur Diskussion stelle, einen Denkanstoss zu liefern, der es Ihnen möglich macht, über das geschilderte Modell hinaus zu einer allgemeineren umfassenderen Betrachtung des Phänomens der Erscheinung in der belebten Natur vorzudringen. Dies erfordert, dass wir versuchen, durch multidisziplinäres Vorgehen die Resultate zu einem geschlossenen Ganzen zusammenzutragen.

„Sehen – Abbilden – Erkennen", wenn wir diese Trilogie aus biologischer Sicht betrachten, müssen wir beachten, dass nicht nur der Weg der optischen Abbildung über ein sehendes Auge bis zu einem zentralnervösen Erkennen des Bildes möglich ist, sondern dass auch eine umgekehrte Beziehung auftreten kann. Dabei schliesst sich unsere Betrachtung gleichsam in der Gegenrichtung, indem das Erkennen einer Erscheinungsform, über die Abbildung dieser Gestalt, die optischen Muster – als das, was gesehen wird – entwickelt. Die Erscheinung der Tiere muss in ihrer Evolution unter diesen Wechselbeziehungen betrachtet werden.

Sehen heisst auch, dass spezielle äussere Formen gesehen werden wollen, welche für das schauende Auge bestimmt sind. Die Erscheinung der Tiere adressiert sich somit an Artgenossen wie auch an Artfremde in der Umwelt. Bei der Entstehung der äusseren Gestalt sind, dadurch bedingt, zwei Extreme möglich: Entweder soll eine Gestalt verborgen bleiben, insbesondere vor möglichen Raubfeinden, was zu kryptischen Erscheinungsformen führt und perfekte Tarnkleider hervorzubringen vermag, oder im krassen Gegensatz können Prachtskleider durch auffällige Muster und Farben als semantische Strukturen in Erscheinung treten. Dieses schwieriger zu erfassende Phänomen des aufdringlichen Brillierens durch die optische Gestalt, welche gesehen werden möchte, ja oft geradezu übertrieben auffällig erscheint, soll uns heute etwas intensiver beschäftigen.

Das Phänomen der Erscheinung ist biologisch eng verknüpft mit der Problematik des Abbildens. Währenddem in der unbelebten Natur oft Zufallsergebnisse oder physikalisch-chemische Gesetze einmalige Formen erzeugen, ist die Gestalt jeder Tierart stets in der identischen Form reproduzierbar. Durch einen komplexen Mechanismus, der in der genetischen Fixierung seinen Ursprung hat, vermag ein Organsystem in der stets gleichen Art die äussere Gestalt wieder abzubilden. Diese Morphogenese schlägt gleichsam die Brücke zwischen Sehen – also der Erscheinung – und Erkennen, wenn es gilt, diese optisch wirksame Gestalt zu erklären, denn hier liegt das realisierende Organsystem.

Ein weiterer Schlüssel zur Erklärung der äusseren Gestalt ist das Erkennen der Muster. In der biologischen Sprache bedeutet dies, dass ein Engramm des Gehirns auf den Sehvorgang eingespielt ist und zu einer bestimmten Wertung der Gestalt führt. Dies kann z.B., um es in die Fachsprache der Verhaltensforscher zu übertragen, ein „angeborener auslösender Mechanismus" sein oder ein erst durch Prägung fixierter Lernvorgang. Stets wird der Erscheinung eine bestimmte Reaktion zugeordnet. So kann eine Verhaltensweise durch diese Reaktion unter den Erscheinungsformen selektionieren und damit Günstiges bevorzugen und herauszüchten oder anderes eliminieren.

Wir wollen nun versuchen, am Beispiel der Evolution der Schillerfarben der Vogelfeder diesen Verknüpfungskreis aufzuzeigen: Dabei muss das Erscheinungsbild erklärt werden, das abbildende System unter dem Aspekt der identischen Reproduktion dieser Erscheinungsform zur Andeutung kommen wie auch das Erkennen der Gestalt als bestimmte Reaktion zum Erscheinungsbild gedeutet werden. Gelingt dies, so können die Tiergestalten unter dieser ganzheitlichen Betrachtungsweise verstanden werden.

Dass ich heute von schillernden Vogelfedern spreche, liegt nicht nur an der faszinierenden Schönheit ihrer Erscheinung, sondern auch daran, dass erst in den letzten Jahren mit Hilfe des Elektronenmikroskops die farberzeugenden Strukturen entdeckt werden konnten. Obwohl Newton schon 1704 klar ausgesagt hat, dass es sich um Farben, erzeugt nach dem Prinzip „dünner Blättchen", handeln müsse, konnten diese wegen ihrer Feinheit im Lichtmikroskop nicht gesehen werden. Bis heute sind 106 Vogelarten (davon 87 durch eigene Arbeiten) untersucht worden, und aus diesen zum Teil noch unveröffentlichten Ergebnissen möchte ich Ihnen einzelne vorstellen. Durch Schillerradien, den Verzweigungen dritter Ordnung, wurden genau orientierte ultradünne Schnitte in drei Richtungen hergestellt. Die Bilder ermöglichen eine Rekonstruktion der farberzeugenden Struktur im Innern der Radien. In der äusseren Zone zeigt sich meist eine periodische Schichtung von Melaninkörnern in Keratin eingebettet. So konnten bisher 19 verschiedene Typen von Strukturen als Grundlage der Schillerfarben gefunden werden. Allen gemeinsam ist das physikalische Prinzip der Farberzeugung durch „Interferenz an dünnen Blättchen": Fällt weisses Licht auf ein sehr dünnes Blättchen, so wird ein Teil an der Oberfläche, eine andere Komponente an der Unterseite der Schicht reflektiert. Diese Strahlen überlagern sich und gelangen, weil sie durch die Wegdifferenz eine Phasenverschiebung aufweisen, zur Interferenz. Das heisst, diejenige Farbe, für die die Phasenverschiebung genau eine Wellenlänge ausmacht, wird verstärkt, andere ge-

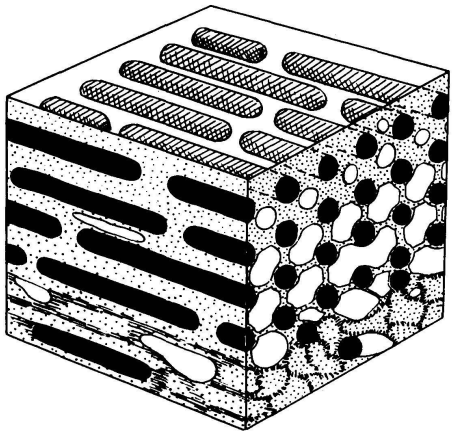


Abb. 1 Raumschema der Schillerstruktur des Pfaus (und Kongopfaus): Stäbchen-Gitter-Typ. Rechts Querschnitts-, links Längsschnittsbild durch die pigmentierte Aussenzone eines Schillerradius. (Schwarz: Melanin, punktiert: Keratin, weiss: Luft). Für die Farberzeugung entscheidend ist der Abstand der Gitterebenen.

schwächt und im Falle der Phasenverschiebung um $\lambda/2$ sogar vollständig ausgelöscht. So wird eine Farbe intensiv zurückgeworfen, die durch die Dicke des Blättchens und den Einfallswinkel bestimmt ist. Durch die periodische Wiederholung der farberzeugenden Struktur tritt eine weitere Verstärkung dieser Farbe ein. Die reinen leuchtenden Interferenzfarben, welche phänotypisch sehr ähnlich aussehen können, beruhen auf recht unterschiedlichen morphologischen Grundlagen. Trotzdem ist es erstaunlich, dass bei den bisher untersuchten über 100 Vogelarten nur 19 Typen von Schillerstrukturen auftreten. Wenn wir diese untereinander vergleichen, so erkennen wir, dass sie auf die Kombination von nur 5 verschiedenen Melaningranula-Typen in 4–5 Arten der Lagerung im Keratin zurückgeführt werden können: Wir unterscheiden unter den Melaninkörnern einen Stabtyp von nur 0,1 μ dünnen Stäbchen, gasgefüllte Melaninröhren und flache Melaninplättchen sowie die wohl kompliziertesten bisher gefundenen Melaningranula, den Kammertyp, mit einer Melaninschicht um eine wabig gekammerte Gasfüllung. Dieses Melanin kann in nur einer Schicht dicht unter der Oberfläche liegen (Einschicht-Typ), in dichter Lagerung (Kompakt-Typ) oder in regelmässigen Schichten mit bestimmten Abständen (Schicht-Typ) geordnet sein. Eine hochspezialisierte Schillerstruktur, die nur bei zwei Gattungen (Pfau und Kongopfau) gefunden wurde, ist der Gitter-Typ. Hier sind die Melaninstäbchen nicht nur in Schichten, sondern auch senkrecht untereinander regelmässig geordnet. Liegt farberzeugend ein dünner Keratinmantel über dem Melanin, wird vom Oberflächen-Typ gesprochen.

Doch wir wollen uns nicht in morphologischen Details verlieren. Zur Interpretation der Farbwirksamkeit wurden die Dicke des Melanins, des Keratins und der Gasfüllung gemessen und die Interferenzfarben berechnet. Jetzt erst kann ausgesagt werden, welche Elemente, eventuell als periodische Wiederholung oder in Addition mit andern, die Federfarbe bestimmen. Die Dimensionen der farberzeugenden Strukturen liegen im Bereich von 0,1–0,2 μ, welche mit einer Präzision, die um 0,001 μ liegt, eingehalten werden müssen. Grössere Abweichungen ändern die Farb-

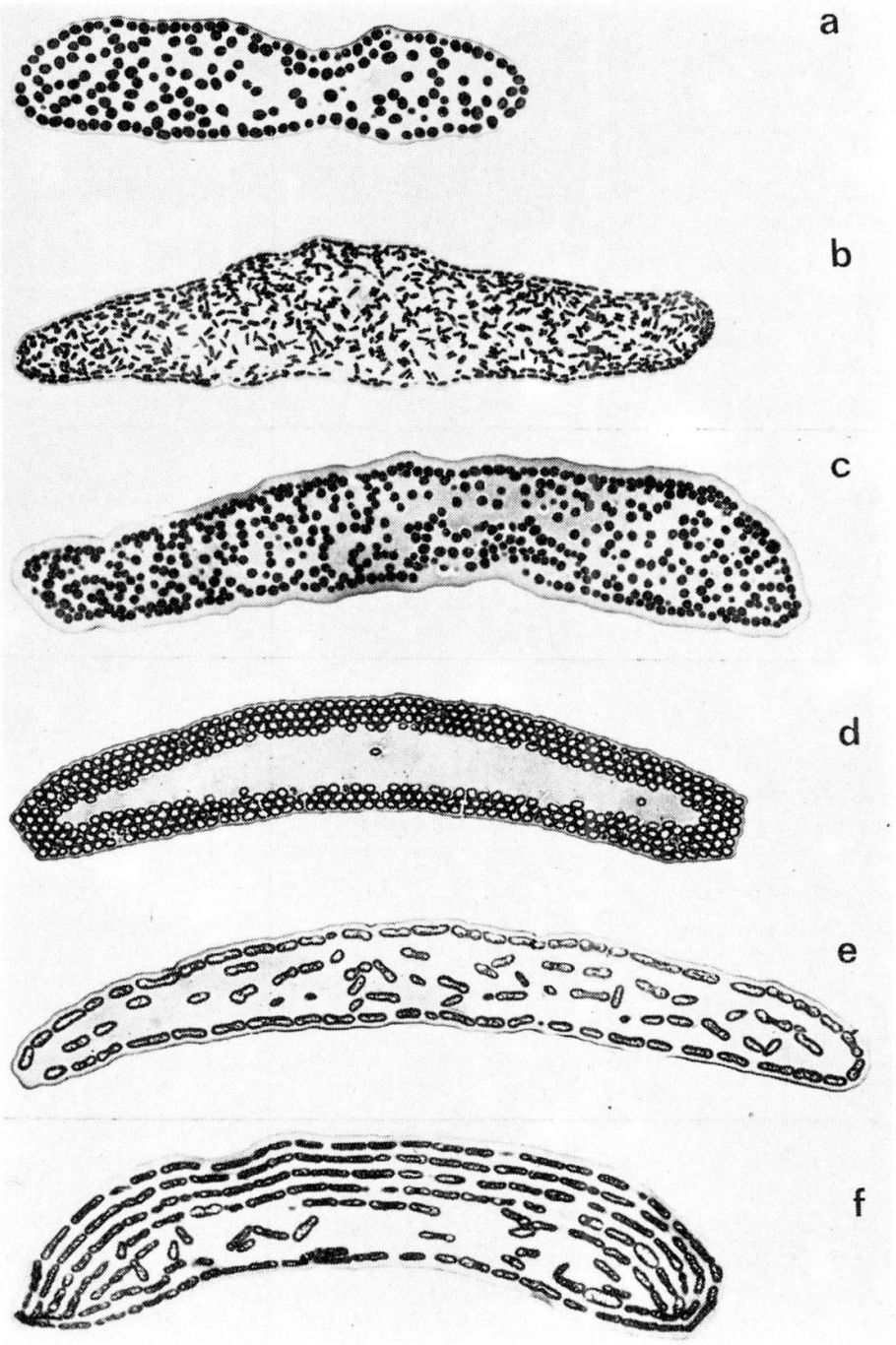


Abb. 2 Schillerstrukturen der Stare *(Sturnidae)*: Querschnittsbilder; Vergrösserung: 5000 fach.

a) *Onychognathus* (Helmstar) und weitere: Melaninstab-Einschicht-Typ.
b) *Poeoptera* (Waldstar): Melaninplättchen-Kompakt-Typ.
c) *Basilornis* (Celebesatzel) und weitere: Oberflächen-Melaninstab-Einschicht-Typ.
d) *Cinnyricinclus* (Amethystglanzstar): Melaninröhren-Kompakt-Typ.
e) *Spreo* (Dreifarben-Glanzstar) und weitere: Melaninkammer-Einschicht-Typ.
f) *Coccycolius* (Schillerglanzstar): Melaninkammer-Schicht-Typ.

Der Vergleich der Schillerstrukturen zeigt die Divergenz der morphologischen Grundlage des Schillers innerhalb einer Familie.

(Alle elektronenmikroskopischen Aufnahmen: Laboratorium für Elektronenmikroskopie des Anatomischen Institutes der Universität Basel.)

wirkung. So ist das Ocellenmuster auf den Oberschwanzdecken des Pfaus nur durch die Variation des Gitterabstandes von 0,16–0,21 μ, also um 0,05 μ bestimmt.
Wir erkennen, dass das, was wir sehen als reine leuchtende Farbe eines bestimmten Tones, morphologisch auf recht unterschiedlicher Basis aufgebaut sein kann. Hingegen beruhen verschiedene Farbtöne eines Gefieders nur auf der geringen Variation der Dicke einer Melanin-, Keratin- oder Gasschicht.

Doch ein weiterer morphologischer Aspekt muss uns noch beschäftigen: Sehen wir uns die Verteilung der verschiedenen Schillerstrukturen im System der Vögel an, so fallen uns zwei wesentliche Besonderheiten auf. Wir finden identische Schillerstrukturen bei Vogelgruppen, die zueinander keinerlei Verwandtschaft zeigen. Melaninplättchen z.B. sind von vier verschiedenen Familien, nämlich Segler, Stare, Schwalben und Nektarvögel, entwickelt worden. Den Kammertyp mit Gasfüllung zeigen die Stare, Trogons und Kolibris, also Vogelgruppen aus drei verschiedenen Ordnungen. Röhrenförmige Melaninkörner sind bei sieben Familien unabhängig voneinander entstanden, um schillerndes Gefieder zu erzeugen. Wir reden von morphologischen Konvergenzen, wie wir sie als gleiche Anpassungen an ein Lebensmilieu z.B. von den Körperformen der Fischsaurier, Haie, Knochenfische und Delphine her kennen. Doch die Konvergenzen der Schillerstrukturen sind verborgene, innere, die nicht direkt in Erscheinung treten.

Das zweite, ebenso erstaunliche Phänomen zeigt uns der Vergleich der Schillerstrukturen innerhalb derselben Familie. Die Schillerstrukturen können trotz gewisser Verwandtschaft sehr unterschiedlichen Typen angehören. Es treten somit auffällige Divergenzen auf. Bei der Familie der Stare wurden 7 verschiedene Schillerstruktur-Typen mit Kammertyp, Röhren, Plättchen und Stäben, mit vier verschiedenen Melaninkörnern, entwickelt. Innerhalb der *Phasianidae* in der Ordnung der Hühnervögel treten 6 verschiedene Schillerstrukturen auf usw. Allen verwandten Arten gemeinsam ist nur die Tendenz, in leuchtenden Farben zu erscheinen. Der Weg, wie dieses Ziel erreicht wird, kann verschieden sein.

So erkennen wir ein sich änderndes System, welches – auf die Ausgestaltung mit Interferenzfarben hin entwickelt – eine „innere Tendenz" zur Ausgestaltung der Tiere darstellt. Dieses System scheint in einer Beschränkung der Möglichkeiten der Lösungen einer „Eigengesetzlichkeit" zu unterliegen.

Hier wollen wir vorerst das Gebiet der farberzeugenden Strukturen verlassen, um die mit dem Fragenkreis der identischen Abbildung verknüpften Probleme zu beleuchten.

Das Phänomen der Interferenzstrukturen in den toten verhornten Schillerradien muss als Anforderung an den Bildungsort gewertet werden. Der Ektodermring des Federkeims ist in der Lage, diese Strukturen nach jeder Mauser neu, jedoch identisch, d.h. auch mit der nötigen Präzision, wieder abzubilden. Die Feder entsteht, ähnlich wie ein Haarbalg, als eine Ausstülpung der Haut zu einem Zylinder, der sich jedoch im Innern in Leisten differenziert. Jede Leiste bringt einen Ast mit den daran ansetzenden Radien hervor. Gegen das Innere sitzen die Melanocyten, Zellen, wie wir sie als Farbstoffproduzenten auch in unserer Haut besitzen. Sie produzieren die Melaninkörner und schleusen sie in die Radienzellen ein. Die Melanogenese ist ein komplexer Vorgang, wobei einerseits eine Proteinmatrix-Struktur,

andererseits Melanin produziert wird. Durch Änderungen dieser beiden Prozesse kann die Gestalt des Melaninkorns variiert werden.

Sehen wir uns z.B. die Bildung der gasgekammerten Melaninplättchen an, so erkennen wir, wie eine Proteinmatrix als Blasenstruktur entsteht, um die das Melanin angelagert wird. Melaninschichtdicke wie Grösse der Gasfüllung bestimmen die in Erscheinung tretende Interferenzfarbe. Über die Steuerung solcher Morphogenesen ist noch recht wenig bekannt.

Doch die speziell geschaffenen Melaninkörner allein können nie zur Farbwirkung gelangen, wenn sie nicht regelmässig geordnet werden. Ja, wie wir schon beim Gittertyp gesehen haben, kann sogar die Ordnung im Keratin allein für die Farbentstehung entscheidend sein. Der Prozess, der als Endprodukt die starre, tote Federgestalt durch Verhornung und Verkettung der federbildenden Zellen ergibt, ist im Keim räumlich und somit auch zeitlich von der Melanineinlagerung getrennt. Alle Zellorganellen werden dabei resorbiert, und Keratinfibrillenbündel erfüllen den sich abplattenden Zellraum.

Vergleichen wir den Verhornungsablauf nichtschillernder Zellen mit denjenigen von Schillerradien, so können wir, ohne auf weitere Details eingehen zu müssen, erkennen, wie im einen Falle die Bildung grosser Keratinfibrillenbündel im Plasma die Ordnung der Melaninkörner verhindert, währenddem bei den Schillerradien kleine Tonofibrillenpakete im Innern der Zellen entstehen. Die Melaninkörner werden dadurch bei der Abplattung zwischen Zellwand und Zellinnerem eingeklemmt und so zur einheitlich reflektierenden farberzeugenden Struktur geordnet.

Doch auch diese Ordnung würde nie den Effekt des schillernden Federkleides ermöglichen. Der Radius selbst muss als abgeplattetes reflektierendes Element durch Torsion um 90° in die Federebene eingedreht werden. Diese Modifikation zum Schillerradius steht zum Teil anderen Anforderungen an die Feder wie Flug und Wärmeschutz gegenüber, insbesondere deshalb, weil die Verzahnung der Radien zur geschlossenen Federfahne nicht mehr möglich ist. Im Extremfall entstehen reine Schmuckfedern, wobei der Radius Totalmodifikation zeigt und allein in den Dienst der Farbwirkung gestellt wird. Bei Schwingen oder auch Konturfedern kann nur das Ende des Radius oder die Basis für die Farbwirkung eingesetzt werden, wobei die Verzahnung aufrechterhalten bleibt. Eine Kombination aller Möglichkeiten zeigt der Schillerkuckuck, wo durch zweimalige Torsion mit Rückdrehung im Mittelteil Schillerwirkung und Verzahnung zur Flugfeder kombiniert werden.

So erkennen wir, welch weiteres komplexes System für die Abbildung im Sinne einer identischen Reproduktion, d.h. der Realisation eines genetischen Programms eingesetzt wird.

Im Verborgenen des Hohlzylinders des Federkeims werden – vorerst unzugänglich jeder äusseren Selektion – die Grundlagen der Schillerstrukturen aufgebaut. Dieser Vorgang wird durch eine Reihe innerer Faktoren gesteuert, welche alle bis zur Einhaltung kleinster Dimensionen der farberzeugenden Struktur genetisch fixiert sein müssen. Ein hochdifferenziertes Organsystem hat sich in bestimmter Richtung in vielen sich addierenden Einzelschritten der Morphogenese weiterentwickeln müssen, um diese Erscheinungsformen erzeugen zu können.

Erscheinen und Abbilden allein vermögen den Kreis, der zur optischen Ausgestaltung führt, nicht zu umfassen. Auch wenn es reine Luxusgestalten,

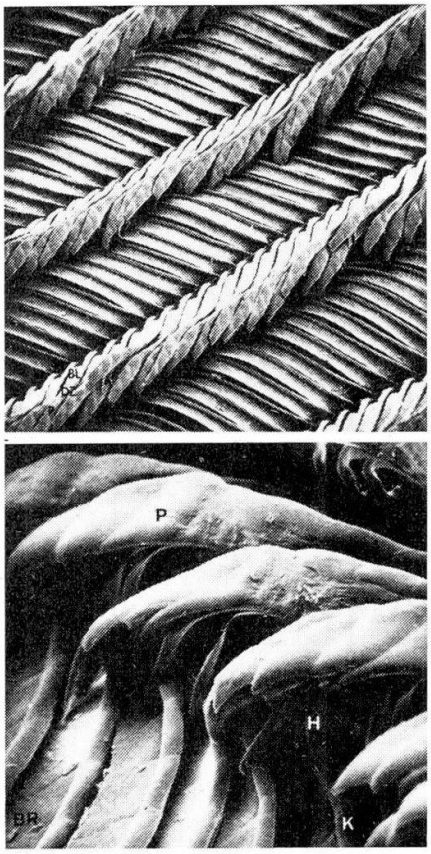


Abb. 3 Schillerkuckuck *(Chrysococcyx)*.
Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigen die abgeplatteten Basallamellen (BL) und Pennulumteile (P) der Schillerradien sowie die Rücktorsion im Bereich der Häkchen (H), welche die Verzahnung mit der Krempe (K) von Hakenradien (HR) und Bogenradien ermöglichen.

rein zufällige Spiele der Formen und Farben in der Tierwelt gäbe, benötigen wir, um sie in ihrer Entstehung zu erklären, die Variabilität des abbildenden Systems und, um sie dauernd zu erhalten, einen Einfluss, der dieser Veränderlichkeit wieder entgegenwirkt. Dies ist die Selektion, welche stabilisierend wirken kann, aber auch durch Bevorzugung geeigneter neuer Varianten eine andere Erscheinungsform zu entwickeln vermag.

Dazu ist jedoch das Erkennen der äusseren Gestalt nötig. Eine Variante wird besser angepasst in der natürlichen Selektion, z.B. durch Feinde, die grössere Überlebenschancen haben und durch erhöhte Aufzuchtmöglichkeit sich gegenüber den anderen Artgenossen rasch durchsetzen können. So ist es leicht, mit Hilfe des Darwinschen Selektionsmodells z.B. das Tarnkleid der Henne des Pfaus zu erklären. Wie wir heute wissen, unterdrücken allein die weiblichen Geschlechtshormone (Oestrogene) die Ausbildung des Artkleides, welches dem Prachtskleid des Hahns entspricht.

Doch die Erklärung der auffälligen Gestalt des Männchens bereitete Darwin vorerst Schwierigkeiten. So schreibt er 1860 nach der Veröffentlichung seines Hauptwerkes „Origin of Species": „Allein schon der Anblick einer Pfauenfeder, wo ich auch auf sie stosse und auf sie hinschaue, macht mich krank".

Als Lösung des Problems wird die „geschlechtliche Zuchtwahl" als innerartliche Selektion gefordert. Die Hennen bevorzugen die schöneren Hähne, die dadurch einen starken Selektionsvorteil erhalten. Doch dazu müsste dem Weibchen ein ästhetisierender Sinn zugebilligt werden.

Mit Hilfe der modernen Verhaltensforschung können wir versuchen, den optischen Erscheinungsbildern positive Selektionsmechanismen zuzuordnen. Durch Analyse der Balzrituale zum Beispiel, und Rückführung auf ihre Ursprungsszenen, kann vielleicht der Beginn der innerartlichen Selektion gefunden werden. Hat dieser Prozess einmal eingesetzt, so beginnt eine eng verknüpfte und rückgekoppelte Evolution von Verhaltensweisen und ornamentaler Ausgestaltung. Eine solche Verknüpfung möchte ich am Beispiel des Pfaus kurz andeuten: Durch Vergleich homologer Szenen in den verschiedenen Balzritualen bei Hühnervögeln ist es Schenkel gelungen, das Rollenspiel zwischen Hahn und Henne auf die Mutter-Kind-Beziehung

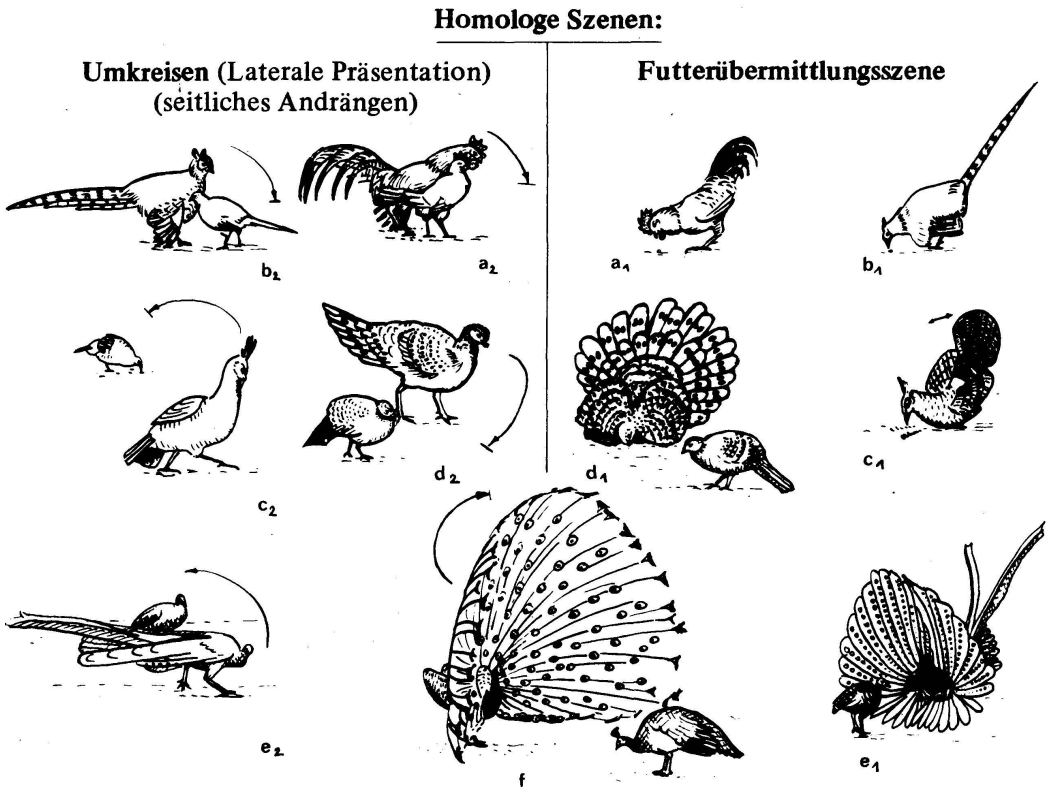


Abb. 4 Vergleichende Ableitung der Balz des Pfaus (nach Schenkel; verändert und erweitert):

a) *Gallus* (Kammhühner) (a_1, b_1 Futterübermittlung)
b) *Phasianus colchicus* (Jagdfasan) (a_2, b_2 Balz: Lateralpräsentation)
c) *Lophophorus impejanus* (Glanzfasan) (c_1 Lockphase zur symbolischen Futterübermittlung, c_2 vorangehendes Umkreisen mit Lateralpräsentation)
d) *Polyplectron bicalcaratum* (Spiegelpfau) (d_1 echte Futterübermittlung, d_2 Umkreisen der Henne)
e) *Argusianus argus* (Argusfasan) (e_1 ritualisierte Futterübermittlung, e_2 Umkreisen der Henne)
f) *Pavo* (Pfau): Radpräsentation mit Zu- und Abwenden.

zurückzuführen. Für die Grundszenen zwischen Mutter und Kind garantieren angeborene auslösende Mechanismen das Erkennen, d.h. sowohl Futterübermittlung und Aufpicken wie Führung und Nachfolgereaktion im Sinne einer Stimmungssynchronisation sind erblich fixierte Reaktionen.

Ich möchte nur zwei für das Verständnis der Balz des Pfaus wichtige Verhaltenselemente herausgreifen, um in der Fülle der Möglichkeiten mich nicht zu verlieren. Der Vergleich homologer Szenen bei Hühnervögeln führt zur Hypothese, das Radschlagen des Pfaus sei ein Imponiergebaren verbunden mit einer ritualisierten Futterübermittlungsszene. Echte Futterübermittlung durch den Hahn an die Henne finden wir beim Haushuhn, Jagdfasan und Pfaufasan. Gegenüber der Ursprungsszene zwischen Mutter und Kind, wo das Futter mit tiefgehaltenem Kopf im Schnabel offeriert wird, fällt auf, dass die Lockgestalt optisch ausgestaltet worden ist. Zudem wird die Szene mimisch übertrieben und in anderer Motivation gezeigt, d.h. ein Funktionswandel ist eingetreten. Im Falle der Kammhühner geht es um die Erhaltung der Intimität innerhalb der Gruppe, beim Pfaufasan z.B. ist es Teil der Balz geworden, also sexuell motiviert. Wir nennen einen solchen Vorgang Ritualisation.

Da das ursprüngliche Erkennen der Szene gesichert ist, kann durch die geschlechtliche Zuchtwahl durch die Henne die Lockgestalt des Hahns weiter entwickelt werden. Die gemeinsame Evolution der Verhaltensweisen und des Erscheinungsbildes als gekoppelter Vorgang kann sich immer weiter von der Ursprungsszene entfernen, bis diese nur noch symbolisch ausgeführt wird. So kommt es zu starken Übertreibungen nur innerartlich vorteilhafter Merkmale, und man hat schon „von Sackgassen-Evolution" gesprochen.

Doch wenden wir uns kurz noch der anderen Ursprungsszene der Balz zu: Diese hat dominanten Charakter, stammt sie doch ursprünglich von der Führungsrolle der Henne und in ritualisierter Form des Hahns in der Gruppe ab. Aus dem seitlichen Andrängen und Umwalzern ist beim Huhn und vielen Fasanen eine Hauptkomponente der Lateralbalz entstanden. Bei Arten, wo die Gruppenintimität verlorengegangen ist, wird die Szene als Vorspiel zur

Abb. 5 Futterübermittlung durch die Henne an das Küken. Dies ist eine der Ursprungsszenen, welche zur Balz ritualisiert wurde.

Futterübermittlung eingesetzt. Beim Pfau ist davon nur noch das Zu- und Abwenden sowie das Zittern der Radgestalt übriggeblieben.

Wenn diese Ableitung aus homologen Szenen im Artvergleich zutrifft, so bedeutet dies, dass dem Ornament der Radgestalt, im Speziellen dem Ocellenmuster auf den Federn, eine Bedeutung in diesen Richtungen zukommen muss.

Um Beobachtungen und Experimente durchführen zu können, wurden Jungtiere unter Erfahrungsentzug in Beziehung auf das Prachtskleid aufgezogen. Mit solchen „Kaspar-Hauser-Versuchen" lassen sich angeborene Verhaltensweisen und Reaktionen abtasten.

Das Radschlagen tritt bei kleinsten Jungtieren und auch bei Hennen als Imponiergebaren gegen Artgenossen oder Drohgebärde gegen Feinde auf. Das Ocellenmuster addiert sich erst im dritten Lebensjahr des Männchens zu diesem Verhalten. Danach kommt ihm eine Bedeutung als Kennzeichen des erwachsenen Männchens zu. Mit der Radgestalt markiert der Hahn sein Balzterritorium und droht gegen jeden Rivalen. So lässt sich nachweisen, dass sich die Aggression adulter Hähne nur gegen die Ocellenmuster richtet. Wenn ein Mensch ein Büschel solcher Federn hält, wird er auf dem Balzplatz des Pfaus angegriffen. Die Aggression richtet sich jedoch ausschliesslich gegen die Schmuckfedern und nie gegen den Menschen.

Auf Hennen und besonders isoliert aufgezogene Jungtiere wirken die Ocellenfedern jedoch völlig andersartig. Stereotyp wird genau in das Zentrum des Ocellenmusters gepickt, nicht gehackt, denn die Feder wird angehoben und kann sich so auf die Rückseite drehen, wobei sie jegliche Wirkung verliert. Legen wir Futterkörner neben eine Augfeder, so wird, obwohl genügend Futter im Gehege aufgestellt ist, dieses hastig aufgepickt. Hier liegt ein angeborenes Erkennen vor, welches zwischen Muster und Verhalten die Brücke schlägt: wir merken, wie nun bei der fortschreitenden Ritualisierung schliesslich die ursprüngliche Futterübermittlung nur noch symbolisch vollzogen wird, ersetzt durch das Ocellenmuster auf der Lockgestalt.

Sorgfältige Beobachtungen der Reaktionen der Henne auf die Präsentation der Radgestalt während der Balz belegen diese Theorie, indem immer

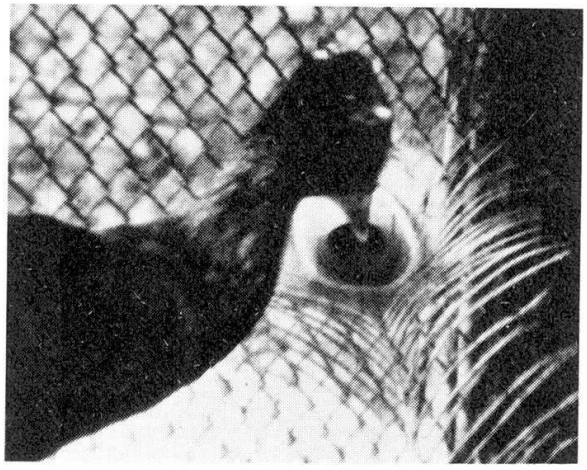


Abb. 6 Der isoliert aufgezogene Jungpfau (Kaspar-Hauser-Versuch) reagiert auf das Ocellenmuster durch Picken in das Augzentrum (aus 8 mm Filmaufnahmen kopiert).

wieder eine Futtersuchbewegung, ja sogar Picken, festgestellt werden kann, auch wenn sicherlich kein Futter vorhanden ist. Dieser Ausschnitt aus einer umfassenderen Funktionsanalyse der Gestalt des Pfaus zeigt uns, wie das Erkennen eines Musterelementes benötigt wird, um eine Evolution der Erscheinung ableiten zu können. Dies ist ein vielseitiger gekoppelter Vorgang, und das Geschehen muss stets in seiner Gesamtheit betrachtet werden. Arbeitsteilung im Fortpflanzungsverhalten, Änderung des Sozialverhaltens und Sexualdimorphismus sind korreliert und lassen das Hennenkleid als Resultat einer umweltbezogenen Selektion verstehen. Damit verknüpft, entwickeln sich ebenfalls gekoppelt Balzverhalten, Territorialität und Aggressionsverhalten und ergeben als Resultat der innerartlichen Selektion das Prachtskleid des Hahns, wobei innerartlich vorteilhafte Merkmale weit über das funktionell Geforderte hinaus entwickelt wurden. Nötig für diese Evolution war nur ein primäres Erkennen der Gestaltselemente.

Damit hätten wir an dem ausgewählten Beispiel dargelegt, welche biologischen Verflechtungen zwischen „Sehen – Abbilden – und Erkennen" bestehen. Ein Kreis, der zum Verständnis der Evolution der Erscheinung in der belebten Natur nötig ist. Wir haben aber auch erfahren, wie drei zum Teil eigenständige Prozesse dem Erscheinungsbild zugrunde liegen. Die Schillerfarben der Vogelfeder, in ihrer Komplexität hier nur angedeutet, scheinen mir geeignet, um einige grundlegende Aspekte der Erscheinungsformen der Tiere und insbesondere ihrer Evolution hervorzuheben.

Was wir sehen, was in Erscheinung tritt, sind leuchtende Farben, erzeugt durch verschiedene Strukturen von Melanin-, Keratin- und Gasschichten, verborgen im Innern der Federästchen. Den beim Erkennen angedeuteten Selektionsvorgängen kann nur die reflektierte Interferenzfarbe in ihrer Wirkung unterliegen. Die Entstehung der Struktur und ihre Änderung ist also nicht das Ergebnis dieser äusseren Selektion.

Sicherlich sind ungerichtete Mutationen an der Grundsubstanz des Lebens, der DNS, als einziges uns bekanntes variables System, welches erblich ist, am Werke. Doch wie können ungerichtete, völlig zufällige Änderungen solche komplexe Strukturen entstehen lassen? Hier muss nach anderen Erklärungen gesucht werden. Einen Schlüssel könnten uns die gefundenen Konvergenzen liefern: Es scheint eine „Eigengesetzlichkeit" eines hochdifferenzierten Organsystems vorzuliegen. Im Federkeim und Melanocytensystem sind unter vielen zufälligen Änderungen nur wenige realisierbar. Eine „innere Selektion" ist am Werke; sie erhält als wohl wichtigste Funktion ein Organsystem konstant, lässt aber einen gewissen Spielraum offen, um in bestimmten Grenzen variieren zu können. In unserem Falle steht der auffälligen Konstanz der Melaninkörner innerhalb der Wirbeltiere eine Reihe von fünf Varianten bei der Vogelfeder gegenüber. Die Schillerstrukturen sind die zum grossen Teil realisierten möglichen Kombinationen dieser Melaninkörner mit nur wenigen Varianten der Lagerung.

Hier scheint es mir angebracht, einen Begriff Portmanns zu verwenden, der dieses Phänomen kennzeichnet, nämlich die von ihm postulierte „Innerlichkeit". Wir wollen darunter alle inneren Faktoren verstehen, die bei der Abbildung der identischen Reproduktion dieser verborgenen Strukturen der Schillerfarben zusammenwirken müssen, also z.B. hormonale Steuerung, Alter, physiologischer Zustand usw.

Jedes differenzierte Organsystem hat eben durch den Vorgang der Differenzierung selbst eine „Eigengesetzlichkeit" erhalten. Es kann sich daher nur in bestimmter Richtung weiterentwickeln. Das heisst, es ändert sich – wie wir das von der Evolution her ganz allgemein kennen – in sogenannten Progressionsreihen, oder aber, wenn es die Differenzierung ganz oder teilweise verliert, es entstehen als Alternative Regressionsreihen. So wäre z.B. auch das „Dollosche Gesetz" erklärbar, welches aussagt, dass die Evolution nie an ihren Ausgangspunkt zurückkehrt. Das System, welches ohne äussere Selektion mit Eigengesetzlichkeit weiterentwickelt, genügt, um Erscheinungsformen von der Komplexität der Schillerstrukturen hervorzubringen.

Portmann verwendet hierzu den Begriff der „Selbstdarstellung". Jede Art beginnt sich nach ihrer genetischen Isolation äusserlich zu unterscheiden, sich darzustellen, wobei, wenn die äussere Selektion es zulässt oder sogar die innerartliche dies begünstigt, die Erscheinung weit über das funktionell Notwendige hinaus sich entwickeln kann.

Doch äusserst selten, vielleicht am ehesten bei den bizarren Farben und Formen von Gifttieren, ist die Erscheinungsform von der äusseren Selektion befreit. Diese bestimmt primär weitgehend die Tiergestalt. Bei ihrer Einwirkung beginnt aber eine weitere „Eigengesetzlichkeit" sich aufzubauen. Jede Höherentwicklung einer Tiergruppe zeigt als Gesetzmässigkeit die Cerebralisation. Eng damit verknüpft treten Verhaltensweisen auf, die selbst als innerartliche Selektion auf die Erscheinung einwirken können. Dabei entstehen Tiergestalten, wie wir sie heute beschrieben haben. Die geschlechtliche Zuchtwahl gibt der Tendenz zur Ausgestaltung – der Selbstdarstellung – wieder neue Freiheiten.

Aber durch Verhaltensänderungen sind auch sehr viel schnellere und oft bessere Anpassungen an die Umwelt möglich als nur durch Variation der Erscheinungsform. So baut sich durch die Cerebralisation ein übergeordnetes Organsystem auf, welches die Evolution besonders auch der Körperformen mit seiner „Eigengesetzlichkeit" zu beeinflussen beginnt.

Damit wäre ein hierarchisches Prinzip in der Evolution skizziert worden, wobei erstens die Differenzierung der Organe für jedes System „Eigengesetzlichkeiten" schafft, welche als innere Selektion die Variation nur noch in bestimmten Grenzen ermöglichen, und wobei zweitens die Wirkung der äusseren Selektion modifiziert, ja sogar aufgehoben werden kann, durch die Cerebralisation verbunden mit der Entwicklung des Verhaltens als allem übergeordnetes System.

Doch wir wollen hier unsere Spekulationen abbrechen und mit den Worten Portmanns schliessen, die er als Abschluss einer Arbeit über Gestalt und Färbung der Vogelfeder schreibt: „Aber je mehr Rätsel wir mit dem Instrument der Forschung lösen, desto mächtiger wird der Eindruck des Geheimnisses, das die Entstehung dieser herrlichen Erzeugnisse des Lebens umgibt".

Zitierte Literatur:

Darwin, Ch. (1859): Origin of Species.

Darwin, Ch. (1871): The Descent of Man and Selection in Relation to Sex. London.

Durrer, H. (1962): Schillerfarben beim Pfau *(Pavo cristatus L.)*. Verhandl. Naturf. Ges. Basel, 73 (1), p. 204–224.

Durrer, H. (1965): Bau und Bildung der Augfeder des Pfaus. Rev. suisse Zool. 72 (14), p. 264–411.

Durrer, H. (1965): Freilebende Pfauen im Zoo. Bulletin des Zoolog. Gartens Basel, Nr. 15.

Durrer, H. und Villiger, W. (1966): Schillerfarben der Trogoniden. J. Ornithol. (Lpz.) 107, p. 1–26.

Durrer, H. und Villiger, W. (1967): Bildung der Schillerstruktur beim Glanzstar. – Z. Zellforsch. 81, p. 445–446.

Durrer, H. und Villiger, W. (1970): Schillerradien des Enten-Spiegels im Raster-Elektronenmikroskop. Rev. suisse Zool. 77, p. 197–198.

Durrer, H. und Villiger, W.: Schillerfarben der Stare *(Sturnidae)*. J. Ornithol. (Lpz.) 111, p. 133–153.

Durrer, H. und Villiger, W.: Schillerradien des Goldkuckucks *(Chrysococcyx cupreus* (Shaw)*)* im Elektronenmikroskop. Z. Zellforsch. 109, p. 407–413.

Durrer, H. und Villiger, W. (1975): Schillerstruktur des Kongopfaus *(Afropavo congensis* Chapin 1936) im Elektronenmikroskop. J. Ornithol. (Lpz.) 116, p. 94–102.

Eine umfassende Publikation aller Ergebnisse ist in den Denkschriften der SNG vorgesehen.

Newton, J. (1704): Treatise on Optics, London.

Portmann, A. (1948/60): Die Tiergestalt. Friedrich Reinhardt, Basel.

Portmann, A. (1963): Die Vogelfeder als morphologisches Problem. Verhandl. Naturf. Ges. Basel. 74 (1), p. 106–132.

Schenkel, R. (1956/58): Zur Deutung der Balzleistung einiger *Phasianiden* und *Tetraoniden*. Ornith. Beob. Bern. 1. Teil: 53, p. 182–201. 2. Teil: 55, p. 65–95.

C. Markus-Guggenheim-Gedenkvortrag

veranstaltet von der Schweizerischen Gesellschaft
für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften

Konrad Gessners Historia Plantarum – Eine Synthese von Wissenschaft und Kunst

Heinrich Zoller (Universität Basel)

Schon H. Fischer[1] schreibt, dass man dem umfassenden Streben Konrad Gessners nicht gerecht wird, wenn man ihn, wie gewöhnlich, als Polyhistor bezeichnet. An gleicher Stelle wirft H. Fischer die Frage auf, ob es nicht so gewesen sei, dass Konrad Gessner das geistige Inventar der Menschheit in seiner Bibliotheca universalis, soweit es ihm zugänglich war, seinen Zeitgenossen zeigen und diesem Reich des Geistes dasjenige der Natur in eigenen grossen Werken gegenüberstellen wollte.

Die Kommentare zu der im Urs Graf-Verlag erscheinenden Faksimile-Ausgabe[2] von Konrad Gessners Pflanzenzeichnungen geben dem Verfasser der vorliegenden Studie zusammen mit Martin Steinmann (Universitätsbibliothek Basel) und Karl Schmid (Kunstgewerbeschule Zürich) seit mehreren Jahren immer wieder Gelegenheit, dem Hauptanliegen von Konrad Gessners Schaffen nachzuspüren. Auf einer grossen Zahl der nie veröffentlichten Originale finden wir genau das verwirklicht, was H. Fischer mit den oben wiedergegebenen Sätzen angedeutet hat: in den zahllosen, oft umfangreichen Notizen ein mehr oder weniger vollständiges geistiges Inventar, den bibliographischen Bezug zur Tradition und zu den älteren Autoren; in der Wiedergabe der Pflanzen selbst den oft sieghaften Durchbruch des geduldigen, liebevollen Beobachters zur sichtbar werdenden Gestalt in der vorgegebenen Natur.

Das Streben Konrad Gessners nach möglichster Naturtreue wurde bisher in erster Linie naturwissenschaftlich verstanden und im Sinne der botanischen Systematik oder Pflanzenmorphologie gedeutet. Eine ausserordentliche künstlerische Begabung hat niemand bei dem Universalgelehrten vermutet, obwohl schon Caspar Wolf dem zeichnerischen Talent Konrad Gessners höchstes Lob gezollt hat: In seiner Ankündigung des Pflanzenbuches, die Caspar Wolf am 14. März 1566 verfasst hat, steht zu lesen, dass Konrad Gessner etwa 150 Pflanzendarstellungen mit solcher Kunst und derartigem Fleiss ausgeführt hat, dass von seinen Bildern zu Recht gilt, was Plinius von

dem berühmten Zeuxis berichtet, der Trauben so genial wiedergab, dass die Vögel sich täuschen liessen und darauf zuflogen, als ob sie echt wären. Dass Konrad Gessners hervorragende zeichnerische Fähigkeiten bald vergessen wurden, kann nicht erstaunen, da die wenigen im Valerius Cordus[3] oder im Anhang zu J. Simmlers Vita Conradi Gesneri[4] und anderwärts veröffentlichten Holzschnitte trotz der damals hochentwickelten Technik nur wenig von der Differenziertheit der Zeichenmanier in der Historia Plantarum vermitteln.

In Unkenntnis der Originale, die in der Universitätsbibliothek Erlangen aufbewahrt werden, kommt deshalb A. Pfister[5] im zweiten Teil seiner Abhandlung über die Pflanze und das Buch zum Schluss: „Die Darstellung ist kühl, sachlich, sehr weit entfernt von dem genialen Schwung der Bilder im Werk der Väter der Botanik. Man kann feststellen, wie die Anfänge moderner Systematik zwar die botanische Bestimmung entschieden erleichtern, wie aber zu gleicher Zeit das Opfer künstlerischer Freiheit dafür entrichtet wird". Obwohl er die Originale gesehen hat, äussert sich auch C. Nissen[6] in seiner Botanischen Buchillustration nur ziemlich trocken über die Qualität der Darstellungen Konrad Gessners. Fast pedantisch charakterisiert er sie mit den folgenden Sätzen: „Die Vollzeichnungen sind vom botanischen Gesichtspunkte aus vorzüglich: Blattstellung, -form und -ansatz sind genau wiedergegeben. Blattrand und -rippung deutlich dargestellt. Bei den Stengeln ist darauf geachtet, ob sie rund oder kantig, behaart oder unbehaart sind. Und der Gesamthabitus ist gleichfalls oft mit bemerkenswerter Sicherheit getroffen."

Die Herausgeber des Faksimiles fragten sich jedoch je länger je mehr, ob nicht manche Darstellungen (vgl. die Abb. 1–4) weit mehr verraten als das, was ein Botaniker von einer wissenschaftlichen Zeichnung erwartet. Diejenigen, denen es vergönnt ist, in den beiden Erlanger Codices zu blättern, werden zum Beispiel beim Anblick der Berg-Flockenblume auf Blatt 43 verso (Tafel 13, Faksimile-Ausgabe, Dritte Folge) fasziniert verweilen und überrascht erkennen, dass zur routinemässigen Hauptdarstellung, die wahrscheinlich ein in Lohn genommener Maler in mühsamem Fleiss gearbeitet hat, ein wahrer Könner das wirkliche Wesen der bereits fertig gezeichneten Pflanze nachträglich festgehalten hat. Wir meinen deshalb, dass es kein zu grosses Lob sei, wenn wir von einer solchen „Verbesserung" behaupten, ihre Naturtreue, Ausdruckskraft und ihre über allen wissenschaftlichen Fortschritt erhabene Gültigkeit könnten nur mit den Pflanzendarstellungen der grössten Künstlerpersönlichkeiten jener Zeit verglichen werden, wie Leonardo da Vinci oder Albrecht Dürer. Hatte Caspar Wolf mit seinem schnellen, begeisterten Lob nicht doch recht? Lebte in Konrad Gessner nicht ein Künstler, dessen Begabung in den Pflanzenbildern zu einem eigenständigen Durchbruch gelangt ist und diejenige seiner angestellten Berufsmaler haushoch übertraf?

Eine Antwort auf diese Frage hat allerdings zur Voraussetzung, dass die Qualität von Gessners eigener Hand genau bekannt ist. Nun besteht aber seine Sammlung von Pflanzenzeichnungen aus etwa 500 Blättern sehr verschiedener Herkunft, die scheinbar ohne System in den beiden Erlanger Codices zusammengefügt sind. Immerhin dürfte die Reihenfolge noch einigermassen mit derjenigen zu Gessners Lebzeiten übereinstimmen, wie sich aus einer grösseren Zahl von eigenhändig geschriebenen Verweisen ergibt. In

diesem sehr heterogenen Material konnten wir bisher die folgenden Teile feststellen:

a) Darstellungen, die nach der Natur gezeichnet und z. T. koloriert sind, aber von anderen Botanikern stammen (z.B. Aldrovandi, Calceolari, Dalechamps, Kentmann u.a.).
b) Darstellungen von Pflanzen in Form mittelalterlicher stilisierter Schematas (Urheber bisher noch unbekannt).
c) Darstellungen der angestellten Maler, wobei als Urheber Josef Murer sicher festgestellt ist.
d) Briefliche Mitteilungen verschiedener Korrespondenten.
e) Wenige Tierzeichnungen, die vermutlich von Konrad Gessner stammen.
f) Verbesserungen, Teildarstellungen und ganze Bilder aus Konrad Gessners eigener Hand.

C. Nissen[6] erwähnt unter den Malern, die Gessner im Stundenlohn beschäftigt hat, wie z. B. aus der Bemerkung: „Zwei Stunden" auf Blatt 37 verso hervorgeht (Tafel 3 der Faksimile-Ausgabe, Dritte Folge), ausser Josef Murer den Basler Jakob Glauser, ferner Johann Thomann, Hans Asper und Jost Ammann, wobei allerdings deren Urheberschaft unsicher bleibt, zumal die meisten Zeichnungen nicht signiert sind. Möglicherweise hat auch David Kandel, der Illustrator vom Kräuterbuch des Tragus, einige im Pflanzenbuch Gessners befindliche Bilder ausgeführt. Ob das Zeichen „G", das man auf vielen Blättern bemerkt, sich wirklich auf Gessner bezieht, bleibt ebenfalls sehr ungewiss.

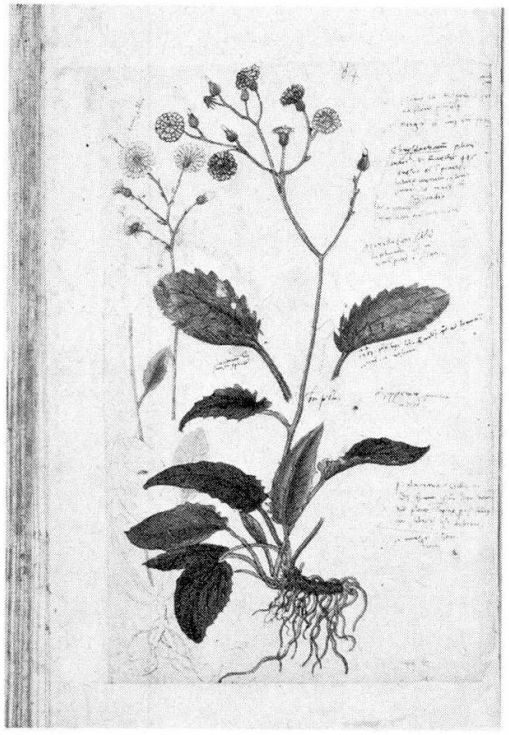


Abb. 1 *Conradi Gesneri Historia Plantarum,* Blatt 49 verso, Universitätsbibliothek Erlangen (Faksimilenausgabe, Dritte Folge, Tafel 24). Wald-Habichtskraut, *Hieracium murorum L. em. Hudson.*

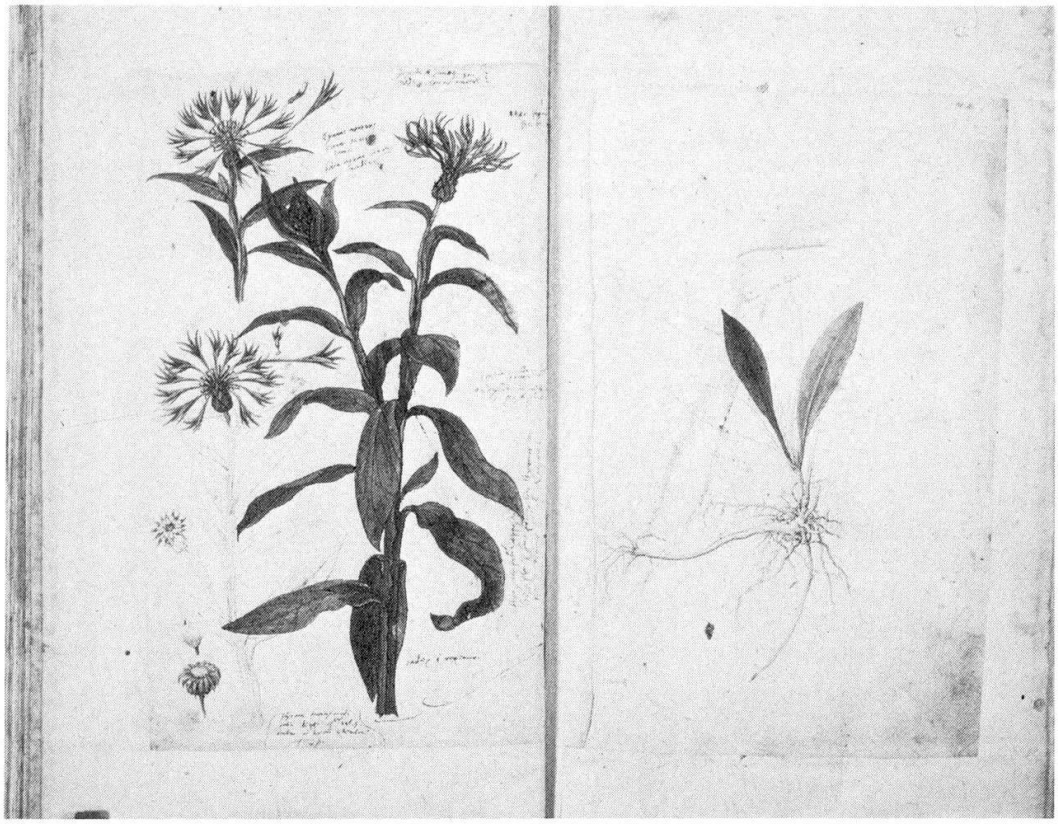


Abb. 2 *Conradi Gesneri Historia Plantarum,* Blatt 43 verso und 44 recto, Universitätsbibliothek Erlangen (Faksimileausgabe, Dritte Folge, Tafel 13 und Tafel 14). Berg-Flockenblume, *Centaurea montana L.*
Besonders kostbar erscheint die zarte Darstellung des weitkriechenden, langgliedrigen Wurzelstockes auf der rechten Bildhälfte mit dem bereits im Herbst mit einer Blattrosette austreibenden Erneuerungssprosses. Aus den Text-Notizen geht hervor, dass Caspar Wolf, dem Gessner seine Pflanzensammlung zur Veröffentlichung anvertraute, an einer solchen Fortsetzungsrosette Blätter gepflückt hat und sie zwischen den Seiten 43 verso und 44 recto gepresst hat. Die braunen Abdrucke sind auf dem Original deutlich erkennbar; ein Glück, dass sie nicht grösseren Schaden angerichtet haben.

Mit Recht hat aber schon C. Nissen[6] festgestellt, es gebe „Anmerkungen von Gessners eigener Hand, aus denen hervorgeht, dass er selbst die Zeichnungen verbessert oder um Teilzeichnungen bereichert hat". Auf dem letzten Blatt der dritten Folge unseres Faksimiles, auf Tafel 24 (Blatt 49 verso der Erlanger Codices), findet sich nun ein Zusatz aus Gessners eigener Hand, der uns als einwandfreier historischer Quellennachweis der Lösung der Frage nach Gessners künstlerischem Talent und nach den Merkmalen seines Zeichenstils um ein wesentliches Stück näherbringt (vgl. Abb. 1). Wiedergegeben ist eine bescheidene Pflanze, das Wald-Habichtskraut, in einer durchschnittlichen, braven Hauptdarstellung, die von keiner aussergewöhnlichen Fähigkeit zeugt. Sie zeigt eine grosse Ähnlichkeit mit dem von Josef Murer signierten Blatt 58 recto der Erlanger Codices und könnte sehr wohl von ihm stammen. Rechts und links davon finden sich aber zwei erfrischend lebendig kolorierte Blätter, die von Gessner eigenhändig mit den

Buchstaben a und b bezeichnet wurden und von denen er selber schreibt: „Diese Blätter habe ich 1563 gemalt, besser in bezug auf Form, Farbe und Behaarung."

Gegenüber der Hauptdarstellung fällt an diesen Einzelblättern sofort die wesentlich freiere und dynamischere Art des Zeichnens auf, ferner eine viel akkuratere Führung der Konturen, vor allem auch ein selbst in der Korrektur immer sehr bestimmter, sicherer und sensibel gespannter Strich sowie die transparente, feindifferenzierte Kolorierung. Betrachten wir Blatt a, so geht es beinahe nahtlos in die herrliche Seitenstudie am linken Rande über, in der eine Tiefenwirkung von einzigartiger Schönheit erreicht ist. Es gibt keine ernsthaften Argumente, die gegen die Annahme sprechen, diese herrliche Studie stamme aus der gleichen Hand wie die beiden von Gessner signierten Blätter. Man darf im Gegenteil mit grosser Sicherheit schliessen, dass Konrad Gessner auch der Urheber dieses äusserst differenzierten nachträglichen Zusatzes war, um so mehr als nicht nur die Zeichentechnik, sondern auch das Zeichenmaterial identisch ist.

Wenn wir nun die Darstellung des Wald-Habichtskrautes mit der Berg-Flockenblume (Abb. 2, Tafel 13 der Faksimile-Ausgabe, Dritte Folge; Blatt 43 verso der Erlanger Codices) vergleichen, so werden wir unschwer erkennen, dass zwischen den Zusätzen beim Wald-Habichtskraut (Abb. 1) und den Seitenzeichnungen bei der Berg-Flockenblume eine frappante Ähnlichkeit in Qualität und Technik besteht. Wir konstatieren die gleiche Sicherheit und Bestimmtheit des präzis empfindsamen Strichs, die gleiche Sorgfalt in der Kolorierung, die auch hier nur teilweise eingesetzt wurde, wodurch ganz die

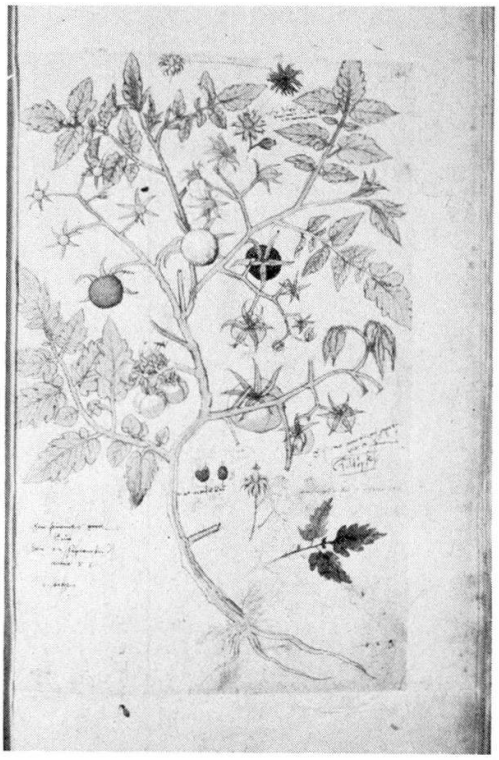


Abb. 3 *Conradi Gesneri Historia Plantarum,* Blatt 42 recto, Universitätsbibliothek Erlangen (Faksimileausgabe, Dritte Folge, Tafel 11). Tomate, *Solanum Lycopersicum L.*

entsprechende Tiefenwirkung erreicht ist. Zudem findet man die gleichen Detailstudien von Einzelblüten. Meistens sind solche endgültigen Zugaben mit einer grauen Tusche durchgeführt worden, während in vielen Hauptdarstellungen die bedeutend gröberen Konturen in Sepia oder in einer anderen Farbe erscheinen. Dass es sich bei diesen feingliedrigen, wunderbar klaren Darstellungen um Gessners persönliche Urheberschaft und Kunst handelt, wird auch dadurch belegt, dass manche eigenhändige Notizen mit der gleichen grauen Tusche geschrieben sind, so z.B. auf Blatt 42 recto (Tafel 11 der Faksimile-Ausgabe, Dritte Folge; vgl. Abb. 3). Dort findet sich auf der rechten Seite Gessners eigenhändig geschriebene Notiz: „Ein Stengel ingleit in gross bapir 134". Unmittelbar links davon beobachtet man eine grossartige Detailstudie eines eben abgeblühten Zweiges, die mit dem gleichen Material gezeichnet worden ist und den Durchschnitt des Hauptbildes einer Tomatenpflanze weit hinter sich lässt. Diese Detailstudie dürfte ohne Zweifel ebenfalls von Konrad Gessner stammen und zeigt die gleichen Vorzüge seines hervorragenden Zeichentalentes, wie sie beim Wald-Habichtskraut und bei der Berg-Flockenblume sichtbar werden: absolute Beherrschung und Einheitlichkeit des Strichs, feinste Differenziertheit und höchstes Einfühlungsvermögen in das Unaussprechliche des Habitus, auffallende Transparenz und unaufdringliche Abstufung der Maltechnik.

Der Verfasser und Karl Schmid haben nach den genannten Kriterien versucht, unabhängig voneinander den Anteil von Gessners Hand an den bisher als Faksimile veröffentlichten Pflanzenbildern der Historia Plantarum zu bestimmen. Zu ihrer grossen Genugtuung sind sie fast zum gleichen Resultat gekommen: an etwa zwei Dritteln der Abbildungen ist Konrad Gessner teilweise oder ganz beteiligt. Es scheint allerdings noch verfrüht, das Ergebnis bis in alle Einzelheiten genau festzulegen und bekanntzugeben, da noch manche Probleme auf eine Lösung warten. Eines dürfte aber mit grosser Wahrscheinlichkeit zutreffen, dass auch die noch nicht faksimilierten Blätter der beiden Erlanger Codices eine grössere Zahl einzigartiger Höhepunkte von Gessners Kunst der Pflanzendarstellung enthalten.

Nachdem es möglich geworden ist, anhand zeichnerischer und künstlerischer Merkmale Konrad Gessners Hand in zahlreichen Studien und Darstellungen nachzuweisen, stellen sich sofort weitere Fragen: vor allem, von wem Gessner in seinem Schaffen beeinflusst worden ist und welchen besonderen Aussagewert seinen Darstellungen eigen ist. Da die Pflanzenbilder Gessners später entstanden sind als die Illustrationen zu den Kräuterbüchern von Brunfels, Fuchs, Bock und Matthioli, so könnte man annehmen, dass er aus diesen Werken manche Anregung empfangen hat. Das mag sicher für das Prinzip einer konsequenten naturalistischen Abbildung zutreffen, wie sie zunächst von den „Vätern der Botanik" als Neuerung angestrebt worden ist.

Eine grössere Zahl von Pflanzenoriginalen, die als Vorlage zum Kräuterbuch von Brunfels dienten, ist uns im Herbarium von Felix Platter erhalten geblieben. Die in einer von W. Rytz[7] kommentierten Faksimile-Ausgabe vorliegenden Bilder stammen von Hans Weiditz und sind als solche im Gegensatz zu den Holzschnitten der gedruckten Kräuterbücher unmittelbar mit den kolorierten Studien in Konrad Gessners Historia Plantarum vergleichbar. Nun war Konrad Gessner nicht der erste, der seine Pflanzenbilder mit vergrössernden Teilzeichnungen bereichert hat, sondern vor ihm hatte Weiditz

das gleiche getan. Aus den Nachforschungen von W. Rytz[7,8] könnte man beinahe schliessen, dass die Weiditzschen Pflanzenaquarelle einmal in Gessners Besitz gewesen waren, wofür allerdings der endgültige Beweis noch zu erbringen wäre. Jedenfalls spricht vieles dafür, dass Gessner sie kannte, und so liegt die Annahme nahe, dass er diese Technik der Nebenbilder von Weiditz übernommen hat.

Gegen solche Vermutung steht allerdings der überraschende Befund, dass Gessner in seinen Notizen das Kräuterbuch von Brunfels höchstens ausnahmsweise zitiert. Auf den bisher faksimilierten Blättern fehlt überhaupt jeglicher Hinweis auf Brunfels, und gerade bei Pflanzen, die Weiditz bereits dargestellt hatte, vermisst man auch einen Hinweis auf dessen Pflanzenaquarelle, obwohl Gessner gewöhnlich alle möglichen Bildquellen und Texte erwähnt, so z.B. beim Weidenröschen (vgl. Abb. 4 und 5). Hinzu kommt, dass sein ikonographisches Unterfangen von einer ganz anderen Art

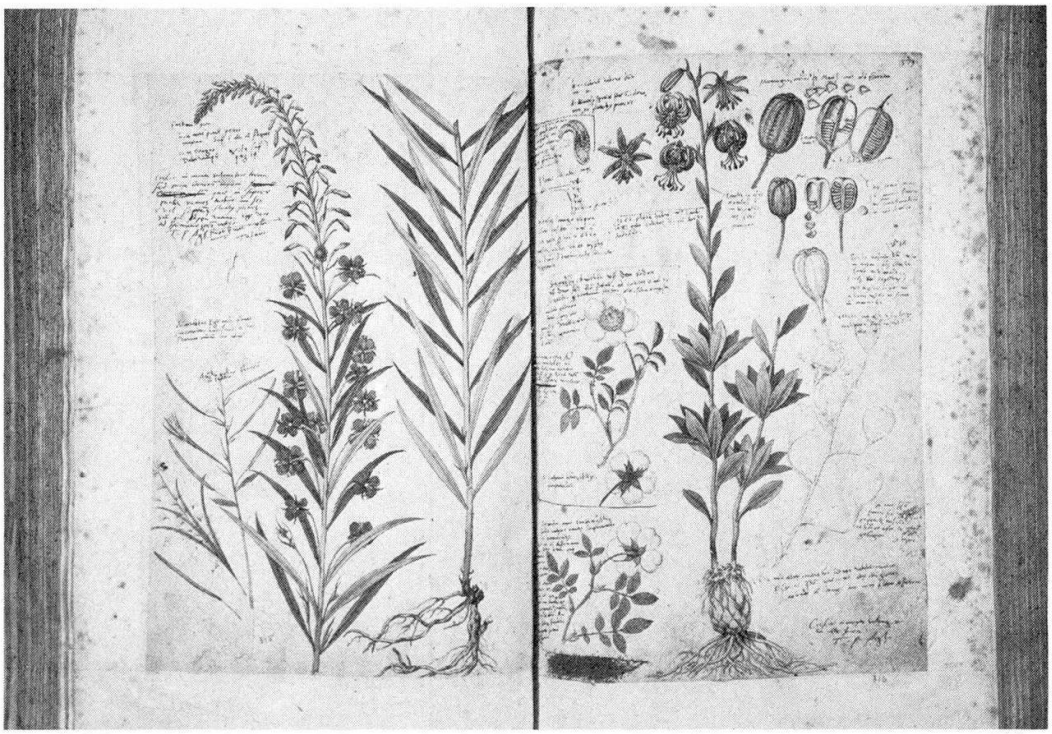


Abb. 4 *Conradi Gesneri Historia Plantarum,* Blatt 378 verso und Blatt 379 recto, Universitätsbibliothek Erlangen. Schmalblättriges Weidenröschen *(Epilobium angustifolium L.,* links) und Türkenbund *(Lilium Martagon L.,* rechts, zusätzlich einige Rosenzweige).
Sowohl für den Türkenbund wie für das Weidenröschen finden sich bei Gessner Detailstudien, die gegenüber dem Hauptbild einen weiteren, wesentlichen Aufschluss über die dargestellte Pflanzenart geben. Gerade diese Detailstudien zeichnen sich durch eine besondere künstlerische Qualität aus und stammen nach den genannten Kriterien von Gessner. Gegenüber den natürlich bewegten Blättern, die dem Stengel des Weidenröschens von Weiditz entspriessen, muten die Blätter der gleichen Art in Gessners Pflanzenbuch geradezu als Fleissübung an. Sie dürften von einem der angestellten Maler stammen. Wie sehr heben sich davon die Epilobium- und Türkenbund-Früchte ab, in denen eine hervorragende wissenschaftliche Beobachtungsfähigkeit mit einer ungewöhnlichen künstlerischen Darstellungsgabe gepaart ist.

war als die Bestrebungen von Brunfels. Wie Bock und Matthioli liess Brunfels dem Künstler völlige Freiheit. So entstanden durch Weiditz lebendige, von jeglicher botanischer Morphologie unbelastete, individuelle Pflanzenbilder, die in sich abgeschlossen sind. Das vergrössernde Nebenbild fügt sich bei Weiditz nur formal bereichernd in das Gesamtbild ein, bringt aber gestaltlich keine vertiefende naturwissenschaftliche Information. Dazu hatte Weiditz als Künstler von Brunfels auch keine Anregung erhalten.

Die Pflanzenstudien, die aus Konrad Gessners Hand stammen, verraten einen grundsätzlich anderen Arbeitsprozess, aber auch eine grundsätzlich andere Situation. Stand Hans Weiditz unter dem Zwang, graphisch brauchbare, d. h. fertige Vorlagen für die Holzschnitte zu liefern, so kümmerte sich Gessner bei seinen Beobachtungen zunächst nicht um die praktischen Probleme der Reproduktion. Bei seiner verfeinerten, sich im Hintergrund hauchdünn verlierenden Zeichenmanier geht es ausschliesslich um die skizzenhafte Wiedergabe wesentlicher Sachverhalte der Pflanzengestalt. So gibt es bei Gessner keine Detailstudien, die nicht einen vollständigeren morphologischen Aufschluss über eine Pflanzenart geben als das Hauptbild (vgl. Abb. 4 und 5). Deshalb kann von einem unmittelbaren Einfluss der Weiditzschen Aquarelle auf das Schaffen Gessners nicht die Rede sein.

Noch in anderer Hinsicht unterscheidet sich Gessner als wissenschaftlicher Botaniker vom reinen Künstler Weiditz. Aus den Veröffentlichungen von W. Rytz [7,8] scheint hervorzugehen, dass für Hans Weiditz die Arbeit als Pflanzenillustrator jeweils vollendet war, wenn er von einer bestimmten Art das Individuum, das ihm vorlag, in möglichst grosser Naturtreue wiedergegeben hatte. Die Pflanzenaquarelle von Hans Weiditz sind liebevolle Schilderungen von Einzelindividuen, völlig unvoreingenommen, frei von der Auswahl möglichst typischer Exemplare, frei von den Problemen des entwicklungsgeschichtlichen Gestaltwandels. Ihr Vorzug mag in der Kombination von unmittelbarer Ursprünglichkeit mit möglichster Beobachtungstreue liegen. Ähnlich wie bei Dürers Pflanzenbildern handelt es sich um reine Kunst, mit dem Ziel der naturtreuen Wiedergabe auch das Unsagbare aus dem unverwechselbaren Habitus natürlicher organischer Gestalt „herauszureissen".

Demgegenüber legen die beiden Erlanger Codices ein beredtes Zeugnis davon ab, wie Gessner laufend bemüht war, sich besseres und vollständigeres Material zu verschaffen, und nicht eher ruhte, bis er den ganzen Gestaltwandel von der Blüte bis zur Frucht und bis zur vegetativen Fortpflanzung erkannt hatte. Von dieser wissenschaftlich forschenden Methodik zeugt vor allem die Tatsache, dass sich Gessner mit einer bestimmten Art noch jahrelang nach der Veröffentlichung des betreffenden Holzschnittes beobachtend und zeichnend beschäftigt hat, wobei im Fall des schmalblättrigen Weidenröschens, das auch von Weiditz dargestellt worden ist, besonders schön zu verfolgen ist, wie sich im Laufe der Zeit bei Gessner die volle Erkenntnis aus Bruchstücken stufenweise ergeben hat (man vgl. hiezu: W. Rytz[7], Tafel II, rechte Hälfte; ferner Faksimile-Ausgabe zur Historia Plantarum, Erste Folge, Tafel 19 und Tafel 26 sowie S. 90, Abb. 3; Blatt 14 recto, 18 recto und 378 der Erlanger Codices und Abb. 4 und 5). Vom schmalblättrigen Weidenröschen befinden sich in Gessners Pflanzenbuch nicht weniger als drei Darstellungen, wovon die auf Blatt 14 recto als älteste nur einen Seitenzweig eines Blütenstandes zeigt, wie er sich im Herbst öfters noch entwickelt.

Diese Zeichnung diente als Vorlage zu einem im Valerius Cordus[3] auf Blatt 215 verso im Jahre 1561 veröffentlichten Holzschnitt. Erst nachher, wahrscheinlich zwei Jahre später, hatte Konrad Gessner seine Beobachtungen am schmalblättrigen Weidenröschen beendigt, als er in seiner feingliedrigen

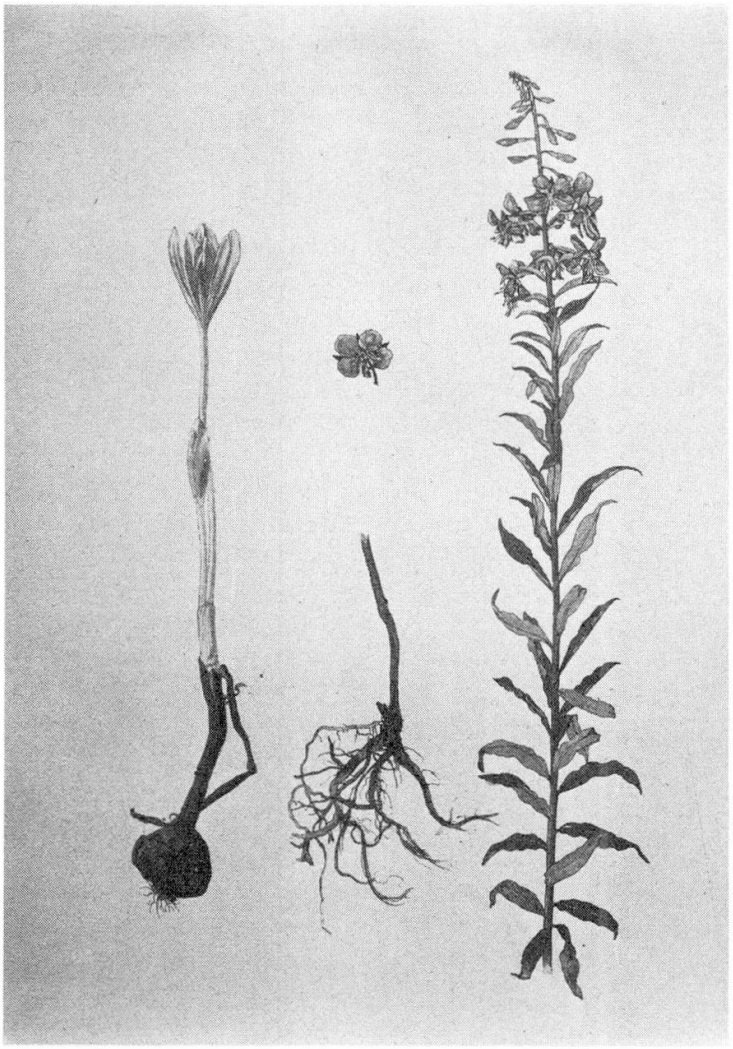


Abb. 5 Hans Weiditz, Schmalblättriges Weidenröschen *(Epilobium angustifolium L.)* und Herbstzeitlose *(Colchicum autumnale L.)*. Aquarell aus dem *Herbarium* Felix Platter, Lib. II. und Lib. VII., Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern. Kopie einer Faksimile-Reproduktion (Tafel II) in W. Rytz, Die Pflanzenaquarelle des Hans Weiditz aus dem Jahre 1529. Bern 1936.
Man beachte, dass die Zusammenstellung von *Colchicum autumnale* und *Epilobium angustifolium* nicht den Intentionen des Künstlers entsprang, sondern dass im Faksimile die beiden Abbildungen willkürlich auf einer Tafel vereinigt wurden. Beide Darstellungen sind in sich abgeschlossen, während Gessner sehr oft zu einer schon bestehenden Darstellung artfremde Zusätze hinzufügte (vgl. hierzu die Rosenzweige neben der Darstellung des Türkenbundes auf Tafel 5). Wurzel und Sprossbasis bilden keine eigentliche Einzelfigur im Sinne einer Detailstudie, sondern wurden abgeschnitten und aus Platzgründen getrennt dargestellt.

Manier auf Blatt 378 festgehalten hatte, wie sich die Früchte zuletzt öffnen und die behaarten Samen vom Winde fortgetragen werden (Abb. 4). Auch diese typische Zusatzstudie zeigt alle Vorzüge der zartbeschwingten, sich in einer entfernten Ebene abspielenden Wiedergabe durch Konrad Gessner.

In dem Bestreben, möglichst gut entwickelte Exemplare darzustellen, und mit dem Ziel, in der Abbildung die vollkommene Lebensgeschichte einer Pflanzenart festzuhalten, erinnert Konrad Gessner vor allem an Fuchs. Da uns aber die Originale zum Kräuterbuch von Fuchs nicht erhalten geblieben sind, so ist ein unmittelbarer Vergleich leider nur schwer durchführbar. Eines ist gewiss, dass Gessner in der Darstellung des ontogenetischen Gestaltwandels die Abbildungen im Kräuterbuch von Fuchs bei weitem übertrifft, namentlich was auch das konsequente Erkennen wesentlicher Merkmale der Blüten im Zustand der Frucht- und Samenreife anbelangt. So hat Gessner die wichtigsten Fruchttypen der mitteleuropäischen Pflanzen bereits völlig richtig erfasst und auch mehrfach dargestellt und stets mit den richtigen Pflanzen in Verbindung gebracht. Er stand zweifellos kurz vor dem Abschluss einer Einteilung der Pflanzen nach Entwicklung, Gestalt und Öffnung der Früchte, eines Systems, das er durch intensive morphologische Beobachtung empirisch gewonnen hatte. Dieser strengen empirischen Beobachtung ist ein grosser Teil seiner Detailstudien gewidmet. Gut zwei Jahrhunderte, bevor Goethe den Begriff der Morphologie als allgemeiner Gestaltlehre geprägt hat, wurde von Gessner eine bereits hochdifferenzierte morphologische Methodik angewendet, wovon in der ganzen Historia Plantarum grossartige Spuren übriggeblieben sind. B. Milt[9] hat deshalb nicht ganz zu Unrecht in Konrad Gessner den ersten Pflanzenmorphologen gesehen. Was ihm dazu fehlte, waren die notwendigen Begriffe, das semantische Vokabular. Das hat ihn aber nicht gehindert, manche unklaren Fälle, die durch die traditionelle Bindung an die Literatur des klassischen Altertums entstanden waren, aufgrund der Blüten- und Fruchtmerkmale an den richtigen Platz im Sinn der modernen, nachlinnéschen Systematik zu stellen. Wie weit Gessner den einflussreichsten Botanikern jener Zeit voraus gewesen ist, ermisst jeder, der die klaren, noch heute gültigen Erkenntnisse, die in den Abbildungen der Historia Plantarum festgehalten sind, mit dem rein philosophischen Fruchtsystem von Caesalpin vergleicht, aber auch mit den Werken von Caspar Bauhin, in denen von einer morphologischen Forschung überhaupt nicht die Rede sein kann, auch wenn die ganze Fracht medizinischer Belange darin abgeworfen erscheint.

Man würde aber dem Schaffen Konrad Gessners nicht gerecht, wenn man in seinen Detailzeichnungen nur die kühle, sachliche Arbeit des Wissenschafters erkennen könnte. Schon die Art und Weise, wie seine Detailstudien sich zum Hauptbild verhalten und in die Blätter eingefügt wurden, zwingen zu einer Beurteilung ihrer künstlerischen Qualität. Auf S. 45 bemerkt C. Nissen[6] in seiner Botanischen Buchillustration, dass Fuchs ausser seinem eigenen Bild auch das der daran beteiligten Künstler darin aufgenommen hat, und deutet diesen seltenen Fall bei einem wissenschaftlichen Werk als schönes Zeichen für den Geist, der bei seinem Zustandekommen geherrscht hat. Auch in seinem Verhältnis zu den Künstlern scheint Gessner eher an Fuchs zu erinnern als an Brunfels, Bock oder Matthioli. Jedenfalls hat er die Arbeiten, wie Fuchs, überwacht und korrigiert, wovon uns auf Blatt 58 recto der Erlanger Codices ein eindeutiger Hinweis erhalten

ist. Dargestellt ist dort ein Exemplar des Lungenkrautes; die Zeichnung ist von Josef Murer signiert. Bei einem der Lungenkrautblätter läuft der Rand gegen die Basis nicht herzförmig in den Stiel zusammen, sondern die Spreite verschmälert sich fehlerhaft allmählich nach unten, was Gessner zu einer kritischen Notiz veranlasst hat. Er war offenbar von dieser Darstellung so wenig befriedigt, dass er neben einer Federskizze noch ein zweites erheblich verbessertes Bild des Lungenkrautes anfertigte, auf dem auch die vier Teilfrüchte, die sogenannten Klausen, erscheinen und das nach den obengenannten Merkmalen der Zeichentechnik zu einem grossen Teil von ihm selber stammen dürfte. Gessners Absicht, eine Pflanzenart wissenschaftlich möglichst genau wiederzugeben und die Darstellung nötigenfalls mehrfach zu korrigieren und zu verbessern, hat aber, wie gerade dieses lebendige Bild zeigt, nicht zu einem abstrakten typologischen Schematismus geführt, sondern im Gegenteil die unmittelbare Wirklichkeitsnähe und individuelle Lebendigkeit erhöht. An keinem der Bilder, die aus Gessners Werkstatt oder aus seiner eigenen Hand stammen, konnten wir bisher erkennen, dass der besseren botanischen Bestimmbarkeit wegen Blätter, Blüten oder Wurzeln anders gestellt worden wären als bei der lebendigen Pflanze. In dieser Hinsicht unterscheidet sich Gessner ganz deutlich von Fuchs, bei dem die botanischen Vorurteile selbst zu Fehlern geführt haben (vgl. hiezu W. Rytz [7,8]).

Vor allem aber setzt es den Betrachter der Historia Plantarum Gessners immer wieder in Erstaunen, mit welchem Takt die verbessernden und ergänzenden Zusätze in das ganze Bild eingefügt worden sind. Hier zeigt sich Gessners grosse Achtung vor der handwerklichen Arbeit des Malers, die er immer peinlich respektiert hat. Auch aus den unvollkommenen Schwarz-Weiss-Reproduktionen dürfte zu erkennen sein, dass diese Zusätze stets so angelegt sind, dass sie niemals das Hauptbild überlagern. Es ist im Gegenteil fast ausnahmslos so, dass Linien und Kolorierung der Nebenbilder überall dort in sorgfältigster Weise unterbrochen sind, wo sie das Hauptbild berühren. In reizvoller Weise werden diese Detailstudien vom Hauptbild im Vordergrund überschnitten, obwohl vieles dafür spricht, dass diese Einzelheiten als Zugaben erst später hinzukamen. Dadurch entsteht der Eindruck, es handle sich bei zahlreichen Blättern der Historia Plantarum um ein „Teamwork" zwischen dem beauftragten, bezahlten Berufsmaler, der mit Fleiss die Hauptdarstellungen ausführte, und Konrad Gessner selber, dem scharf beobachtenden Botaniker und grossen Könner im Umgang mit Stift und Pinsel. Die menschlich vornehme Zurückhaltung, mit der sich diese weisen, von frommem Respekt erfüllten Studien dem Ganzen unterzuordnen scheinen, ist einmalig und aus rein wissenschaftlichen Intentionen nicht zu verstehen. Da sie immer regelmässig wiederkehrt, so muss sie als wesentliches Merkmal in Konrad Gessners Schaffen bewertet werden. Ob bewusst oder unbewusst gesetzt, entsteht aus Gessners souverän, aber fast scheu hingeworfenen Detailstudien ein eigentümlich packendes Spannungsfeld, das von der diesseitigen Hauptdarstellung ins Hintergründige führt, bis hin zum geistigen Wesen, das unausgesprochen in der vordergründigen Gestalt verborgen bleibt. So wird auf den Blättern von Konrad Gessners Historia Plantarum oft das unscheinbare Nebenbild zum wissenschaftlich umfassenden und künstlerisch ergreifenden Hauptbild der Darstellung. Aus den Detailzeichnungen Konrad Gessners spricht eine ungewöhnliche künstlerische Sensibilität und ein geniales Gestaltungs- und Charakterisierungsvermögen. Gerade aus ihnen wird deutlich er-

kennbar, um wieviel die Gessnersche Darstellungskunst die Fähigkeiten von Hans Weiditz übertrifft, dessen Studien bei aller Schönheit im handwerklichen Können befangen bleiben.

In den Kommentaren zu unserer Faksimile-Ausgabe hat Karl Schmid mit Recht mehrfach auf die Ähnlichkeit von Gessners Detailstudien mit den Zeichnungen von Leonardo da Vinci hingewiesen. Es ist auch schon erwähnt worden, dass Leonardo als erster bei der Darstellung von Naturgegenständen die Möglichkeit von vergrössernden Nebenbildern verwendet hat, so auch von A. Pfister[5] im zweiten Band seiner Abhandlung über die Pflanze und das Buch. Von solchen Detailstudien gibt es unter Leonardos Pflanzenbildern gute Beispiele, so eine Federzeichnung über Vorzeichnung in roter Kreide (Schloss Windsor, Königliche Bibliothek Nr. 12424) aus dem Jahre 1506, wo besonders die Honigdrüsen einer Wolfsmilchart 50–60 Jahre vor Gessner ausgezeichnet abgebildet worden sind (vgl. Abb. 6). Wenn man feststellt, dass auch Leonardo das Nebenbild dazu benützt hat, um daraus eine zusätzliche Information zur Wiedergabe des Gesamthabitus zu gewinnen, so wird durch eine solche Ähnlichkeit die Frage aufgeworfen, ob Gessner in seinem Abbildungsverfahren nicht von Italien her beeinflusst worden sei. Bei seinem regen Verkehr mit Aldrovandi und Calceolari wäre das nicht ausgeschlossen. Freilich zeigen – soweit unsere Nachforschungen an der Historia Plantarum reichen – bisher keine Bilder aus Italien eine Zeichen- und Maltechnik, aus denen man auf einen solchen Einfluss schliessen könnte.

Auch wenn somit diese Frage durchaus offenbleibt, so erinnern Gessners Pflanzenbilder auch in anderer Hinsicht an Leonardo. Auf manchen Bildern von Leonardo – so auch auf dem obengenannten – sind mehrere Gewächse lose miteinander zu einem Ganzen vereinigt, was in der Historia Plantarum Gessners nicht selten wiederkehrt, sonst aber bei Pflanzenillustrationen kaum bekannt ist. Die Übereinstimmung mag durchaus zufällig sein. Sie dürfte bei Gessner damit zusammenhängen, dass er sich noch mitten in den Vorarbeiten befand und die in seinem „Arbeitsbuch" befindlichen Bilder nicht alle als endgültige, unmittelbare Vorlagen zu Holzschnitten gedacht waren.

Überraschend ist aber auch die Ähnlichkeit der studienhaften Zeichenmanier, mit der Leonardo die Umrisse im Hintergrund sich in zarten Andeutungen wunderbar verlieren lässt. Diese Technik des Andeutens und Auslassens, mit der auf feinste, schwebend leichte Art eine grosse Bildtiefe gewonnen werden kann, war eines der wesentlichen Ausdrucksmittel der naturalistischen Darstellungsskizze in der Renaissance. Man findet sie auf den verschiedensten Zeichenblättern grosser Maler. Konrad Gessner brachte es darin jedenfalls zu ganz hervorragender Meisterschaft.

Die Gestaltzusammenhänge auf den Gesamtdarstellungen und Teilzeichnungen Konrad Gessners sind mit unmissverständlicher Präzision, aber auch mit einer höchst sensiblen Zurückhaltung dargestellt. Man wird ihnen deshalb mit der Bezeichnung Nebenbilder nicht gerecht. Gessners morphologische Skizzen sind keinesfalls Nebenbilder im Sinne einer rein wissenschaftlichen Analyse, die a priori Gefahr läuft, die Ganzheit aufzuspalten. Im Gegenteil, durch Konrad Gessners morphologische Analyse wird erst die unsagbare Innerlichkeit organischer Gestalten über das Beobachtbare hinaus

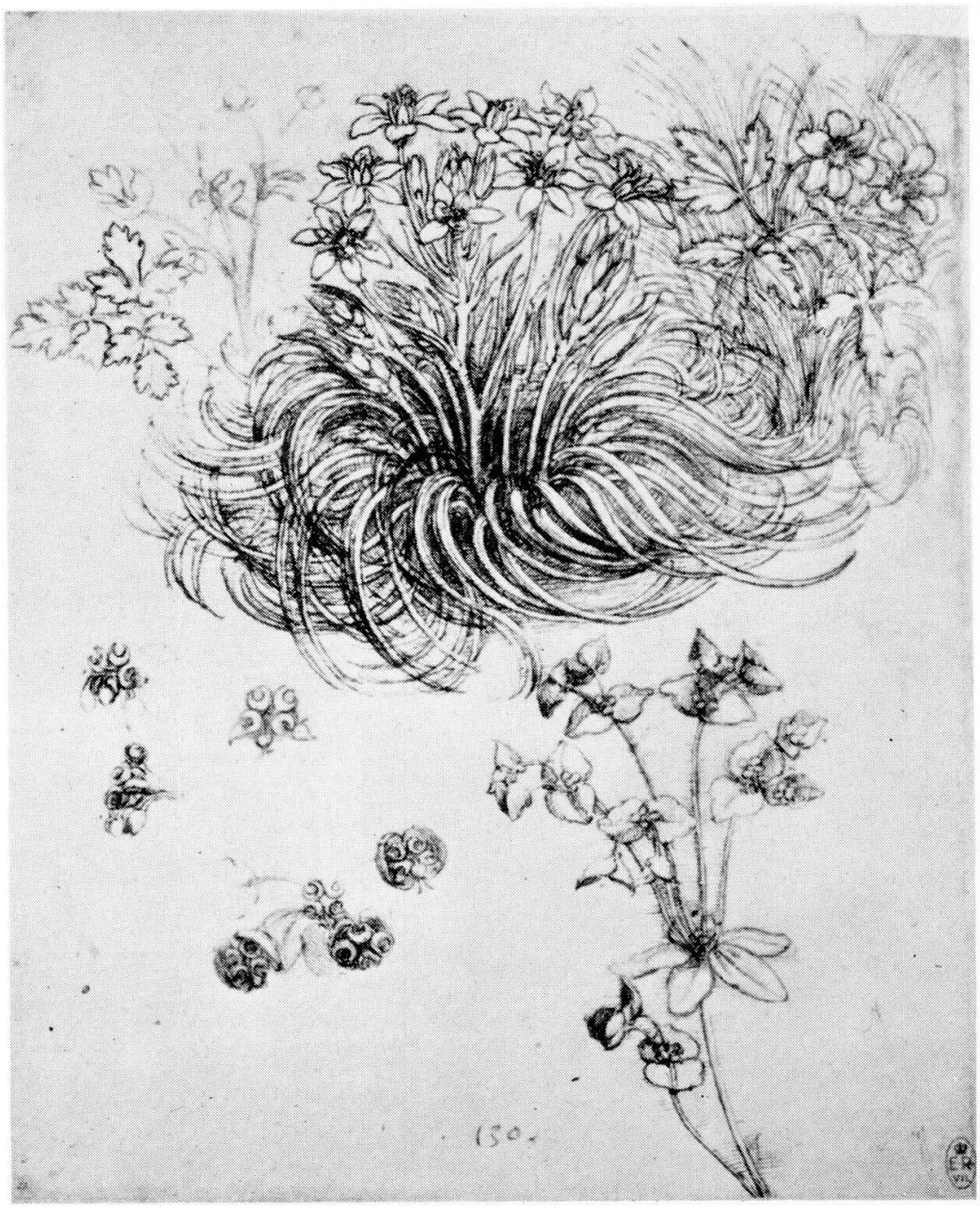


Abb. 6 Leonardo da Vinci, Vogelmilch *(Ornithogalum)*, Anemone, Wolfsmilch *(Euphorbia)*. Federzeichnung über Vorzeichnung in roter Kreide um 1506. Schloss Windsor, Königliche Bibliothek, Nr. 12424. Kopie nach einer Reproduktion in: Ludwig Goldscheider, Leonardo da Vinci – Landschaften und Pflanzen, Phaidon-Verlag, London 1952.
Wie später bei Gessner enthalten schon bei Leonardo manche Detailstudien eine zusätzliche morphologische Information. So werden auf den fünf vergrössernden Teilbildern der unteren linken Bildhälfte die für manche Wolfsmilch-Arten typischen halbmondförmigen Honigdrüsen deutlich erkennbar, die auf dem Habitusbild auf der rechten Seite nur angedeutet sind. Durch eine verschieden intensive Zeichentechnik wird eine starke Tiefenwirkung gewonnen, die auch auf den Pflanzenblättern der Erlanger Codices wiederkehrt, soweit daran Gessners eigene Hand nachweisbar ist.

deutlich und als Ganzheit transparent. Es durchdringen sich in Gessners Pflanzenbildern ungewöhnliche Wahrheitsliebe, die ihn als oberstes Gebot zu noch heute gültigen botanischen Erkenntnissen geführt hat, mit gehaltener Erlebnisfähigkeit, die ihn auch das Unerforschbare respektvoll ausdrücken liess. Insofern bilden Gessners Pflanzenblätter eine kaum wieder erreichte Synthese von Wissenschaft und Kunst.

Literatur

1 Fischer, H.: Conrad Gessner, in: Conrad Gessner, 1516–1565, Universalgelehrter, Naturforscher, Arzt. Zürich 1967.
2 Zoller, H., Steinmann, M. und Schmid, K.: *Conradi Gesneri Historia Plantarum.* Faksimileausgabe der Pflanzen-Aquarelle aus dem botanischen Nachlass von Conrad Gessner (1516–1565) in der Universitätsbibliothek Erlangen, erste bis dritte Folge, Dietikon-Zürich 1972, 1973, 1974.
3 Valerius Cordus: *Valerii Cordi Simesusii annotationes in Pedacij Dioscoridis Anazarbei de Medica materia libros V.* Strassburg 1561.
4 Simmler, J.: *Vita Conradi Gesneri,* Zürich 1566, dort vor allem Caspar Wolf: *De Conradi Gesneri stirpium historia ad Joan. Cratonem pollicitatio.*
5 Pfister, A.: Die Pflanze und das Buch, zweiter Teil: Aufstieg und Ausklang des Pflanzenbildes im Buchholzschnitt medizinisch-botanischer Werke des 16. und 17. Jahrhunderts. Librarium, Zeitschr. Schweiz. Bibliophil. Ges. 8,3, 1965.
6 Nissen, C.: Die botanische Buchillustration. Stuttgart 1966.
7 Rytz, W.: Die Pflanzenaquarelle des Hans Weiditz aus dem Jahre 1529, Bern 1936.
8 Rytz, W.: Das Herbarium Felix Platters. Ein Beitrag zur Geschichte der Botanik des XVI. Jahrhunderts. Verh. Naturf. Ges. Basel, 44, 1, 1933.
9 Milt, B.: Conrad Gessner's *Historia Plantarum* (Fragmenta relicta). Vierteljahrsschrift Naturf. Ges. Zürich 81, 1936.
10 Goldscheider, L.: Leonardo da Vinci, Landschaften und Pflanzen. London 1952.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. H. Zoller, Botanisches Institut der Universität, Schönbeinstrasse 6, 4056 Basel

Leere Seite
Blank page
Page vide

Leere Seite
Blank page
Page vide

D. Symposia

1. Schweizerische Gesellschaft für Anthropologie
Société Suisse d'Anthropologie
Società Svizzera di Antropologia

Recherches anthropologiques sur la biologie de la population suisse

M.-R. Sauter (Département d'Anthropologie, Université de Genève)

La Société Suisse d'Anthropologie a de nouveau remplacé sa réunion scientifique annuelle par un colloque. Organisé par M. W. Scheffrahn, de l'Anthropologisches Institut der Universität Zürich, il était consacré aux "recherches anthropologiques sur la biologie de la population suisse – Anthropologische Untersuchungen über die Biologie der schweizerischen Bevölkerung". Il n'était évidemment pas question de prétendre fournir une synthèse des problèmes, mais plus modestement de donner un aperçu de certains aspects de la démographie, de la géographie humaine, de l'anthropologie physique et de la sérologie de la population de la Suisse.

Après une introduction historique où le professeur M.-R. Sauter a rappelé "les principaux courants migratoires en Suisse à partir du haut moyen âge" et un exposé de M. J.-E. Neury sur "l'évolution démographique de la population suisse", trois communications montrèrent les résultats d'enquêtes où se combinent la démographie et l'anthropologie: MM.H. Leuzinger et D. Wegmann, "Anthropogeographische Untersuchung der Schweiz, Graubünden". – F. Forest, "Corrélations entre la sociodémographie et la variabilité phénotypique: quelques exemples Suisse N.E.".

Après que M.V.-P. Chopra ait rappelé les principales méthodes de la statistique utiles aux anthropologistes, c'est à plusieurs de ceux-ci qu'il appartenait de donner une idée de la diversité des directions de recherches:

Professeur J.A. Baumann. Application de la biométrie à l'anthropologie médicale.

M.-J. Schlegel et V. Weilenmann-Grieshaber. Isolatuntersuchungen im Unterengadin (Kt. Graubünden).

H. Kaufmann. Quelques problèmes posés par la croissance en Suisse.

J. Buchberger. Anthropometrische Charakteristik heranwachsender alpiner und städtischer Kinder im Kanton Bern.

P.-A. Gloor. Répartition géographique des caractères de pigmentation.

W. Scheffrahn. Metrische und morphologische Merkmale der schweizerischen Bevölkerung.

Le colloque s'est achevé d'une part sur un exposé de sérologie par le Dr. R. Pflugshaupt: Genetische Polymorphismen des Blutes: Aussagemöglichkeiten und Genfrequenzen, et d'autre part sur une conclusion de W. Scheffrahn.

La plus grande partie des communications ont été publiées, grâce à une subvention du comité de la Société helvétique des sciences naturelles, dans le premier fascicule des Archives suisses d'Anthropologie générale (40, 1976), fascicule qui est l'organe de la Société suisse d'Anthropologie[1].

Il est résulté de ce colloque la constatation de la nécessité de développer les recherches anthropologiques en Suisse, pour tenter de suivre l'évolution de nos populations en fonction des facteurs multiples de transformation qui la travaillent. La vaste enquête d'O. Schlaginhaufen, dont rendent compte les deux doubles volumes d'Anthropologia Helvetica (1946 et 1959), date de 1927–1932. Elle devrait être refaite, en dépassant le cadre de seuls conscrits, pour s'intéresser aux différents composants de la population, et faire appel à la collaboration de médecins, de sérologistes, de sociologues et de démographes, au minimum. Il y aurait là matière à un programme national de recherche, puisque les résultats, mobilisant pour leur élaboration de gros moyens en informatique, pourraient avoir une utilité certaine dans de nombreux secteurs de la vie de la population suisse, ne serait-ce que dans le domaine de la santé publique.

1 Colloque de la Société Suisse d'Anthropologie, tenu lors de son assemblée à Aarau les 3 et 4 octobre 1975. Recherches anthropologiques sur la biologie de la population suisse – Anthropologische Untersuchungen über die Biologie der schweizerischen Bevölkerung. Archives suisses d'Anthropologie générale, Genève, 40, 1, 1976, pp. 1–127.– Ce même fascicule contient les compléments et corrections aux actes du colloque de 1974: Kolloquium: Der fossile Mensch im schweizerischen Paläolithikum. Actes de la Société helvétique des sciences naturelles, Partie scientifique. 154e assemblée annuelle à Neuchâtel 1974, Bâle (1975). Sektion für Anthropologie, pp. 37–55.

2. Schweizerische Botanische Gesellschaft und
Schweizerische Pflanzenphysiologische Gesellschaft
Société Botanique Suisse et
Société Suisse de Physiologie végétale
Società Botanica Svizzera e
Società Svizzera di Fisiologia vegetale.

Lumière et végétaux

P.A. Siegenthaler (Université de Neuchâtel): Introduction

L'organisation commune d'un symposium entre les Sociétés de Physiologie végétale et de Botanique est devenue, depuis quelques années, une habitude qui marque la volonté des deux sociétés de discuter de problèmes généraux qui intéressent et couvrent tous les aspects de la biologie végétale. Le thème abordé au symposium de 1975 a montré en effet qu'autant le physiologiste que le systématicien et l'écologiste pouvaient trouver un terrain de rencontre dans le domaine de l'action de la lumière sur les végétaux. La lumière est bien connue comme initiatrice de la photosynthèse mais elle intervient aussi dans d'autres phénomènes tout aussi importants, tels le photopériodisme, la photomorphogenèse et la production végétale. Ces questions ont été abordées sous leur aspect fondamental mais ont aussi été envisagées sous leur aspect pratique en rapport avec la production agricole.

1. Joseph Nösberger (ETH Zürich):
Licht und Stoffproduktion von Pflanzenbeständen

Die Stoffproduktion der Vegetationsdecke ist das Ergebnis komplexer Beziehungen zwischen dem genetisch bedingten Potential der Pflanzen und einer Fülle von Umweltfaktoren. Physikalische, chemische und biologische Einflussgrössen wirken auf das Wachstum des Wurzelsystems und des oberirdischen Vegetationskörpers ein. Von den vielen Faktoren kommt dem durch die Pflanze verwertbaren Spektralbereich der Globalstrahlung in der Photosynthese und Photomorphogenese eine fundamentale Bedeutung zu.

Von der gesamten einfallenden Strahlenenergie liegen durchschnittlich 50 Prozent im photosynthetisch wirksamen Bereich. Die vom Pflanzenbestand aufgefangene Strahlung wird grösstenteils absorbiert; nur kleine Anteile werden reflektiert und durch die Blätter gelassen. Mit dem Extinktionskoeffizienten (Gesetz von Beer-Lambert) kann die Stärke des Lichtfalls in einem Bestand annähernd beschrieben werden.

Für die Strahlungsmessungen in Pflanzenbeständen eignen sich stabförmige Solarimeter mit und ohne Filter oder Quantenfühler.

Bei günstigen Wachstumsbedingungen wird die Stoffproduktion eines Bestandes in der vegetativen Phase wesentlich durch den Strahlungseinfall,

die Blattfläche, die Bestandesstruktur und das Photosyntheseverhalten der einzelnen Blätter bestimmt.

Nach dem Auflaufen einer Saat ist die Stofferzeugung durch den Umfang der Blattfläche begrenzt. Mit dem Heranwachsen des Bestandes nimmt der Schattenwurf der Blätter zu; die Photosyntheserate pro Einheit Blattfläche fällt ab. Vermag das Blattwerk die Strahlung vollständig aufzufangen, so wird der Einfluss der Assimilationsfläche auf die Wachstumsrate von der Strahlungsintensität, der Pflanzenart und dem Aufbau des Bestandes mitbestimmt. Von ökologischer Bedeutung ist die Fähigkeit vieler Pflanzen, den Aufbau des Assimilationsapparates einem Schattenklima anzupassen.

Die Bestandesstruktur wird durch viele morphologische Parameter, insbesondere durch die vertikale Verteilung und den Neigungsgrad der Blätter, sowie durch die Zahl und Verzweigung der Sprossachsen beeinflusst. Die Bedeutung des Aufbaues eines Bestandes für die Wachstumsrate der ganzen Vegetationsdecke und einzelner Pflanzen wird anhand ausgewählter Beispiele diskutiert.

Der Einfluss der Strahlung auf die Nettoassimilationsrate kann durch die periodische Ermittlung der Trockensubstanzzunahme und der Veränderung der Blattfläche geschätzt werden. Direkte Messungen der Photosynthese erleichtern jedoch das Ergründen der Zusammenhänge. Die Frage, wieweit man von der an Einzelblättern bestimmten CO_2-Aufnahme auf die Stoffproduktion ganzer Bestände schliessen kann, wird aufgrund neuerer Versuchsergebnisse erörtert.

2. Peter Schürmann (Université de Neuchâtel)
Photosynthetic Metabolism and Ecology

Photosynthesis is practically the only source of chemical energy and organic carbon entering any terrestrial ecosystem. The efficiency and the capacity with which the constituent plants are able to carry out this process ultimately determine the potential productivity. It is therefore important to know all the different factors influencing the photosynthetic system. To evaluate the influence of the environment on the photosynthetic metabolism requires knowledge of the basic biochemical pathways of plant photosynthesis.

During the past three decades, tremendous progress has been made in uncovering the mechanism of photosynthesis. The main biochemical pathway for the incorporation of CO_2 into organic matter, as proposed by Benson and Calvin, has been elucidated in considerable detail. According to this pathway, also called the reductive pentose phosphate cycle, one molecule of CO_2 reacts in the chloroplast with the 5-carbon sugar phosphate ribulose 1,5-diphosphate (RuDP) to form two molecules of the 3-carbon compound 3-phosphoglyceric acid (C_3 plants). This key reaction is catalyzed by the enzyme RuDP carboxylase. The acceptor molecule for this reaction is regenerated through a series of enzymatic reactions with the gain of one molecule of organic carbon.

This reductive pentose phosphate cycle, which has been shown to operate in many higher plants and green algae, was thought to be the only quantitatively important way higher plants fix CO_2 and incorporate it into organic matter until 10 years ago, when it was reported that the first stable carbon compounds formed during photosynthesis by sugar cane leaves are 4-carbon dicarboxylic acids, malic and aspartic acid, rather than the 3-carbon 3-phosphoglyceric acid. This finding has been confirmed and extended to a number of other grasses and also dicotyledonous plants. In these plants (C_4 plants), CO_2 reacts first with the 3-carbon phospho(enol)pyruvic acid (PEP) to form the 4-carbon dicarboxylic acid oxaloacetate, which is rapidly reduced to malic acid or aminated to aspartic acid. This reaction is catalyzed by the enzyme PEP carboxylase. The regeneration of the acceptor, PEP, is continuous and driven by photochemically produced energy. The products, the 4-dicarboxylic acids, are not stored, but decarboxylated and the CO_2 refixed via the pentose phosphate cycle.

The CO_2 fixation step in the C_4-plants is similar to the one used by certain succulent plants exhibiting the crassulacean acid metabolism (CAM-plants). In these plants, CO_2 is taken up at nighttime via PEP-carboxylase and stored as malic acid. During the day, when the stomata of the CAM-plants are closed, CO_2 is released from malic acid and refixed via the reductive pentose phosphate cycle. Here the initial CO_2 fixation and the decarboxylation and refixation steps are separated in time.

The energy requirement for the fixation of one molecule CO_2 and its reduction to the level of carbohydrate in C_3 plants is 3 ATP and 2 $NADPH_2$, in C_4 plants 5 ATP and 2 $NADPH_2$ and in CAM-plants 6 ATP and 2 $NADPH_2$.

C_4 photosynthesis and capacity for CAM are relatively recent events in evolution. They can both be considered addenda to the reductive pentose phosphate cycle that have evolved under environmental pressure. Plants that exhibit C_4 pathway or CAM are generally found in habitats with high thermal loads and they are often dominant in areas where this is combined with drought. CAM plants tend to be restricted to habitats where there is a pronounced diurnal variation in temperature with cold nights. C_4 plants, some of which are very important crop plants like sugar cane, maize, sorghum, are the most efficient plants, with a very high net photosynthesis. Their unusally high productivity is combined with an unusally high optimum light intensity and optimum temperature, conditions under which C_3 plants are inhibited.

References

J.A. Berry, 1975, Adaptation of Photosynthetic Processes to Stress. Science 188: 644–650.

O.E. Björkman, 1973, Comparative Studies on Photosynthesis in Higher Plants. In Photophysiology, A. Giese, ed. (Academic Press, New York), vol. 8, p. 1–63.

O.E. Björkman and J.A. Berry, 1973, High Efficiency Photosynthesis. Sci. Amer. 229: no. 4 (Oct.): 81–93.

I. Zelitch, 1975, Improving the Efficiency of Photosynthesis. Science 188: 626–633.

C.C. Black, 1971, Ecological Implications of Dividing Plants into Groups with Distinct Photosynthetic Production Capacities. Advan. Ecol. Res. 7: 87–114.

3. Schweizerische Gesellschaft für Vererbungsforschung
Société Suisse de Génétique
Società Svizzera di Genetica

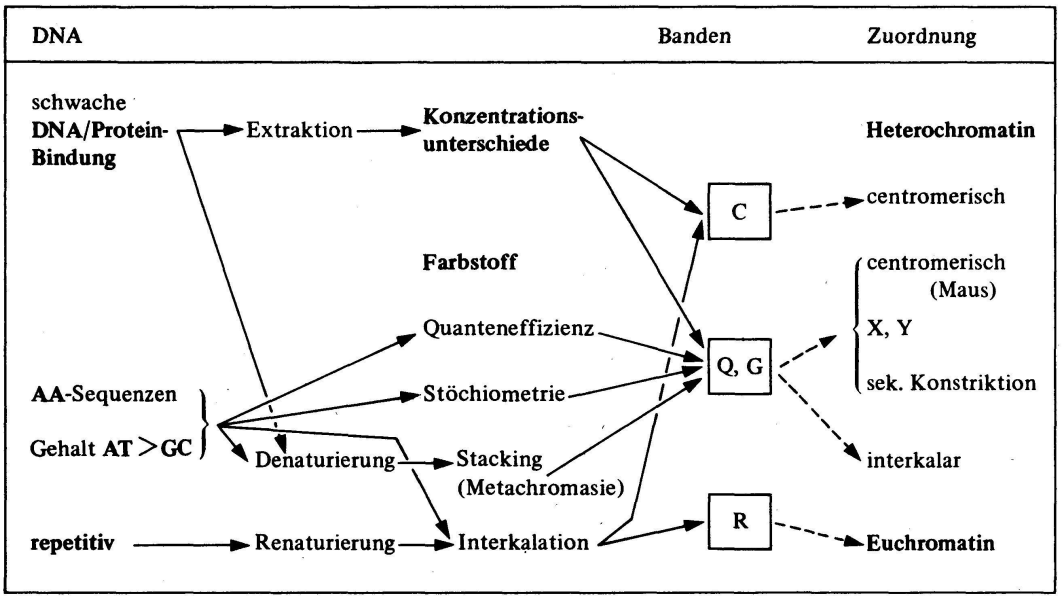
Moderne Chromosomenanalyse

1. Ursula Leemann (Institut für Allgemeine Botanik ETH Zürich):
Quantitative Aspekte der Chromosomenanalyse

1. Einleitung

Die von Caspersson und Mitarbeitern 1968[5] zum erstenmal beschriebenen Chromosomenbanden sind in kurzer Zeit zum wichtigsten Hilfsmittel für die Chromosomenidentifizierung geworden und haben eine grossartige Entwicklung auf zytogenetischem Gebiet eingeleitet. Quantitative zytochemische Untersuchungen sind wesentlich für die Analyse der chemischen Grundlagen des Bandings und damit des Baues und des Chemismus der Chromosomen überhaupt. Casperssons ursprüngliche Zielsetzung war übrigens auch durchaus zytochemischer Natur gewesen, nämlich die Suche nach DNA-basenspezifischen Reagenzien; bereits seine ersten Banding-Arbeiten[5,6] enthalten zytofotometrische Analysen der Quinacrin-Fluoreszenz im Vergleich zu UV- oder Feulgen-Absorption der DNA. Quantitative oder doch semiquantitative Auswertungen wurden sehr bald noch aus einem weiteren Grunde interessant: die Identifizierung der menschlichen Chromosomen anhand der Banden erlaubt im Prinzip die Automatisierung der Chromosomenanalysen[7]. Weder das eine noch das andere Ziel, d.h. weder die restlose Erklärung der Bandingphänomene noch die Automatisierung, ist bis heute erreicht worden.

Vom apparativen Standpunkt her ist eine Automatisierung durchaus realisierbar, und verschiedene Systeme sind beschrieben worden[15, 16, 18, 21, 23]. Die in diesen Arbeiten angegebenen Fehlerquoten bei der Chromosomenklassifizierung liegen in der Grössenordnung von 4 bis 7 %, während die Brauchbarkeit der automatisch ausgelesenen Metaphasen zwischen 10 und 90 % schwankt. Der Grund für diese bis heute unbefriedigenden Ergebnisse liegt offensichtlich bei der Präparation (stark gekrümmte oder sich berührende Chromosomen, unvollständige Metaphasen usw.) und bei der mangelhaften Reproduzierbarkeit der Banding-Färbungen. Dass die Färbungen speziell mit Giemsa, wo eine Vorbehandlung der Chromosomen notwendig ist, meist recht unregelmässig ausfallen, dürfte jedem Praktiker bekannt sein. Auf dem selben Objektträger können sehr verschiedene Färbeintensitäten und sogar verschiedene Bandenmuster (G bis C) auftreten. Was sich bei visueller Untersuchung vielleicht etwas unangenehm, weil zeitraubend, auswirkt, wird bei der automatischen Klassifizierung zu einem kaum zu überwindenden Hindernis; quantitative Analysen sind unter solchen Umständen natürlich vollends unmöglich. Die riesige Zahl der bis heute publizierten Banding-Rezepte zeugt davon, dass immer wieder und mit nur sehr gerin-



Tab. 1: Schema zur Entstehung und zytologischen Zuordnung der Chromosomenbanden

gem Erfolg versucht wurde, die Methodik zu verbessern. Dass die Untersuchung der Bandenerscheinungen trotzdem ihre Faszination nicht verloren hat, ist wohl damit zu erklären, dass die systematisch auftretenden (und deshalb praktisch so eminent wichtigen) Banden ohne eine chemische oder strukturelle Grundlage einfach nicht zu denken sind. Die Interpretationen sind widersprüchlich geblieben: einerseits kann gezeigt werden, dass die Banden in einem Zusammenhang mit dem Basengehalt und der Basensequenz der DNA stehen (basenspezifische Farbstoffe, Antikörper, De- und Renaturierung der DNA); andererseits lassen sich die Banden auf Grund von Massenunterschieden darstellen (elektronenmikroskopisch, Feulgen, Phasenkontrast). In Tab. 1 sind diese Zusammenhänge vereinfacht dargestellt.

Anhand von Kriterien und Resultaten aus der quantitativen Zytochemie soll hier versucht werden, einige dieser Widersprüchlichkeiten zu erklären. Die Schwierigkeiten, die bei den Bandingmethoden auftreten, dürften sich dabei von grundsätzlicherer Natur erweisen, als zumeist angenommen wird. Ob wesentliche Fortschritte – wirklich reproduzierbare und auch quantitativ verwertbare Banding-Prozeduren – auf der heutigen methodischen Basis überhaupt möglich sind, muss bezweifelt werden. Für die praktische Anwendung, d.h. die Chromosomenidentifizierung im Mikroskop oder auf der Fotografie, spielt das eine geringe Rolle; für die Untersuchungen über Chemismus und Struktur der Chromosomen aber sowie für die Automation dürfte diese Frage von entscheidender Bedeutung sein.

2. DNA- und Trockengewichtsbestimmungen

DNA-Mengenbestimmungen können zytofotometrisch mit recht grosser Zuverlässigkeit ausgeführt werden, sowohl mit Hilfe der UV- oder Feulgen-Absorption wie mit Fluoreszenz-Schiffreaktionen[28]. Menschliche Chromo-

somen sind verschiedentlich untersucht worden[11, 22, 25, 29]. Innerhalb der Chromosomengruppen sind nur bei den Chromosomen 1–3 signifikante Unterschiede gefunden worden; die verwendeten Methoden erlaubten allerdings auch keine Identifizierung der einzelnen Chromosomen. Unterschiede im DNA-Gehalt entlang der Chromosomenachse wurden von keinem Autor beobachtet (abgesehen vom Centromer). Caspersson wies an pflanzlichen Chromosomen, die dank ihrer Grösse mit recht hoher Genauigkeit untersucht werden können, eine DNA-Verteilung von erstaunlicher Konstanz nach[5,6], während er mit Quinacrin an denselben Chromosomen eine auffallende Bänderung erhielt. Die für Chromosomenpräparate zumeist verwendeten Fixiermittel Carnoy oder Alkohol-Eisessig-Gemische werden in der Literatur im allgemeinen als gut bezeichnet für DNA-Bestimmungen; DNA-Verluste bei Alkohol-Eisessig-fixierten, getrockneten Chromosomenpräparaten wurden aber von Gaillard et al.[11] nachgewiesen und in eigenen Versuchen speziell an menschlichen Leukozyten wiederholt festgestellt (Abb. 1). Dies legt den Schluss nahe, dass Chromosomenbanden, die nach einer Feulgenreaktion beobachtet werden können[27], auf DNA-Extraktion zurückzuführen sind, um so mehr, als die entsprechenden Bilder morphologisch nur sehr schlecht erhaltene Chromosomen zeigen. Es ist ja auch bekannt, dass verschiedene DNA-Fraktionen (Eu- resp. Heterochromatin) unterschiedliche Löslichkeit zeigen.

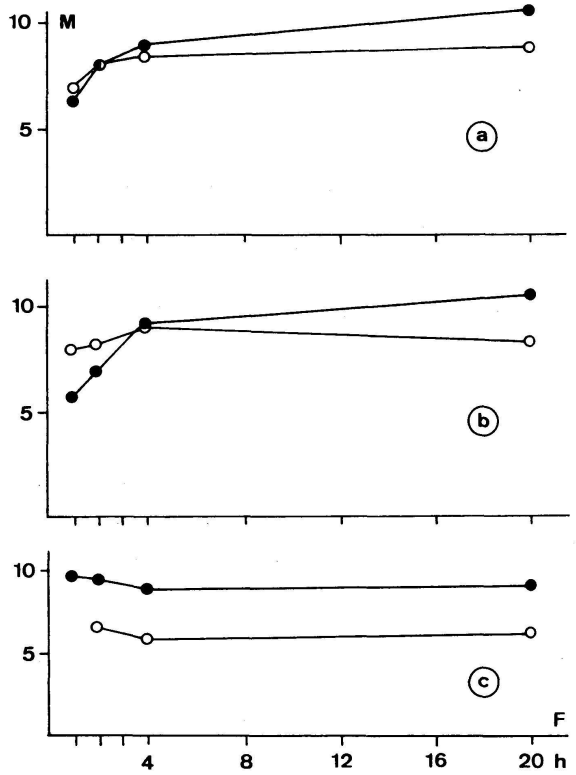


Abb. 1 Trockenmasse (a), Totalprotein (b) nach Sulfaflavinreaktion[28] und DNA (c) nach Bao-Reaktion[28] in relativen Einheiten M, in Abhängigkeit von der Fixierdauer F. Menschliche Leukozyten, in Suspension fixiert mit gepuffertem Formol 4 % (●) und Aethanol-Eisessig 99:1 (○).

Ähnliches lässt sich von der Trockenmasse resp. den Proteinen sagen, obwohl hier lichtmikroskopisch wenig quantitative Angaben über Chromosomen vorliegen. Chromosomenbanden sind im Phasenkontrast weder an lebenden Zellen noch nach zytologisch einwandfreier Fixierung zu beobachten, ebensowenig nach Proteinfärbungen, wie sie in der quantitativen Zytochemie Anwendung finden[28]. An suspensionsfixierten Leukozyten können, vor allem bei kurzen Fixierzeiten, Proteinverluste nachgewiesen werden (Abb. 1); Histonverluste an Chromosomenpräparaten – bis zu 80 % nach Essigsäurebehandlung – sind von mehreren Autoren beschrieben worden[3, 9, 10]. Golomb und Bahr[13] bestimmten elektronenmikroskopisch die Trockengewichte von menschlichen Chromosomen und wiesen chromomerartige Strukturen nach, die recht genau der Quinacrinbänderung entsprechen[14]. Dasselbe wurde für G- und C-Banden gefunden[4]. Aus anderen elektronenmikroskopischen Arbeiten sind aber auch Chromosomen mit Spiralstruktur bekanntgeworden, wie wir sie aus vielen lichtmikroskopischen Untersuchungen kennen.

Man darf aus diesen Beobachtungen also wohl den Schluss ziehen, dass die bandenartigen DNA- und Proteinmassenunterschiede entlang der Chromosomenachse durch die Präparation und die Behandlung hervorgebracht werden. Dass solchermassen systematisch auftretende differenzielle Extraktionen (und vielleicht auch Stoff-Umlagerungen) letzten Endes auf Eigenschaften der DNA selbst beruhen müssen, dürfte allerdings auch klar sein. Für die praktischen Aspekte des Bandings sind diese Extraktionen sicher nur von Vorteil, weil sie die offenbar vorhandenen feinen Strukturunterschiede verstärken. Bei weitergehenden Interpretationen ist aber grösste Vorsicht geboten.

3. Präparation

Nicht nur die Fixierung, sondern die Präparation überhaupt ist in der Zytochemie von entscheidender Bedeutung. Besonders die Luft-Trocknung beeinflusst Struktur wie Färbbarkeit der Zellen sehr wesentlich. Dieser Trocknungseffekt hängt ab von verschiedenen äusseren Bedingungen, von der Fixierung, vom Objekt und interessanterweise offenbar auch vom Grad der Chromatinkondensation, was etwa am unterschiedlichen färberischen Verhalten von Mitosen und Interphasen festgestellt werden kann. Für gute Giemsafärbung ist eine Trocknung wahrscheinlich wesentlich; bei Histonreaktionen konnte zytofluorometrisch nachgewiesen werden[20], dass nur ungetrocknete Präparate homogene Färberesultate liefern. Einen Ausweg bieten für zytochemische Zwecke suspensionsfixierte Zellen, die auf Objektträger aufzentrifugiert werden. Im Elektronenmikroskop wurde festgestellt, dass Luft-Trocknung von unfixiert gespreizten Chromosomen eine vollständige Zerstörung der Struktur zur Folge hat; deshalb wird für solche Untersuchungen meist die Critical-Point-Trocknung angewendet[1].

4. Basenzusammensetzung der DNA

Banding ohne jede Vorbehandlung kann mit verschiedenen Fluoreszenzfarbstoffen erreicht werden, z.B. mit Quinacrinmustard, Quinacrin, Pro-

flavin oder der Hoechstverbindung 33 258. Im Modellversuch kann eindeutig ein Zusammenhang zwischen Fluoreszenzintensität und dem AT-Gehalt der gefärbten Polynukleotide gezeigt werden[24, 26, 30]. Quinacrinmustard färbt direkt basenspezifisch (alkylierend), bei Quinacrin und Proflavin dagegen ist nur die Quanteneffizienz des Farbstoffes basenabhängig[24]. Diese Farbstoffe – es handelt sich um Acridinderivate – interkalieren, d.h. sie lagern sich zwischen die Basen in den DNA-Doppelstrang ein. Andere Bindungsarten spielen aber auch eine Rolle, vor allem die elektrostatische Bindung an die Phosphatgruppen von DNA und RNA. Hier ist wohl die Erklärung dafür zu suchen, dass die Bänderung nicht bei allen Präparaten gleich deutlich ausfällt. Der Bindungsmechanismus des Hoechstfarbstoffes, eines Benzimidazolderivates, ist nicht bekannt. Quinacrin und Hoechstverbindung ergeben teilweise ähnliche, teilweise aber auch verschiedene Bilder[17]. Die Interpretation dieser Chromosomenbanden ist deshalb auch nicht einfach. Einmal dürften nicht lediglich der Gesamt-AT-Gehalt eines bestimmten DNA-Abschnittes, sondern auch die Basensequenzen eine Rolle spielen. Überdies ist, im Gegensatz etwa zum Acridinorange, nicht bekannt, wie weit die Präparation (Fixierung, Trocknung usw.), die Kernproteine oder die Chromatinkondensation die Färbung beeinflussen, da die zytochemische Erfahrung mit diesen neuen Farbstoffen noch recht gering ist.

Der AT-Gehalt wirkt sich aus auf die Denaturierungseigenschaften der DNA, die bei den Bandingphänomenen ebenfalls eine Rolle spielen dürften. Der Denaturierungsgrad der DNA lässt sich im Prinzip zytochemisch mit Hilfe der UV-Hyperchromizität nachweisen. Messungen sind freilich aus verschiedenen Gründen praktisch recht schwierig durchzuführen; an einzelnen Chromosomen sind sie deshalb kaum realisierbar. Die Prozeduren, die für die De- resp. Renaturierung der DNA in Chromosomenpräparaten angewendet werden, führen mit Sicherheit zu schwerwiegenden DNA-Verlusten[10, 12] und zu einer Auflockerung der Chromatinstruktur. (Dasselbe gilt übrigens auch für die in situ-Hybridisierung.)

Acridinorange wird wegen seiner ausgesprochen metachromatischen Eigenschaften ebenfalls zur Unterscheidung von ein- resp. zweisträngiger DNA verwendet[26]. Die Färbung wird stark durch die Präparation (Trocknung, Fixierung, aber auch Glasoberfläche, Zellkonzentration usw.) beeinflusst und hängt vom Kondensationsgrad des Chromatins ab[2, 19]. Quantitative Untersuchungen zeigen, dass Resultate an ganz oder teilweise denaturierten Zellen nur dann einigermassen reproduzierbar sind, wenn in Suspension gearbeitet wird[8]. Diese Beobachtungen, zusammen mit den in Chromosomenpräparaten zu erwartenden DNA-Verlusten beim Denaturieren, machen deutlich, dass die Rot- resp. Grünfluoreszenz beim Acridinorange-Banding nicht ohne weiteres mit dem Vorhandensein von nicht- resp. leichtrenaturierbarer DNA gleichgesetzt werden darf.

Die Hauptkomponenten des Giemsa, Methylenblau und Azure, zeigen ähnlich wie Acridinorange metachromatische Eigenschaften. Der hohe Kontrast beim Giemsa-Banding dürfte auf ein Zusammenwirken aller besprochenen Faktoren zurückzuführen sein: Konzentrationsunterschieden, Trocknungseffekten und Färbbarkeit infolge von Sequenz und Denaturierung.

5. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend ist die Situation in Tab. 2 dargestellt. Die reproduzierbaren, quantitativen zytochemischen Reaktionen erfordern gute Fixierung und in vielen Fällen die Vermeidung von Luft-Trocknung, damit Extraktionen und Strukturveränderungen vermieden und homogene Färberesultate erzielt werden. Eine optimale Spreizung der Chromosomen ist aber

	Chromosomenidentifikation	Quantitative Zytochemie
Fixierung	**schwach** (z.B. Methanol-Eisessig):	**gut** (z.B. Formol, Formol-Aethanol-Eisessig):
	Zellen platzen → **Chromosomen gespreizt**	**Zellen erhalten**
	differentielle **Stoffverluste** bei Behandlung mit H^+, OH^- usw. → **Banden**	**keine Stoffverluste**
Herstellung der Präparate	**getrocknet** auf Objektträger:	**getrocknet,** je nach Objekt und Reaktion, oder **nass** (z. B. aufzentrifugiert):
	einfach, rasch, Haftung gut	aufwendiger, Haftung schlechter
	Änderung der Struktur und der Reaktionsfähigkeit, abhängig von: Fixierung, Schnelligkeit des Trocknungsvorganges → **inhomogen** Chromatinkondensation → **Kontrasterhöhung** der Banden	Struktur und chemische Reaktionsfähigkeit erhalten: → **homogen, reproduzierbar** → **quantitativ**

Tab. 2: Gegenüberstellung der Präparationsarten für Chromosomenidentifikation und für quantitative zytochemische Reaktionen

andererseits nur bei relativ schwacher Fixierung möglich. Der stärkste Bandenkontrast und wohl auch das feinste Bandenmuster wird mit dem Farbstoffgemisch Giemsa erreicht, dessen Reaktion vom chemischen Standpunkt aus am wenigsten durchschaubar ist und bei dem die notwendige Vorbehandlung Chromosomenstruktur- und chemismus weitgehend verändert. Die verschiedenen Forderungen sind kaum unter einen Hut zu bringen: für die Chromosomenidentifikation, wo kontrastreiche und gut reproduzierbare Färbungen erforderlich sind, wird man vor allem an der Präparation arbeiten müssen. Eine vollständige Vermeidung der Trocknung ist allerdings für Routineuntersuchungen aus praktischen Gründen kaum denkbar. Zur Untersuchung der Chromosomenstruktur und des Chemismus aber kommen in erster Linie die Fluorochrome wie Quinacrinmustard und die Hoechstverbin-

dung in Frage, die keine Vorbehandlung der Chromosomenpräparate erfordern. Präparation und Färbebedingungen müssen dabei stärker als bisher nach zytochemischen Kriterien und weniger auf maximalen Bandenkontrast ausgerichtet werden.

Literatur

1 Bahr G., Determination of the dry mass of small biological objects by quantitative electron microscopy. In: Micromethods in molecular biology. Springer, Berlin, 1973, p. 257.
2 Bolund L. et al., Changes in the cytochemical properties of erythrocyte nuclei reactivated by cell fusion. J. cell sci. 4 (1969) 71.
3 Brody T., Histones in cytological preparations. Exp. cell res. 85 (1974) 255.
4 Burkholder G.D., The ultrastructure of G- and C-banded chromosomes. Exp. cell res. 90 (1975) 269.
5 Caspersson T. et al., Chemical differentiation along metaphase chromosomes. Exp. cell res. 49 (1968) 219.
6 Caspersson T. et al., Chemical differentiation with fluorescent alkylating agents in Vicia Faba metaphase chromosomes. Exp. cell res. 58 (1969) 128.
7 Caspersson T. et al., Automatic karyotyping of Quinacrinmustard stained human chromosomes. Exp. cell res. 67 (1971) 233.
8 Darzynkiewicz Z. et al, Thermal denaturation of DNA in situ as studied by Acridine orange staining and automated cytofluorometry. Exp. cell res. 90 (1975) 411.
9 Dick C. & E.W. Johns, The effect of two acetic acid containing fixatives on the histone content of calf thymus DNP and calf thymus tissue. Exp. cell res. 51 (1968) 626.
10 Franke W.W. et al., Losses of material during cytological preparation of nuclei and chromosomes. Exp. cell res. 80 (1973) 445.
11 Gaillard J.L.J., P. van Duijn & A. Schaberg, Photometric determination of DNA in human chromosomes. Exp. cell res. 53 (1968) 417.
12 Gebert R., in preparation.
13 Golomb H.M. & G. Bahr, Analysis of an isolated metaphase plate by quantitative electron microscopy. Exp. cell res. 68 (1971) 65.
14 Golomb H.M. & G. Bahr, Human chromatin from interphase to metaphase. Exp. cell res. 84 (1974) 79.
15 Granlund G.H. et al., A technique for multiple cell karyotyping. Conf. automat. cytol., Asilomar 1975.
16 Green D.K. & P.W. Neurath, The design, operation and evaluation of a high speed automatic metaphase finder. J. histochem. cytochem. 22 (1974) 531.
17 Gropp A., I. Hilwig & P.K. Seth, Fluorescence chromosome banding patterns produced by a benzimidazole derivative. Nobel sympos. 23 (1973) 300.
18 Johnson E.T. & L.J. Goforth, Metaphase spread detection and focus using closed circuit TV. J. histochem. cytochem. 22 (1974) 536.
19 Killander D. & R. Rigler, Activation of DNP in stimulated leukocytes. Exp. cell res. 54 (1969) 163.
20 Leemann U., S. Weiss & E. Schmutz, A centrifugation technique for cytochemical preparations. J. histochem. cytochem. 19 (1971) 758.
21 Lubs H.A. & R.S. Ledley, Automated analysis of differentially stained chromosomes. A review of goals, problems and progress. Nobel sympos. 23 (1973) 61.
22 Mendelsohn M.L. et al., Cytogenetics 5 (1966) 223.
23 Mendelsohn M.L. et al., Computer-oriented analysis of human chromosomes. J. histochem. cytochem. 22 (1974) 554.

24 Modest E.J. & S.K. Sengupta, Chemical correlates of chromosome banding. Nobel sympos. 23 (1973) 327.
25 Nitsch B. & J. Murken, Probleme der Charakterisierung einzelner Chromosomen durch DNS-Messungen. Hum. Genet. 9 (1970) 16.
26 Rigler R., Interactions between acridines and DNA. A key to the understanding of banding patterns in chromosomes. Nobel sympos. 23 (1973) 335.
27 Rodman T.C., Human chromosome banding by Feulgen stain aids in localizing classes of chromatin. Sci. 184 (1974) 171.
28 Ruch F. & U. Leemann, Cytofluorometry. In: Micromethods in molecular biology. Springer, Berlin, 1973, 329.
29 Rudkin G.T., Photometric measurements of individual metaphase chromosomes. In vitro 1 (1965) 12.
30 Weisblum B. & E. Haenssler, Fluorometric properties of the benzimidazole derivative Hoechst 33 258. A fluorescent probe specific for AT-concentration in chromosome DNA. Chromosoma 46 (1974) 255.

2. Wolfgang Schnedl
(Histologisch-Embryologisches Institut der Universität Wien):

Bändermuster der Chromosomen und andere neue Verfahren der Cytogenetik

Als im Jahre 1970 Caspersson et al. unter Verwendung des Fluoreszenzfarbstoffes Quinacrin eine Darstellung von Bändermustern innerhalb der menschlichen Chromosomen gelang, die für jedes Chromosom konstant und charakteristisch sind, begann für die Cytogenetik eine neue Aera. Caspersson ging von der Vorstellung aus, dass der von ihm verwendete Farbstoff, quinacrine mustard, eine alkylierende Substanz, eine besondere Affinität zu GC-reichen Chromosomenabschnitten zeigen müsste, und nahm an, dass die Quinacrin-positiven Stellen GC-reiche Abschnitte innerhalb der Chromosomen seien. Die Vermutung, dass die Bänderung der Chromosomen etwas mit der Basenzusammensetzung zu tun habe, wurde in der Folge, wenn auch in umgekehrter Weise, bestätigt; dennoch ist die Diskussion über die Beteiligung anderer Faktoren, z.B. der Proteine, noch in vollem Gang.

Wenig später wurden, ausgehend von der Methode von Arrighi und Hsu (1971), in mehreren Labors Verfahren entwickelt, die nach verschiedenen Vorbehandlungen in menschlichen und tierischen Chromosomen Bandmuster mit Hilfe einer Giemsafärbung darstellen (z.B. Schnedl, 1971; Abb. 1). Diese Muster stimmen weitgehend mit den Quinacrin-Bändern überein. Einige dieser Verfahren bestehen in einer Trypsinbehandlung der Chromosomen (Dutrillaux et al., 1971; Seabright, 1972), was eine Beteiligung der Proteine am Bandmuster wahrscheinlich macht. Es wurde aber gezeigt, dass die Proteinmuster der Chromosomen auch wieder von der Basenzusammen-

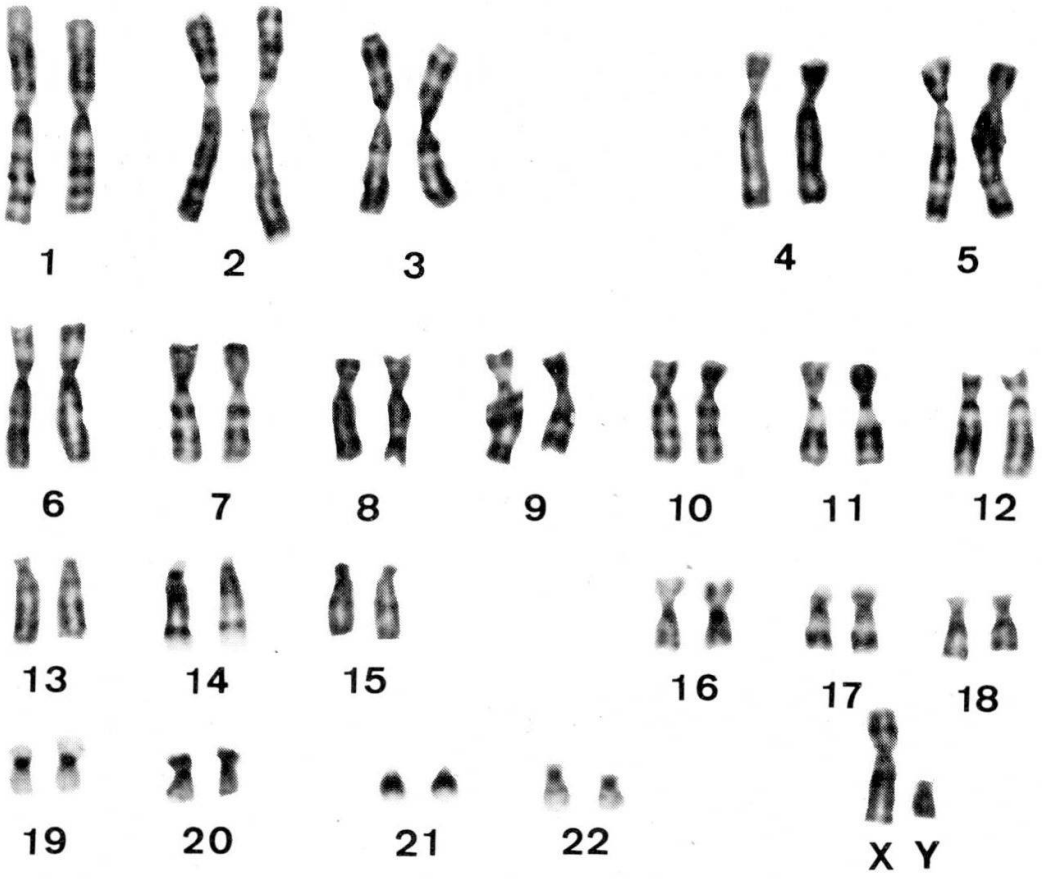


Abb. 1 Menschlicher Karyotyp (männlich); Giemsabänder-Technik.

setzung innerhalb der Chromosomen abhängig sein können (Clark and Felsenfeld, 1972).

Die Reverse-Bänder (Dutrillaux et Lejeune, 1971) gaben einen weiteren Hinweis über die Basenzusammensetzung der Chromosomen. Werden Chromosomen in cytologischen Präparaten einer dosierten Hitzebehandlung ausgesetzt, die zu einer teilweisen Denaturierung der DNS führt, so sollten AT-reiche Abschnitte eher denaturiert werden als GC-reiche Areale. Native, also doppelsträngige DNS, gibt mit Acridinorange eine gelbgrüne Fluoreszenz, einsträngige, also denaturierte DNS, eine schwächere, rötliche Fluoreszenzfarbe. Werden dosiert denaturierte Chromosomenpräparate mit Acridinorange gefärbt, so ergibt sich ein Muster aus abwechselnd hell-gelbgrünen und dunkelroten Abschnitten. Dieses Muster ist mit einigen wenigen Ausnahmen (im konstitutiven Heterochromatin) ein genaues Negativbild der Quinacrin-Bänder und wird daher Reserve-Muster genannt.

Die dunkelroten, also denaturierten Abschnitte liegen an den Quinacrin-Bändern entsprechenden Stellen der Chromosomen. Damit ist für die Quinacrin-Bänder eine Konzentration von AT-reicher DNS wahrscheinlich gemacht, die, wie oben ausgeführt, leichter denaturiert wird als GC-reiche DNS.

Bei Bindungs-Versuchen zwischen DNS-Arten verschiedener Basenzusammensetzung (aus Bakterien) und Quinacrin fanden Weisblum und DeHaseth (1972) eine verstärkte Bindung von Quinacrin und AT-reicher DNS. Ausserdem wurde gezeigt, dass AT-reiche DNS die Quinacrin-Fluoreszenz verstärkt, die dagegen durch GC-Basenpaare abgeschwächt wird. Weisblum (1973) zeigte auch, dass ein bestimmter Fluoreszenzfarbstoff, Hoechst 33 258, ein Benzimidazol, mit DNS eine strikt dem AT-Gehalt entsprechende Fluoreszenzintensität ergibt (Abb. 2). Die mit Hoechst 33 258 erhaltenen Muster ähneln wieder den Quinacrin-Mustern weitgehend.

Gleichzeitig konnte die AT-reiche Natur der Quinacrin-Bänder noch sehr elegant mit Hilfe der Immunfluoreszenz belegt werden (Dev et al., 1972). Anti-Adenosin ergibt ein Muster, das der Quinacrin-Fluoreszenz entspricht, Anti-Cytidin ein dem Reverse-Muster analoges Banding (Schreck et al., 1973).

Die chemische Grundlage für die Bändermuster liegt daher zweifellos in Verschiedenheiten der Basenverteilung längs der Chromosomen. Indirekt besagt dies auch, dass die Bänder aus zumindest teilweise repetitiver DNS bestehen müssen; sonst wäre eine bereits lichtmikroskopisch erkennbare ungleiche Verteilung der Basen nicht zu erwarten.

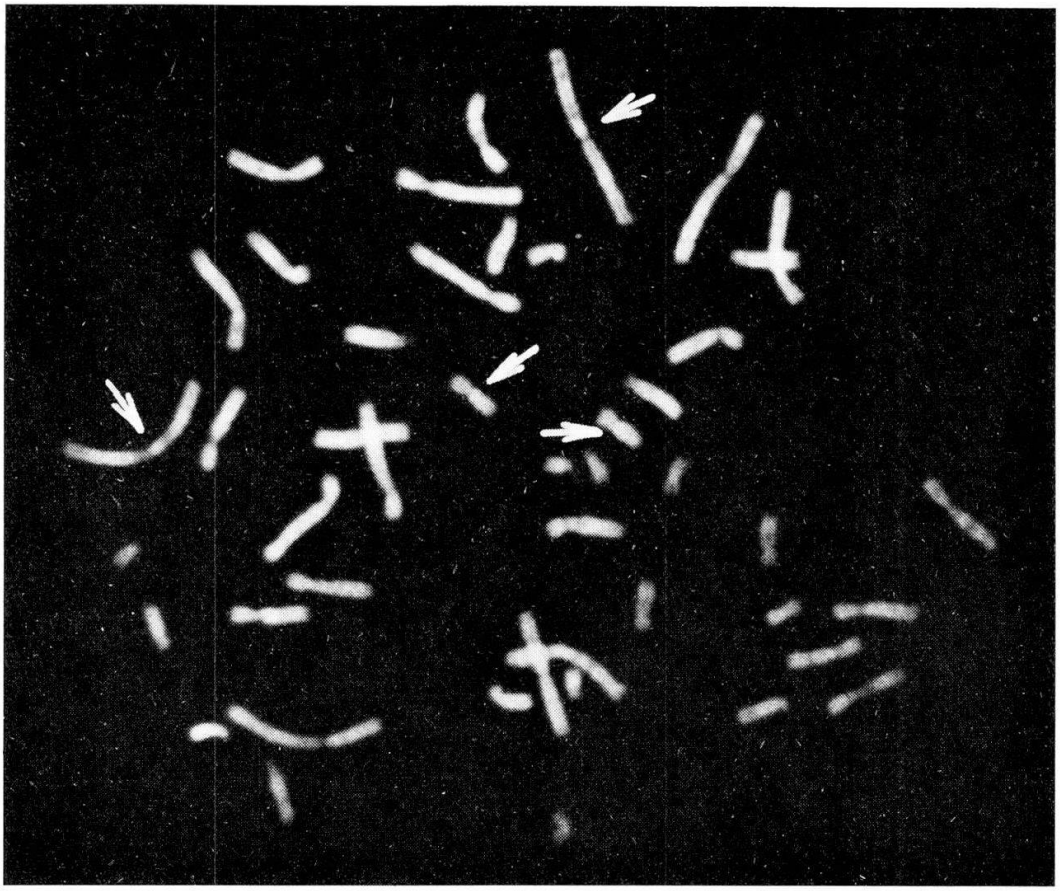


Abb. 2 Metaphase (Mensch), Fluoreszenzaufnahme nach Färbung mit Hoechst 33 258. Die Chromosomen zeigen ein Muster, das weitgehend der Quinacrin-Fluoreszenz entspricht. Abweichend davon zeigen die sekundären Konstruktionen der Chromosomen Nr. 1 und 16 intensive Fluoreszenz (Pfeile).

Unter Verwendung eines Antikörpers gegen die seltene Base 5-Methylcytosin konnte gezeigt werden, dass dieser Baustein, der beim Menschen ca. 1 % der DNS ausmacht, in ganz bestimmten Regionen der Chromosomen, die das konstitutive Heterochromatin ausmachen, konzentriert vorkommt (Miller et al., 1974). Es sind dies die sekundären Konstriktionen der Chromosomen 1, 9 und 16, der distale Abschnitt des Y und, unerwartet, der kurze Arm des Chromosoms Nr. 15 (Miller et al., 1974). Bei der Untersuchung von Chromosomen anderer Spezies zeigte sich, dass auch bei Maus, Schimpanse, Gorilla, Rind, Schaf und Ziege (Schnedl et al., 1975; Schnedl et al., 1976) das konstitutive Heterochromatin Konzentrationen von 5-Methylcytosin darstellt. Unter Umständen ist diese Base also für dieses chromosomale Material charakteristisch.

Noch vor der Entwicklung der Bänderungsmethoden gab eine Methode einen Hinweis dafür, dass längs der Chromatiden mit Hilfe des Lichtmikroskops auflösbare Unterschiede bestehen: die Untersuchung der Spätreplikationsmuster unter Verwendung von 3H-Thymidin-Markierung und Autoradiographie. Diese Befunde wurden besonders durch die Arbeiten von Schmid (1963) genau dokumentiert. Nach der Entdeckung der Quinacrin-Muster wurde gezeigt, dass diese Spätreplikationsmuster ungefähr dem Quinacrin-Muster entsprechen (Ganner und Evans, 1971; Calderon und Schnedl, 1973).

Später zeigten Zakharov et al. (1974), dass BrdU, das die Zelle anstelle von Thymidin in die DNS einbaut, verschiedene Effekte auf das Chromatin hat. Wird z.B. eine Zelle am Ende der S-Phase mit BrdU markiert, so sind die Regionen der Chromosomen, die BrdU enthalten, verdünnt und gestreckt (Zakharov et al., 1974). Mit dieser Methode erhält man also ebenfalls ein Spätreplikationsmuster der Chromosomen, das so detailreich ist, dass es zur Identifikation der Chromosomen verwendet werden kann. Besonders eindruckvoll ist die Dehnung des spätreplizierenden X-Chromosoms bei der Frau.

Dieses BrdU-Spätmarkierungsmuster ist nach gewöhnlicher Giemsafärbung erkennbar, aber auch im Akridinorangefluoreszenzbild deutlich. Bei Verwendung letzteren Verfahrens werden die BrdU-enthaltenden Areale nach einigen Minuten dauernder UV-Bestrahlung an schwächerer rötlicher Fluoreszenz erkannt, wogegen die übrigen Regionen noch hellgrüngelb bleiben.

Merkwürdigerweise ist die Dehnung der Chromatiden nur ausgeprägt, wenn BrdU erst am Ende der Syntheseperiode zugesetzt wird. Werden z.B. zwei ganze aufeinanderfolgende Zyklen mit BrdU markiert, so ist die Dehnung der Chromatiden zwar nachweisbar, aber geringer (Zakharov et al., 1972).

Mit einer solchen Technik lässt sich die Segregation der Chromatiduntereinheiten gut nachweisen. Werden zwei aufeinanderfolgende Synthesephasen mit BrdU markiert, so sind die Chromosomen der darauffolgenden Mitose in ihren beiden Chromatiden ungleich markiert; eine Chromatide ist in beiden Untersträngen, die andere nur in einem Unterstrang markiert (Abb. 3). Die Chromatiden unterscheiden sich auch in der Markierung, wenn nur die erste Synthesephase mit BrdU markiert wurde (Abb. 3).

In beiden Fällen kann der Unterschied im Fluoreszenzmikroskop sichtbar gemacht werden, und zwar mit Acridinorange (Dutrillaux et al., 1974) oder Hoechst 33 258 (Latt, 1974). Unter Verwendung letzteren Farbstoffes und einer anschliessenden speziellen Behandlung der Präparate kann der Unterschied der Chromatiden auch mit Giemsafärbung nachgewiesen werden (Perry und Wolff, 1974; Abb. 4).

Präparate, die auf solche Weise hergestellt wurden, können zu verschiedenen Untersuchungen verwendet werden. Da BrdU nur in DNS-Stränge eingebaut wird, die Thymidin enthalten, bleiben Unterstränge, die kein Thymidin besitzen, unmarkiert. Damit können sogenannte laterale Asymmetrien der DNS in gewissen heterochromatischen Regionen nachgewiesen werden. Solche Asymmetrien finden sich im Y-Chromosom (Latt et al., 1974) und in den sekundären Konstriktionen der Chromosomen 1 und 16 (Angell und Jacobs, 1975).

Schon normalerweise finden sich längs der Chromosomen sogenannte „sister chromatid exchanges", Stellen, an denen die Markierung von der einen Chromatide auf die andere überspringt (Abb. 4). Diese Tatsache ist schon aus den früheren autoradiographischen Untersuchungen bekannt (z.B. Gibson und Prescott, 1972), kann aber heute mit Hilfe der BrdU-Markierung viel besser untersucht werden. Die durchschnittliche Zahl dieser Austausche liegt für Blutkulturen und BrdU-Markierung bei 10–12 pro Zelle. Diese Anzahl steigt sprunghaft, wenn die Kulturen belichtet werden, da es dadurch zu einer Photolyse des BrdU kommt (Ikushima und Wolff, 1974). Eine ganz krasse Vermehrung der Austausche tritt bei Verwendung von Mutagenen auf

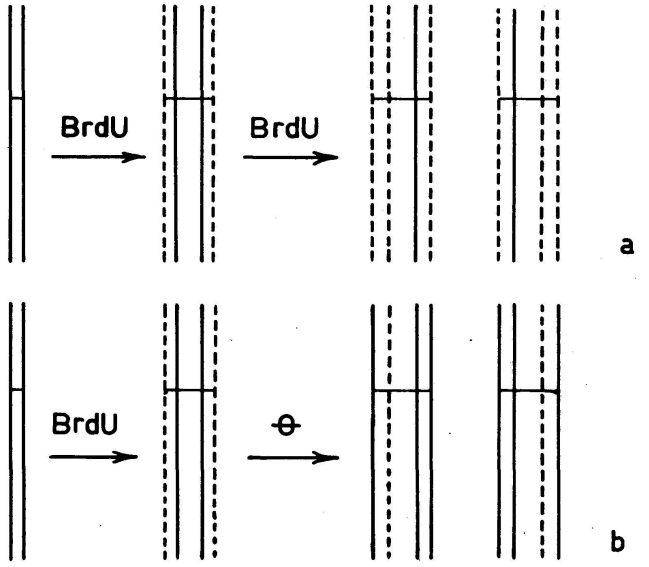


Abb. 3 Schematische Darstellung der Segregation der Chromatiduntereinheiten bei BrdU-Markierung; markierte Unterstränge strichliert. *a* Einbau von BrdU während zweier aufeinanderfolgender Zellzyklen; *b* BrdU nur während der ersten Replikationsphase anwesend. In beiden Fällen unterscheiden sich die Chromatiden der Chromosomen in der zweiten Mitose in der Markierung.

Abb. 4 Menschliche Metaphase, nachdem die zwei vorhergehenden Replikationsphasen mit BrdU markiert wurden (siehe Abb. 3a); Färbung nach Perry und Wolff (1974). Die doppelt markierten Chromatiden sind deutlich schwächer gefärbt als die nur halb markierten Chromatiden. An den Pfeilen einige Beispiele von „sister chromatid exchanges".

(z.B. Beek und Obe, 1975); gegenwärtig wird eine lebhafte Diskussion geführt, inwieweit die Erhöhung der Austausch-Rate ein direktes Mass für die Mutagenität einer Substanz ist, da man den molekularen Zusammenhang von Mutation, DNS-Reparatursystem und sister chromatid exchange noch nicht genau kennt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in den letzten fünf Jahren die Cytogenetik um eine Reihe von Methoden und Erkenntnissen bereichert wurde, deren Auswertung noch lange nicht beendet ist.

Literatur

Angell, R.R. and Jacobs, P.A.: Lateral asymmetry in human constitutive heterochromatin. Chromosoma 51, 301–310 (1975).

Arrighi, F.E. and Hsu, T.C.: Localization of heterochromatin in human chromosomes. Cytogenetics 10, 81–86 (1971).

Beek, B. and Obe, G.: The human leukocyte test system VI. The use of sister chromatid exchanges as possible indicators for mutagenic activities. Humangenetik 29, 127–134 (1975).
Calderon, D. and Schnedl, W.: A comparison between quinacrine fluorescence banding and 3H-thymidine incorporation patterns in human chromosomes. Humangenetik 18, 63–70 (1973).
Caspersson, T.; Zech, L.; Johansson, C. and Modest, E.J.: Identification of human chromosomes by DNA-binding fluorescent agents. Chromosoma 30, 215–227 (1970).
Clark, R.J. and Felsenfeld, G.: Association of arginine-rich histone with GC-rich regions of DNA in chromatin. Nature New Biol. 240, 226 (1972).
Dev, V.G.; Warburton, D.; Miller, O.J.; Millder, D.A.; Erlanger, B.F. and Beiser, S.M.: Consistent pattern of binding of anti-adenosine antibodies to human metaphase chromosomes. Exp. Cell Res. 74, 288–293 (1972).
Dutrillaux, B.; DeGrouchy, J.; Finaz, C. and Leujeune, J.: Mise en évidence de la structure fine des chromosomes humains par digestion enzymatique (pronase en particulier). C.R. Acad. Sc. Paris, t. 273, 587–588 (1971), Série D.
Dutrillaux, B. and Lejeune, J.: Sur une nouvelle technique d'analyse du caryotype humain. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 272, 2638–2640 (1971), Série D.
Dutrillaux, B.; Fosse, A.M.; Prieur, M. and Leujeune, J.: Analyse des échanges de chromatides dans les cellules somatiques humaines. Chromosma 48, 327–340 (1974).
Ganner, E. and Evans, H.J.: The relationship between patterns of DNA replication and of quinacrine fluorescence in the human chromosome complement. Chromosoma 35, 326–341 (1971).
Gibson, D.A. and Prescott, D.M.: Induction of sister chromatid exchanges in chromosomes of rat kangaroo cells by tritium incorporated into DNA. Exp. Cell Res. 74, 397–402 (1972).
Ikushima, T. and Wolff, S.: Sister chromatid exchanges induced by light flashes to 5-bromodeoxyuridine- and 5-iododeoxyuridine substituted chinese hamster chromosomes. Exp. Cell Res. 87, 15–19 (1974).
Latt, S.A.: Sister chromatid exchanges, indices of human chromosome damage and repair: detection by fluorescence and induction by Mitomycin C. Proc. Natl. Acad. Sci. 71, 3162–3166 (1974).
Latt, S.A.; Davidson, R.L.; Lin, M.S. and Gerald, P.S.: Lateral asymmetry in the fluorescence of human Y chromosomes stained with 33 258 Hoechst. Exp. Cell Res. 87, 425–429 (1974).
Miller, O.J.; Schnedl, W.; Allen, J. and Erlanger, B.F.: 5-Methylcytosine localised in mammalian constitutive heterochromatin. Nature 251, 636–637 (1974).
Perry, P. and Wolff, S.: New Giemsa method for the differential staining of sister chromatids. Nature 251; 156–158 (1974).
Schmid, W.: DNA replication patterns of human chromosomes. Cytogenetics 2, 175–193 (1963).
Schnedl, W.: Analysis of the human karyotype using a reassociation technique. Chromosoma 34, 448–454 (1971).
Schnedl, W.; Dev, V.G.; Tantravahi, R.; Miller, D.A.; Erlanger, B.F. and Miller, O.J.: 5-Methylcytosine in heterochromatic regions of chromosomes: chimpanzee and gorilla compared to the human. Chromosoma 52, 59–66 (1975).
Schnedl, W.; Erlanger, B.F. and Miller, O.J.: 5-Methylcytosine in heterochromatic regions of chromosomes in Bovidae. Humangenetik 31, 21–26 (1976).
Schreck, R.R.; Warburton, D.; Miller, O.J.; Beiser, S.M. and Erlanger, B.F.: Chromosome structure as revealed by a combined chemical and immunochemical procedure. Proc. Natl. Acad. Sci. 70, 804–807 (1973).
Seabright, M.: The use of proteolytic enzymes for the mapping of structural rearrangements in the chromosomes of man. Chromosoma 36, 204–210 (1972).

Weisblum, B. and DeHaseth, P.L.: Quinacrine, a chromosome stain specific for deoxyadenylate-deoxythymidylate-rich regions in DNA, Proc. Nat. Acad. Sci. 69, 629–632 (1972).

Weisblum, B.: Fluorescent probes of chromosomal DNA structure: three classes of acridines. Cold Spring Harbor Symp. XXXVIII: 441–449 (1973).

Zakharov, A.F. and Egolina, N.A.: Differential spiralization along mammalian mitotic chromosomes. I. BUdR-revealed differentiation in chinese hamster chromosomes. Chromosoma 38, 341–365 (1972).

Zakharov, A.F.; Baranovskaya, L.I.; Ibraimov, A.I.; Benjusch, V.A.; Demintsera, V.S. and Oblapenko, N.G.: Differential spiralization along mammalian mitotic chromosomes. II. 5-Bromodeoxyuridine and 5-Bromodeoxycytidine revealed differentiation in human chromosomes. Chromosoma 44, 343–359 (1974).

4. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Umweltforschung
Association suisse pour la recherche sur l'environnement

2. SAGUF-Symposium

Zukunftsorientierte Planung für den Umweltschutz (Gewässerschutz)

H. Mislin (Carona/Lugano): Einführung

Die Thematik drängte sich schon im Hinblick auf das bedenkliche Faktum auf, dass in unserer Industriegesellschaft der Wasserverbrauch sich bisher alle 10 Jahre etwa verdoppelt und dass ausser der mengenmässigen Belastung des Grund- und Oberflächenwassers die Qualität durch eine grosse Zahl von Umwelteinwirkungen negativ beeinflusst wird. Hierbei spielt die chronische Chemisierung bzw. Vergiftung der Gewässer eine entscheidende Rolle. Zur Diskussion der Auswege, Abhilfen und Lösungen wurden – wie die nachstehenden kurzen Zusammenfassungen zeigen – vor allem Praktiker aus den verschiedenen Landesteilen eingeladen. Dabei wurden insbesondere die Grenzen des technisch Möglichen behandelt, desgleichen auch Fragen der wechselseitigen Beeinflussung veränderter Umweltbereiche. Zentrales Anliegen dieses Symposiums ist das Problem der Ökologie, also des Zusammenlebens und Aufeinander-Angewiesenseins aller Lebensbereiche gewesen. Am Umweltbereich Wasser wurde deutlich gemacht, dass wir heute oft unverantwortlich sorglos auf Kosten unserer Nachkommen leben, denn die instabilen Systeme, die wir selbst geschaffen haben, drohen erst in der nächsten oder auch erst übernächsten Generation umzukippen.

1. H.R. Wasmer (EAWAG):
Wirkung und Grenzen von Umweltschutzmassnahmen

Einleitend wird auf die Problematik der Quantifizierung von Umweltbelastungen hingewiesen. (Der Vorentwurf zu einem Bundesgesetz über den Umweltschutz dient dazu als Leitgedanke.)

Als mögliche Lösung zur Quantifizierung von Umweltbelastungen wird der Energieumsatz vorgeschlagen. Das Potential der Umweltbelastungen (ausgedrückt in Bruttosozialprodukt/Energieverbrauch) zeigt für die verschiedenen Länder erstaunliche Unterschiede. Aus der wirtschaftlichen Struktur (Primär-, Sekundär- oder Tertiärsektor) ergeben sich bereits Grenzen für die Wirkung von Umweltschutzmassnahmen.

Die Wirkung technischer Umweltschutzmassnahmen ist in erster Linie beschränkt durch die Produktionsverfahren selbst und die Art des Verbrauches von Gütern. Dissipativer Verbrauch (z.B. Pb als Treibstoffzusatz) würde einen sehr grossen Aufwand erfordern, wenn bei unverändertem Verbrauchsmodus die Endbelastung reduziert werden müsste. Ein Recycling dissipativ verbrauchter Stoffe ist wirtschaftlich kaum denkbar.

Technische Umweltschutzmassnahmen (Reinigungsanlagen) sind als solche wiederum mit einem gewissen Energieaufwand verbunden. Die durch Umweltschutzmassnahmen erreichte Verminderung der Umweltbelastung lässt sich nicht beliebig weitertreiben. Aufwand und erzielte Verminderung der Belastung stehen in keinem proportionalen Verhältnis. Massgebendes Kriterium für den Umweltschutz ist jedoch nur die schliesslich verbleibende Restbelastung. Thermodynamische Überlegungen zeigen, dass durch die Berücksichtigung von Sekundärverunreinigungen (d.h. Belastungen, die durch die Umweltschutzmassnahmen selbst verursacht werden) die allein aufgrund technischer Massnahmen (end of pipe measures) zu erwartenden Auswirkungen für den Umweltschutz relativ eng begrenzt sind.

2. E. Bosset (Inspecteur cantonal des eaux, Lausanne):
Prévention de la pollution des eaux par des mesures prises à la source

La meilleure façon de lutter contre la pollution des eaux souterraines et superficielles et, par conséquent, d'exclure ses effets dommageables tant au plan social que du point de vue économique, est de la prévenir à l'origine même, par des mesures propres à supprimer les causes.

Les moyens à disposition sont de quatre ordres:

a) Collecte, concentration et élimination des polluants contenus dans les eaux usées domestiques et celles résiduaires industrielles et artisanales.

Conformément à la loi fédérale du 8 octobre 1971 sur la protection des eaux contre la pollution, il incombe à chaque entreprise, chaque collectivité, voire tout particulier lorsque son habitation ou son exploitation ne peut être raccordée au réseau public d'égouts, de prendre les mesures techniques adéquates et d'en contrôler l'efficacité, ceci même s'il s'agit de prétraitements destinés à éliminer à la source les matières qui par leur nature, leur concentration ou leur température sont susceptibles de perturber le fonctionnement mécano-biologique de la station d'épuration collective ou de corroder, sinon d'incruster les canalisations d'égouts et les installations de relèvement des eaux usées.

Dans un pays de libre entreprise, il appartient à l'industrie non seulement de découvrir un procédé ou de mettre au point un produit nouveau, mais aussi de résoudre les problèmes d'évacuation, de traitement et de recyclage de ses déchets. C'est d'ailleurs dans son intérêt de restreindre les pertes de matières premières, sinon intermédiaires ou auxiliaires non négligeables. Il est aussi du devoir des collectivités, d'une part de construire et de maintenir en activité les installations d'épuration nécessaires, d'autre part de les entretenir et de les perfectionner, en tenant compte des progrès réalisés dans les techniques de traitement.

b) Localisation, canalisation et rétention, par des mesures techniques appropriées, des fuites et pertes de produits nocifs sur les aires de stockage, de transvasement, de fabrication, de production et de traitement.

Il s'agit essentiellement de mesures générales de protection ou, mieux, de sécurité primaire, qui consistant en dispositions techniques en matière de

construction, d'équipement et d'entretien des réservoirs, tuyauteries, places de transvasement, installations de fabrication, de production, de traitement, doivent être prises dans toutes les zones de protection définies par l'Ordonnance fédérale du 19 juin 1972 sur la protection des eaux contre leur pollution par des liquides pouvant les altérer et conformément aux prescriptions techniques fédérales du 27 décembre 1967 applicables à l'entreposage des produits liquides nuisibles pour les eaux. Dans les zones de protection A et B, des mesures spéciales complémentaires de protection, dites de sécurité secondaire, sont exigées en raison d'un danger particulier de pollution. Elles visent la détection des fuites et, en sus, leur rétention totale dans la zone A, compte tenu de l'importance économique des eaux en cause.

c) Prise de mesures individuelles propres à empêcher tout accident et toute contamination intempestive des eaux aussi bien souterraines que superficielles.

La lutte contre la pollution des eaux implique une discipline librement consentie, un effort volontaire soutenu de la part de chaque collectivité et entreprise, ainsi que de tout particulier, en bref une prise de responsabilité individuelle dans la protection de ressources naturelles fondamentales pour l'existence et l'économie du pays.

d) Enfin, création de zones de protection des captages d'eaux souterraines, c'est-à-dire de périmètres grevés de servitudes interdisant ou restreignant, selon les conditions hydrogéologiques locales, les épandages d'engrais naturels, de boues d'épuration, etc., ainsi que l'aménagement d'installations de stockage, de transvasement, de production et de traitement de produits liquides présentant un danger pour les eaux, voire la pose de canalisations d'égouts.

En L'occurrence, il s'agit essentiellement des aires constituant les zones de captage et de protection rapprochée, au sens de l'Ordonnance fédérale du 19 juin 1972 mentionnée plus haut.

Il est clair que la protection sanitaire des eaux souterraines destinées à l'alimentation exige, en premier lieu, leur captage selon les règles de l'art, et que ces eaux soient dérivées et distribuées par des installations offrant toutes garanties sur le plan de l'hygiène.

Les mesures pour prévenir la pollution des eaux sont sans conteste coûteuses. Elles sont cependant indispensables, eu égard aux incidences économiques et sociales de ce véritable fléau. Encore faut-il se garder d'un perfectionnisme inutile, dû à l'intervention centralisatrice croissante d'une administration fédérale formée de théoriciens peu informés de la diversité des cas pratiques à résoudre par les cantons, les collectivités locales et les entreprises artisanales et industrielles.

En revanche, la répression des délits de pollution et des infractions aux dispositions réglementaires en matière de protection des eaux doit se traduire par des sanctions énergiques, seule arme dissuasive efficace.

3. B. Ferrini (Lugano):
Methodik und Umweltschutzkoordination

Es wurde ausgegangen vom Faktum, dass jedes unsachgemässe Eingreifen in die Regelkreise der Biosphäre wieder auf den Menschen und seine Gesundheit zurückfällt und bei Einbeziehung der Industriegesellschaft und ihrer Abfallprodukte ein stets globaler Kreisprozess in Gang gesetzt wird. Eine optimale Steuerung dieses Prozesses verlangt aber in jedem Fall, Eingriffe in den Komplex „Umwelt" in allen Wechselbeziehungen zu durchdenken. Es wurde gezeigt, dass kleine Veränderungen innerhalb von Teilbereichen durch die gegenseitige Verkettung sowohl zu Schäden als auch zu Verbesserungen führen können, die für den Betrachter isolierter Teilprobleme völlig überraschend sind. Die Untersuchung der einzelnen Systemzusammenhänge zeigt in der Tat, dass man der Problematik der Umweltschädigung nicht gerecht wird, wenn man ausschliesslich direkte statt auch verzweigte Ursachenketten betrachtet. Am Beispiel der Unternehmung „Monte Forno" wurde die adäquate Methodik und Umweltschutzkoordination näher ausgeführt.

4. H. Bretscher (Ciba-Geigy, Basel):
Lösung der Abwasserprobleme bei der Herstellung von Antibiotika am Beispiel des Werkes FERVET S.p.A.

Besprochen wird die Behandlung des Abwassers eines Werkes, das Antibiotika herstellt.

Das von festen Anteilen (Mycelien) und Lösungsmitteln befreite Abwasser wird nach folgenden vier Verfahren auf die bestmögliche Beseitigung der Verunreinigungen untersucht:

1. Mehrstufenverdampfung, Verbrennen des Konzentrats, dann Deponie des Rückstandes und Adsorption der in den Brüden vorhandenen organischen Verbindungen an Aktivkohle
2. Mehrstufenverdampfung wie oben und Brüdenoxidation bei 800 °C
3. Physikalisch-chemisch-biologische Abwasserreinigungsanlage mit anschliessender Aktivkohlebehandlung
4. Physikalisch-chemisch-biologische Abwasserreinigungsanlage mit Nitrifikation des NH_4-N und Denitrifikation durch Ansäuern, dann Neutralisation.

Die nach ökologischen, technischen und finanziellen Aspekten durchgeführte Evaluierung der vier Verfahren zeigt eindeutig die Überlegenheit der Mehrstufenverdampfung mit Adsorption der in den Brüden vorhandenen organischen Verbindungen an Aktivkohle. Daneben werden die weiteren Verwertungsmöglichkeiten der festen Abfälle und Lösungsmittel aufgezeigt und der Wärmekreislauf der Reinigungsanlagen besprochen.

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

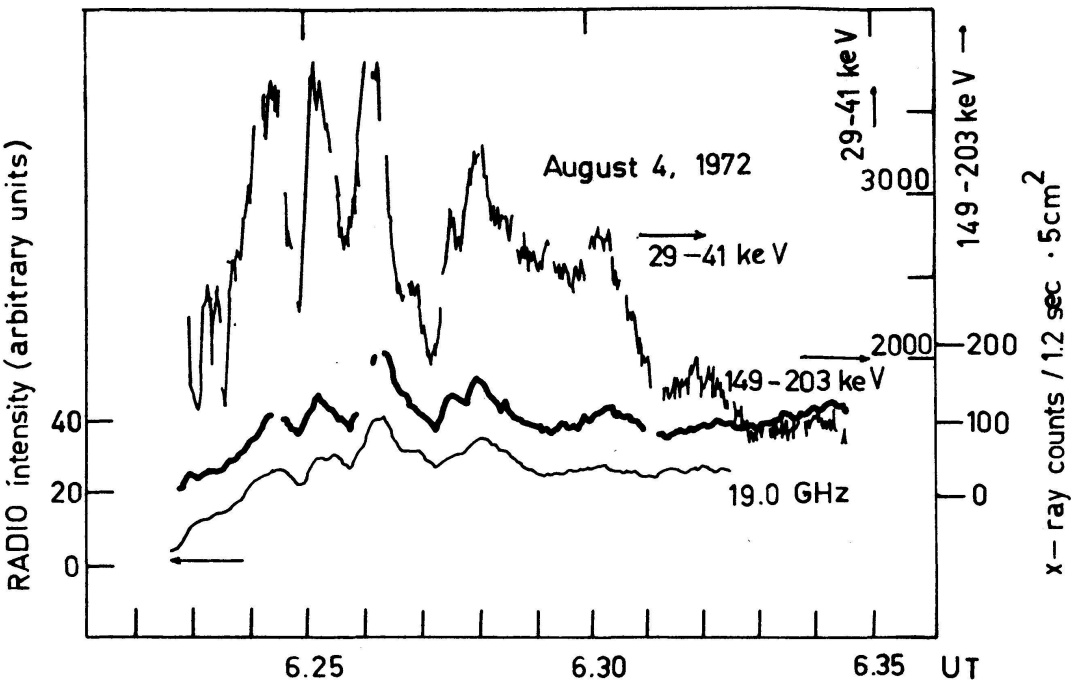


Abb. 1: Korrelation vom Röntgenfluss (z.B. Kanäle 29-41 keV und 169-203 keV, Daten vom ESRO-Satelliten TD-1A) mit dem 19 GHz Mikrowellenfluss F (Daten von Slough, England) (aus Benz, 1976).

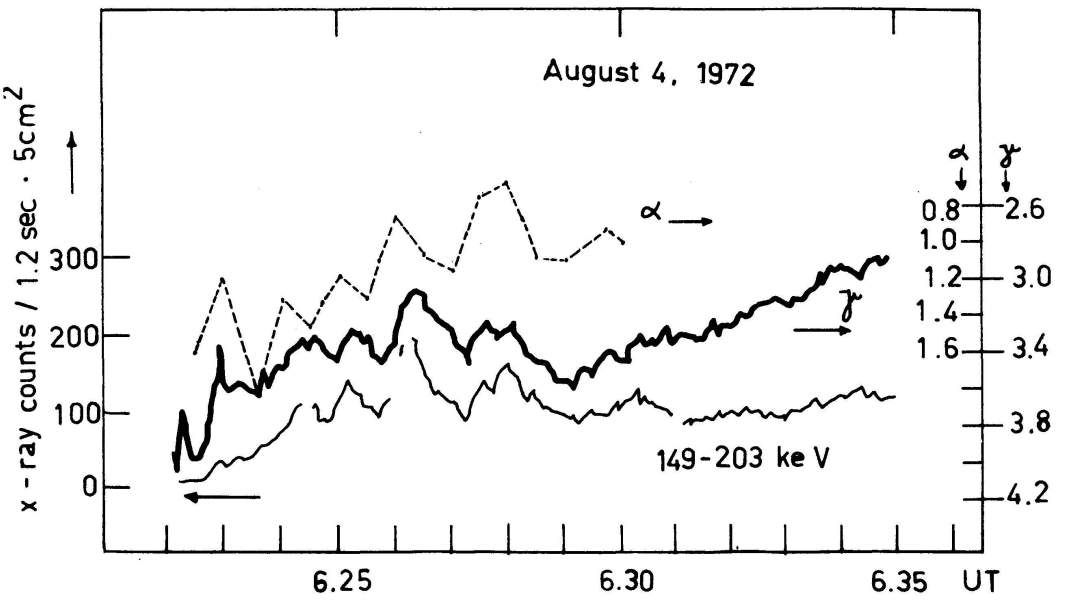


Abb. 2: Korrelation der spektralen Indizes von harten Röntgenstrahlen γ und Synchrotronstrahlung α (hochfrequente Seite vom Maximum) und Antikorrelation mit der Intensität, z.B. Röntgenfluss im Kanal 169-203 KeV (aus Benz, 1976).

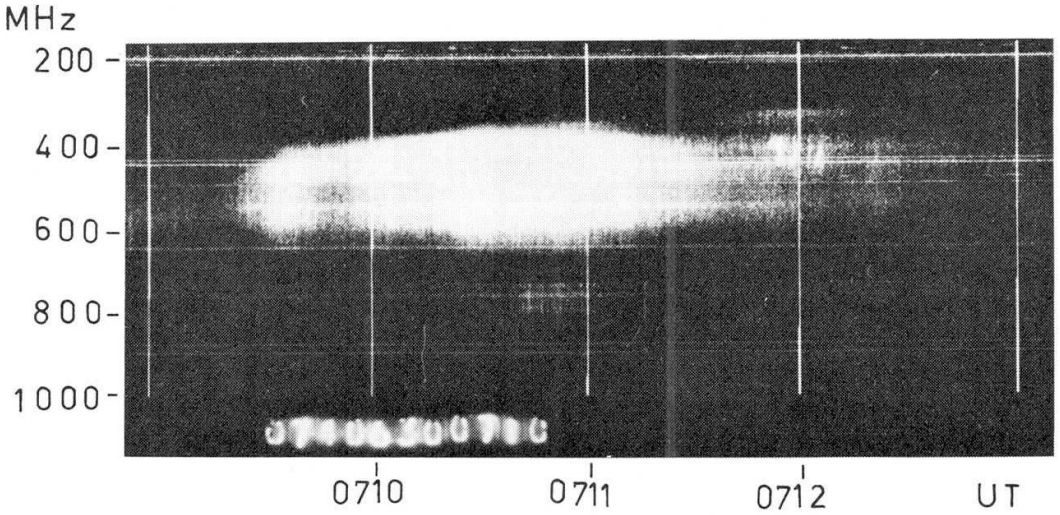


Abb. 3: Typ IV-dm-Radioburst vom 30. Juni 1974, 0710 WZ beobachtet mit dem Radiospektrographen der ETH in Dürnten. Die Frequenzskala geht von 100 MHz (oben) linear bis 1000 MHz (unten); vertikale Striche sind Minutenmarken, und horizontale Linien sind terrestrische Störsignale. Man beachte vor allem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

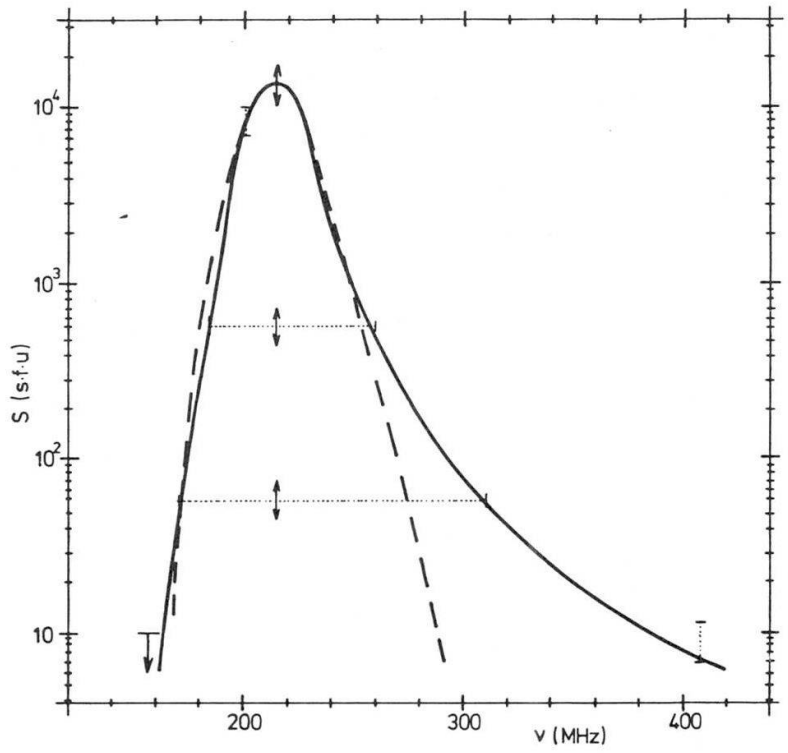


Abb. 4: Spektrum des Radioausbruchs vom 30. Januar 1970 im dm-Gebiet. Die gestrichelte Kurve stellt die berechnete, Razin-unterdrückte Synchrotronemission (in willkürlichen Einheiten) dar für monoenergetische Elektronen (v/c = 0.5) und Pitchwinkel = Aufsichtswinkel = $\pi/2$. Diese Kurve liefert eine 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.

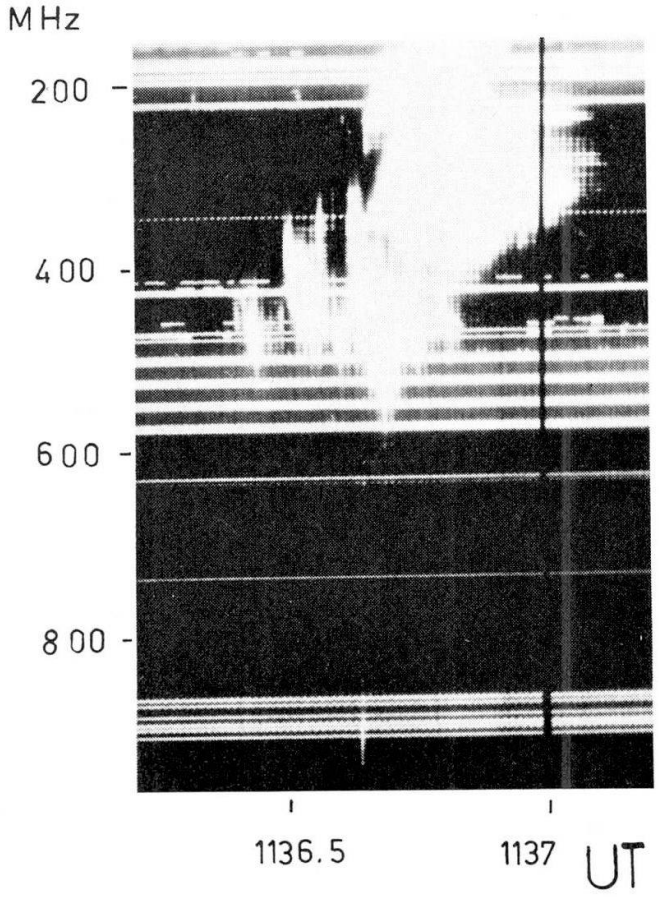


Abb. 5: Aufzeichnung des Typ III/V-Ausbruchs vom 24. Oktober 1972 mit dem Radiospektrographen der ETH und mit gleicher Darstellung wie in Abb. 3. Man beachte die verschiedene Form des Typ V-Bursts (nach 1136.7 WZ und unterhalb 400 MHz) von den vorangehenden Typ III-Bursts und die harmonische Struktur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

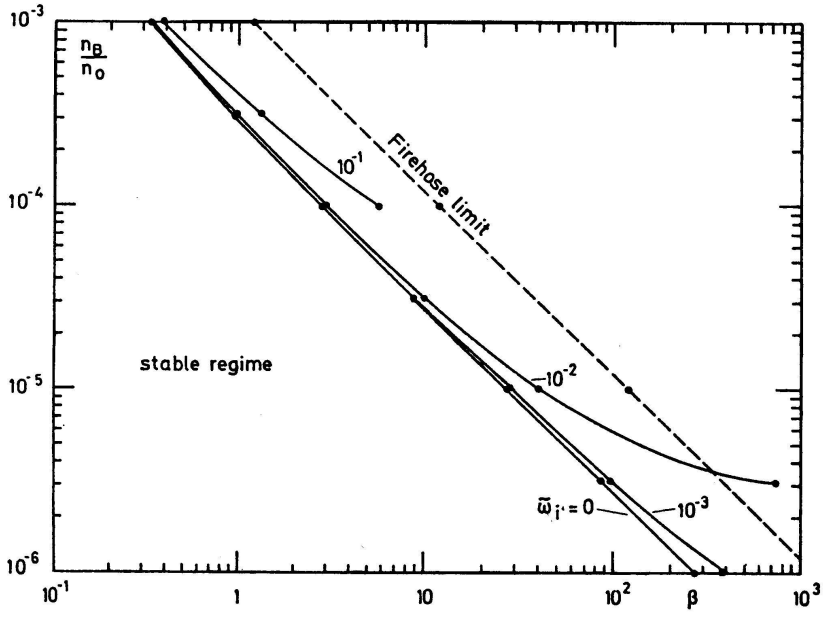


Abb. 6: Graphische Darstellung der numerischen Lösungen der Dispersionsrelation von Ionenzyklotronwellen in beliebig warmem Plasma. Es sind Kurven gleicher Anwachsrate $\tilde{\omega}_i$, aufgetragen mit β, dem Quotienten von Teilchen- zu magnetischer Energiedichte, als Abszisse und dem Verhältnis der 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 $^6\mathrm{Li} / {}^7\mathrm{Li} \leqslant 0.01$. 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-

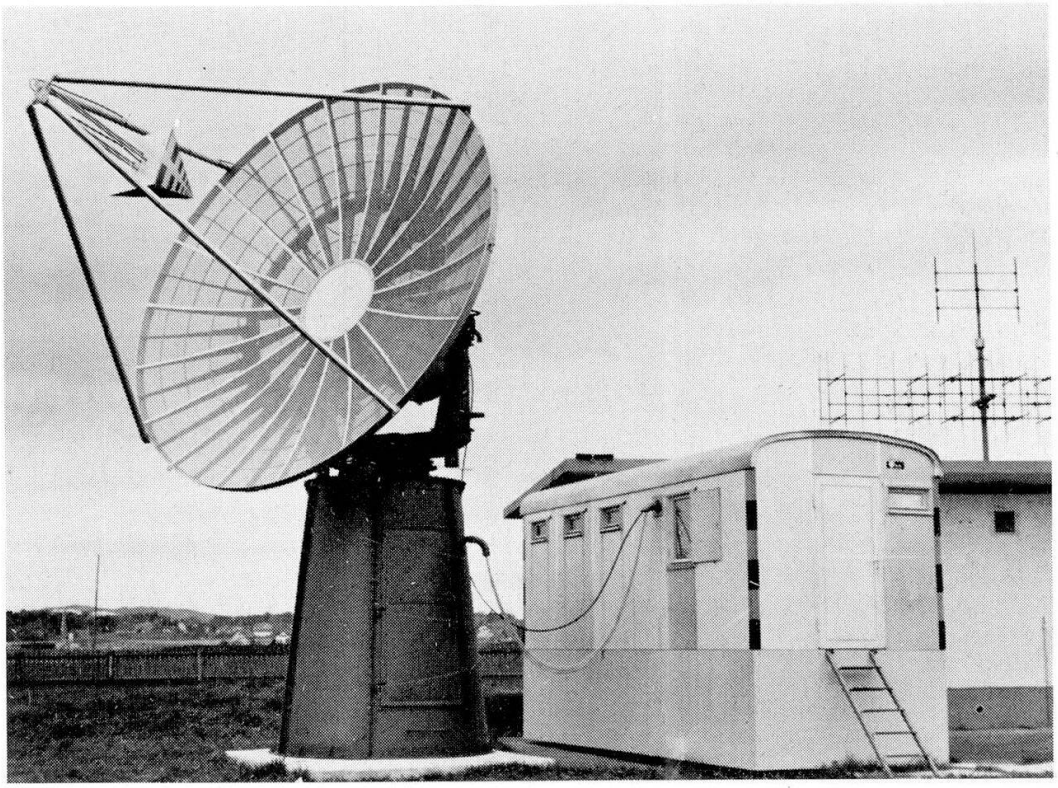


Abb. 1 Ansicht der Radiospektrographenanlage in Dürnten (ETH Zürich) mit Empfängermesswagen und 5 m-Antennenreflektor (Schweiz. Wagons- und Aufzügefabrik Schlieren) (aus Asper, 1975).

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-

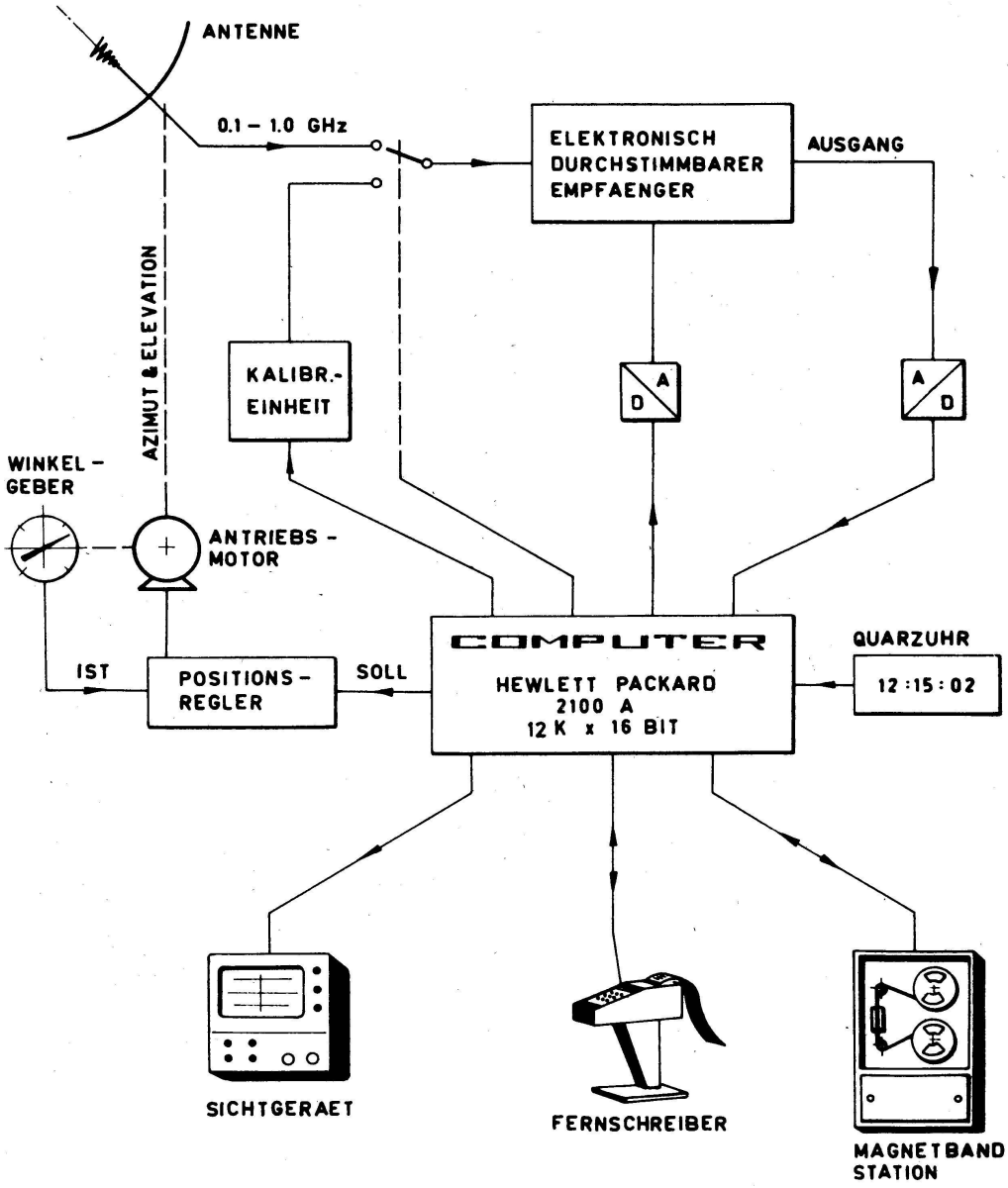


Abb. 2 Vereinfachtes Blockdiagramm der Empfangsanlage. Der Computer steuert die Empfangsfrequenz, die Antenne sowie die Kalibration des Empfängers. Anhand programmierbarer Burstkriterien werden nur Messdaten von solaren Radiobursts auf das Magnetband überschrieben. Das Sichtgerät dient zur Funktionskontrolle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

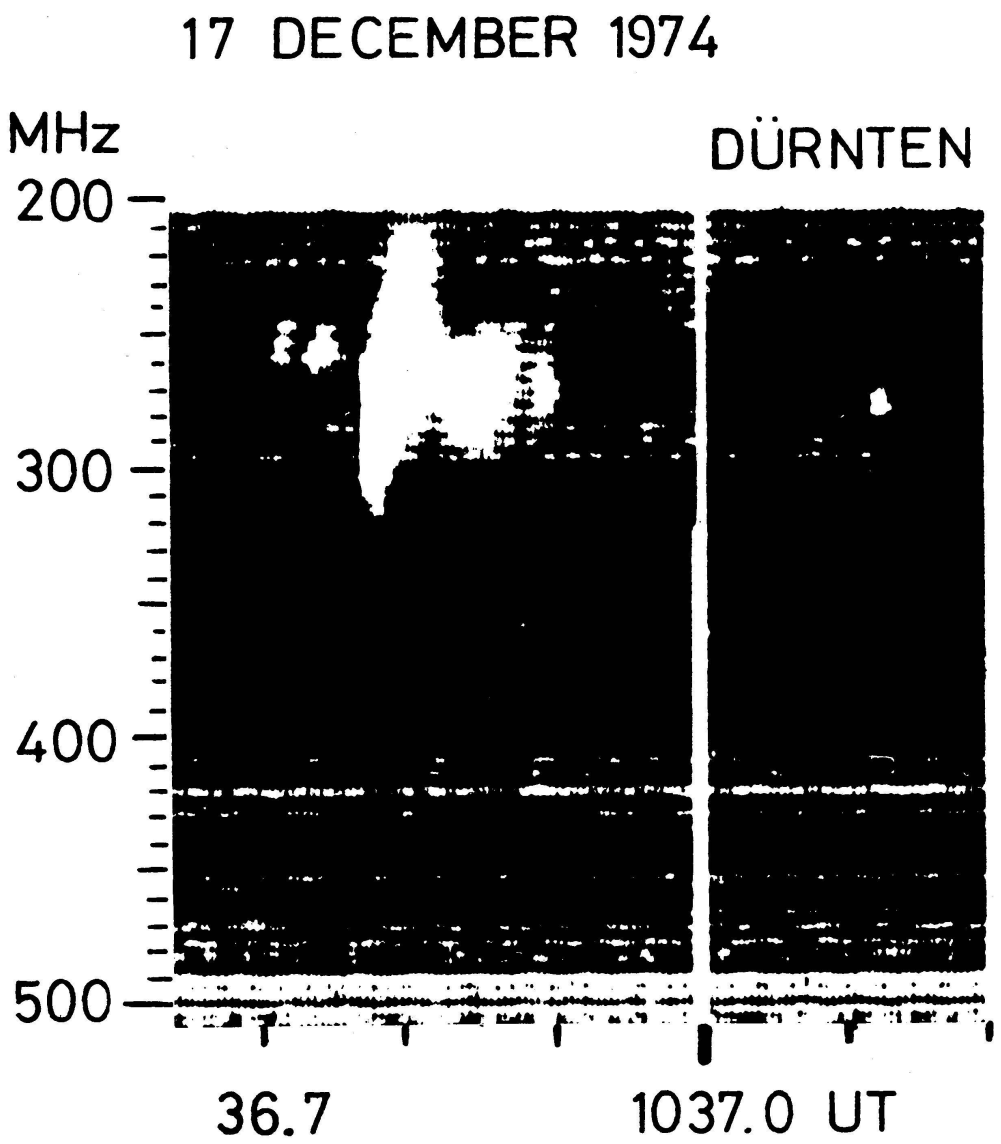


Abb. 3 Analogregistrierung eines solaren Radioausbruches durch die Anlage der ETH in Dürnten ZH. Die Zeit geht von links nach rechts; die Frequenz nimmt von oben nach unten zu. Hell bedeutet erhöhte Intensität der Sonnenstrahlung. Horizontale Linien sind terrestrische Störsignale (Sender), und die vertikale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

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

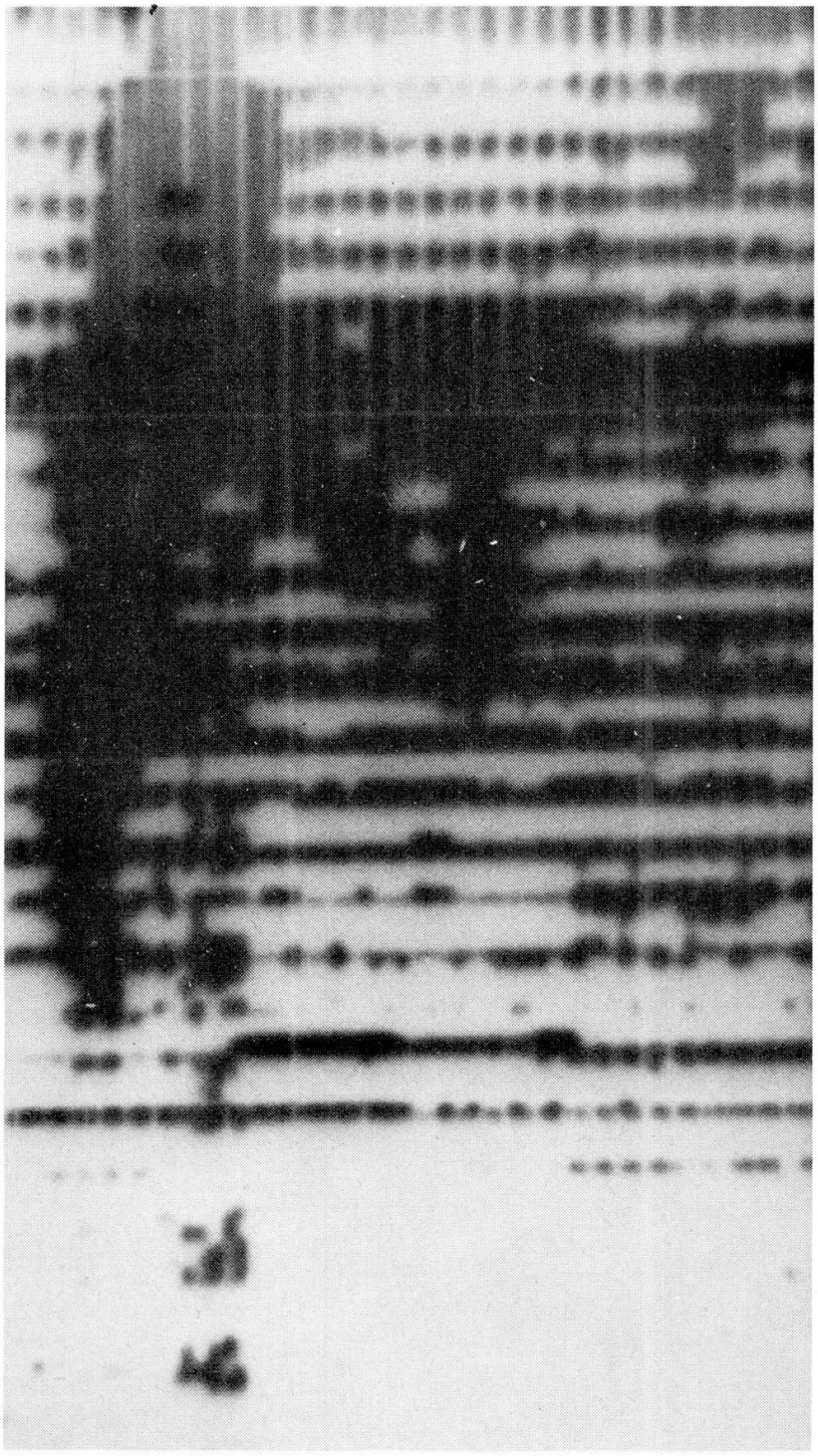


Abb. 4 Monitorbild der unverarbeiteten digitalen Rohdaten desselben Bursts wie in Bild 3. Die Darstellungsart ist dieselbe. Der Frequenzausschnitt ist kleiner, dafür die Zeitauflösung grösser.

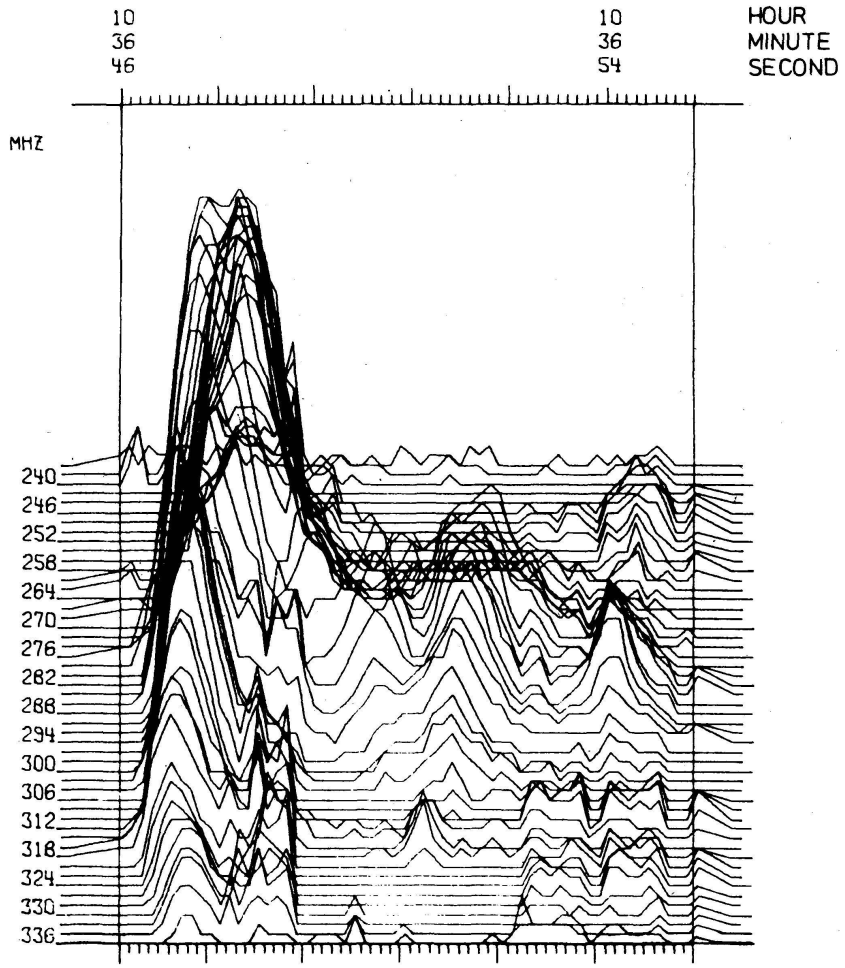


Abb. 5 Intensität (in willkürlichen logarithmischen Einheiten), als Funktion der Zeit für verschiedene Frequenzen dargestellt, die am linken Rand angegeben sind. Die Daten wurden geeicht (ruhiges Niveau subtrahiert) und in der Frequenzachse mit einem Tiefpassfilter verarbeitet. Die Zeichnung ist für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

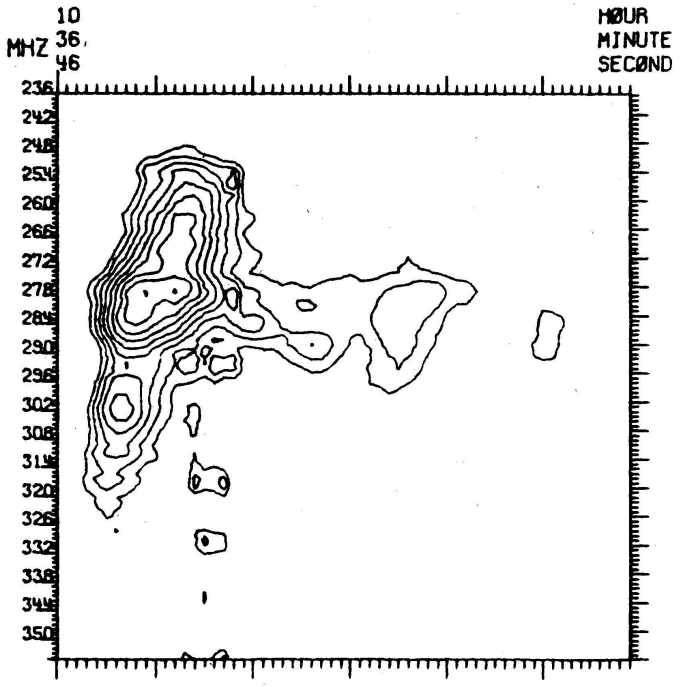


Abb. 6 Isointensitätskurven der gleichen Daten wie in Bild 5, in ähnlicher Darstellung wie Bild 3 gezeichnet. Die Aequidistanz ist in logarithmischen Einheiten bestimmt.

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.

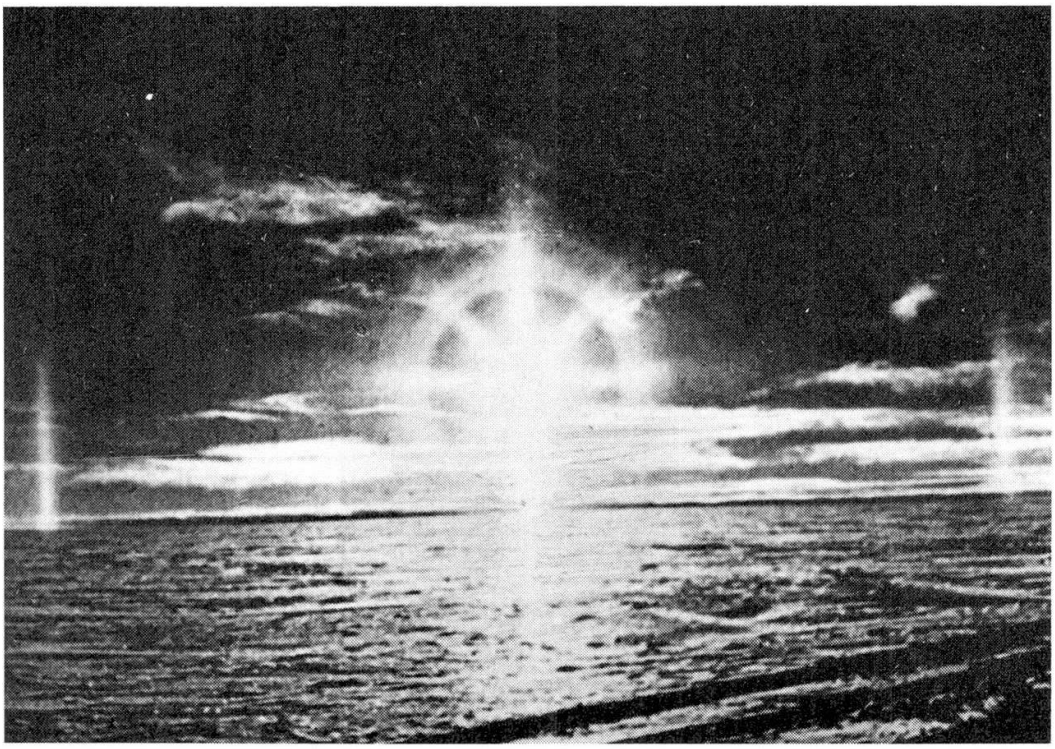


Abb. 1: Zwei farbige Unternebensäulen im Südpolargebiet. Durch die Sonne das weisse Kreuz und ein die Sonne umgebender, farbiger Kranz (aus „Der grosse Readers Weltatlas").

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.

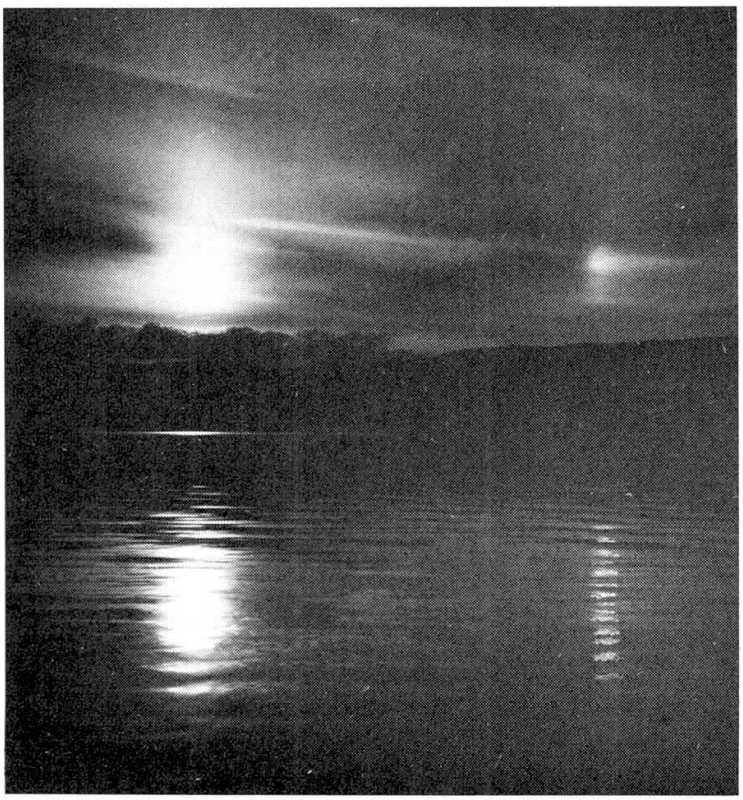


Abb. 2: Sonne und Nebensonne spiegeln sich in längeren Lichtstrassen auf ruhigerer Seeoberfläche.

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.

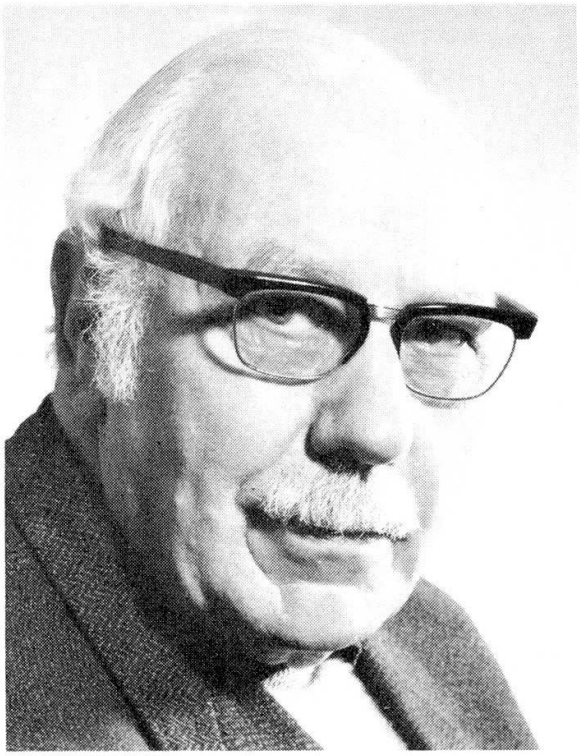
Fuchs, K., Mayer-Rosa, D. & Liebau, F., 1971: Lateral inhomogeneities of the earth's mantle and their petrological interpretation. Z.f.G., 37: 937–942.

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.

Leere Seite
Blank page
Page vide

F. Nekrologe für verstorbene Mitglieder der SNG
F. Nécrologies de membres de la SHSN
F. Necrologie di soci della SESN



Jean G. Baer

1902–1975

Avec Jean G. Baer, professeur honoraire à la Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel, a disparu une des grandes figures de la zoologie contemporaine et plus particulièrement de la parasitologie.

Après son baccalauréat au Gymnase de Neuchâtel, il commença des études de sciences et de médecine à l'Université de Genève. Mais il opta rapidement pour la biologie et, à l'âge de 23 ans, présenta sa thèse de doctorat en parasitologie à Neuchâtel. Il fit ensuite un stage de deux ans chez Charles Joyeux à Paris, puis travailla comme assistant au Museum d'Histoire naturelle de Genève, enseignant en même temps la parasitologie à la Faculté de Médecine de cette ville. Nommé chargé de cours à l'Université de Neuchâtel en 1936, il devint professeur ordinaire de zoologie et d'anatomie comparée en 1941, succédant ainsi à son maître Otto Fuhrmann à la tête de l'Institut de Zoologie. Jusqu'à sa retraite en 1972, il se dépensa sans compter pour doter son Institut de locaux et d'équipements modernes. J.G. Baer fut aussi recteur de l'Université de 1949 à 1951 et doyen de la faculté des sciences.

Jean G. Baer a marqué de sa forte personnalité de nombreuses volées d'étudiants en médecine et en biologie, assurant à lui seul un enseignement considérable. Ses anciens étudiants ne sont pas près d'oublier la clarté et la richesse de ses exposés qu'il animait d'anecdotes et ponctuait de boutades percutantes. Spécialiste reconnu de la parasitologie des Helminthes, il enseigna également à l'Institut Tropical de Bâle et comme professeur invité, pendant deux ans, au Graduate College de l'Université d'Illinois. Il fit

souvent partie de jurys de thèses à l'étranger, marquant par là le rayonnement de l'école d'Helminthologie de Neuchâtel à laquelle de nombreux parasitologistes du monde entier s'honorent d'appartenir.

Ses premiers travaux, consistant surtout en mises au point systématiques, se suivirent à une cadence rapide. Lorsque Jean G. Baer soutint sa thèse en 1925, il était déjà un helminthologiste confirmé. Sa rencontre avec Charles Joyeux à Paris décida définitivement de l'orientation de ses recherches, où l'étude des cycles larvaires tient une place prépondérante. Par la suite, il publiera encore très longtemps avec Ch. Joyeux et le nombre des travaux signés "Joyeux et Baer" s'élève à une centaine.

Après son séjour à Paris, Jean G. Baer se consacra à l'étude des Helminthes des Vertébrés suisses. Très exigeant quant à la qualité de son matériel, il le récolta en grande partie lui-même. Mais son insatiable curiosité scientifique ne se limita pas aux parasites indigènes et il décrivit avec autant de compétence des Helminthes d'hôtes plus lointains: Cétacés, Lémuriens, Okapi, Sarigue, etc. Il se passionna aussi pour un groupe de Vers mal connus, les Temnocéphales, qui vivent à la surface du corps de Crustacés sans être de véritables parasites. Jean G. Baer n'en dédaigna pas pour autant les parasites d'importance médicale et s'intéressa particulièrement aux Cestodes peu fréquents chez l'Homme, tels que *Raillietina* et *Inermicapsifer.*

Parmi ses nombreuses publications, certains ouvrages de synthèse sont rapidement devenus des classiques: Les "Cestodes" dans la "Faune de France" (1936), "Le Parasitisme" (1946), "Ecology of Animal Parasites" (1951). Aussi, vers 1950, la réputation de Jean G. Baer était mondialement établie. Appelé à effectuer plusieurs missions parasitologiques à l'étranger, il se rendit successivement à Cuba, en Côte d'Ivoire, au Groenland, au Congo et en Islande. Il parcourut ainsi le monde pendant une douzaine d'années, travaillant avec acharnement pour mener de front son enseignement et la publication des résultats de ses expéditions. En 1961 paraissait le tome IV du "Traité de Zoologie" de P.-P. Grassé où le nom de Jean G. Baer figure en bonne place parmi les auteurs.

Après cette importante contribution, J.G. Baer s'intéressa en particulier à une espèce rare de Bothriocéphale du Pérou, qu'il alla étudier sur place. Il écrivit ensuite un nouveau livre, richement illustré, "Les Parasites animaux" (1971). Son dernier travail important concerne les parasites de la Côte d'Ivoire, dont il a fait la révision critique. Il eut ainsi la satisfaction de constater l'avance des recherches scientifiques dans ce pays, pour lesquelles il s'est constamment et activement dévoué.

Parmi les publications de Jean G. Baer qui ne concernent pas la parasitologie, il faut relever ses études sur Louis Agassiz, de même que son "Cours d'anatomie comparée des Vertébrés" (1958).

Plusieurs distinctions attestent de la valeur des travaux de Jean G. Baer, en particulier le Prix de la Société Académique de Neuchâtel, qui récompensa la "Monographie des Anoplocephalidae" (1927), la Grande Médaille Etienne Geoffroy St-Hilaire de la Société d'acclimatation et de protection de la nature de France (1960) et le Doctorat honoris causa de l'Université de Montpellier (1965). De plus, de nombreuses sociétés scientifiques lui ont manifesté leur estime en le nommant membre correspondant, membre étranger ou membre d'honneur.

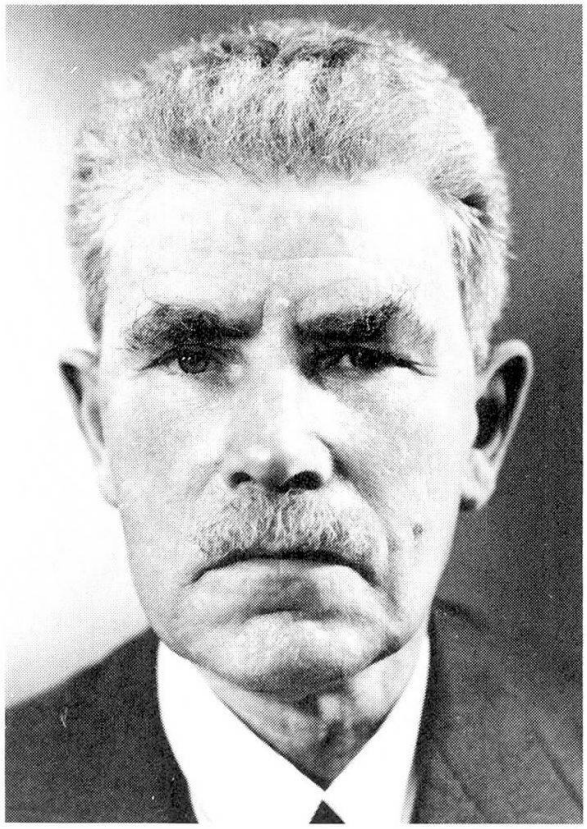
L'ensemble de l'œuvre de J.G. Baer est marqué par un sens aigu de l'évolution de la recherche et une intuition scientifique que ses collègues du monde entier ont rapidement décelée et appréciée. Il fut donc beaucoup sollicité et appelé à occuper des charges importantes: il présida la Fédération mondiale de Parasitologie, le comité spécial du Programme biologique international et l'Union mondiale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN).

Sur le plan national, ces mêmes qualités lui ont valu d'être appelé à siéger pendant 12 ans au Fonds national suisse de la Recherche scientifique. Il fut également membre du Conseil de Fondation de la Station ornithologique suisse de Sempach, membre fondateur du Centre suisse de Recherches scientifiques en Côte d'Ivoire et président de la Commission scientifique du Parc national.

Pour ses collaborateurs immédiats, Jean G. Baer fut dans le plein sens du terme un grand patron. Toujours actif et passionné par sa recherche, il ne se ménageait jamais et attendait de ses collaborateurs et de ses étudiants une même attitude. Ceux qui payaient ainsi de leur personne trouvaient auprès de lui un appui sans défaut et découvraient à travers le professeur d'Université capable de glacer son interlocuteur d'un seul coup d'oeil, la personnalité attachante d'un homme sensible, très gentleman, à la conversation brillante, plein d'humour et parfaitement à l'aise en toutes circonstances.

La disparition de Jean G. Baer laisse un grand vide dans le monde scientifique suisse et étranger, mais aussi dans le cœur de ceux qui l'ont bien connu et apprécié en tant qu'homme.

Institut de Zoologie, Neuchâtel



Fritz Baltzer

1884–1974
Ehrenmitglied der SNG

Fritz Baltzer wurde am 12. März 1884 in Hottingen bei Zürich geboren. Er starb am 18. März 1974 in Bern. Sein Vater war Ordinarius für Geologie und Mineralogie in Bern. Hier wuchs Fritz Baltzer auf und besuchte das Städtische Gymnasium. Er studierte zunächst in Bern bei Theophil Studer und später in Würzburg bei Theodor Boveri Zoologie, wo er auch doktorierte und sich habilitierte. Nach einer kürzeren Assistentenzeit bei Hans Spemann in Freiburg i.Br. wurde er 1921 als Ordinarius für Zoologie, vergleichende Anatomie und allgemeine Biologie nach Bern berufen. Bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1954 war er Direktor des Zoologischen Instituts. Noch weitere 16 Jahre blieb er aktiv an der wissenschaftlichen Forschung beteiligt, und bis zu seinem Tod im hohen Alter von 90 Jahren interessierte ihn die Arbeit seiner Schüler und Freunde lebhaft.

Fritz Baltzers Forschungstätigkeit lag hauptsächlich auf dem Gebiet der experimentellen Entwicklungsphysiologie, wobei ihn die Verbindung zur Genetik und Evolutionslehre besonders interessierte. Bastardierungsexperimente an Seeigeln zeigten, dass eine normale Entwicklung nur durch ein harmonisches Zusammenwirken von Kern und Cytoplasma zustande kommen kann. Die Studien an Seeigeln führten Baltzer an die Zoologische Station in Neapel. Hier nahmen dann auch seine zahlreichen Arbeiten und diejenigen vieler seiner Schüler an dem marinen Wurm Bonellia ihren Anfang. Die bei Bonellia entdeckte Art der Geschlechtsbestimmung ist mit dem Namen Baltzer verknüpft und in die Lehrbücher eingegangen. Die Probleme über die Bedeutung von Kern und Plasma griff er dann an einem neuen Objekt, an

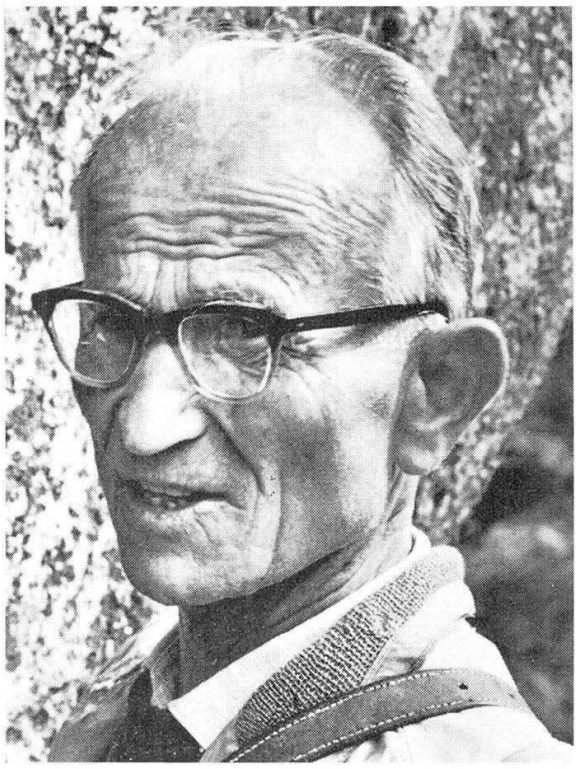
Amphibien, wieder auf. Die Technik der Herstellung von Keimen ohne mütterliche Chromosomen wurde verbessert, und Transplationsexperimente brachten die Möglichkeit, für bestimmte Gewebe den Ablauf auftauchender Letalkrisen in ihrer Abhängigkeit von Nachbargeweben zu erfassen. Diese Arbeiten wurden von seinen Schülern, besonders von E. Hadorn und dessen Schülern, fortgesetzt, wobei später an Stelle von Amphibien genetisch fassbare Letalmutanten von Drosophila traten.

Als Forscher war Baltzer international bekannt. Zahlreiche Ehrungen inländischer und ausländischer Akademien und Gesellschaften zeugen von weltweiter Anerkennung. Darüber hinaus können seine Schüler aber bezeugen, dass er auch ein begnadeter Lehrer war. Vorlesungen und Praktika wurden laufend verbessert. Die Lehramtskandidaten und Zoologen sollten aber nicht nur mit Vorlesungswissen und Laborerfahrung ausgerüstet werden. Baltzer organisierte und leitete viele Exkursionen, die sorgfältig vorbereitet wurden. Er informierte sich nicht nur über die zu erwartenden Tiere; Landschaft, Klima und Kultur einer Gegend gehörten dazu. Der Zoologe Baltzer entpuppte sich dabei oft als gewiegter Kunsthistoriker.

Neben seiner Lehrtätigkeit an der Universität wandte sich Fritz Baltzer mit Zeitungsartikeln und Vorträgen an ein weiteres Publikum und an die amtierende Lehrerschaft. Er war bestrebt, die Fortschritte der genetischen Entwicklungsphysiologie auch für das Verständnis humanbiologischer Probleme fruchtbar werden zu lassen. – Seine Vielseitigkeit und Arbeitskraft waren eindrücklich. Trotz ständig anwachsender Institutsgeschäfte hielt er am eigenen Experimentieren fest, fand aber auch immer Zeit für seine Studenten, Mitarbeiter und Kollegen. Sie alle behalten ihn in dankbarer Erinnerung.

S. Rosin

Gekürzte Fassung des Nachrufs auf F. Baltzer aus Archiv für Genetik 48, 3–8 (1975).
Publikationen 1954–1970 daselbst.
Publikationen 1908–1953: E. Hadorn: Zum 70. Geburtstag von Fritz Baltzer. Arch. Julius Klaus-Stift. XXVIII 1/4, 1953.



Eduard Frey

1888–1974

Eduard Frey ist in Meiringen im Oberhasli aufgewachsen. In Reuti am Hasliberg führte er 1909–1911 die Oberschule. Von 1914–1939 unterrichtete er an der Städtischen Mädchenschule, von 1939–1956 am Städtischen Lehrerinnenseminar Bern Biologie. Er bemühte sich um einen naturverbundenen Anschauungsunterricht, schuf ein Mittelschullehrbuch der Pflanzenkunde und einen modernen biologischen Schulgarten.

Unter der Leitung der Professoren Fischer und Rytz und in guter Kameradschaft mit Werner Lüdi erarbeitete er eine botanische Monographie des Grimselgebietes, das zu jener Zeit von der teilweisen Vernichtung durch die Grimselstauseen bedroht war. Die Arbeit wurde zum Markstein in der Entwicklung der modernen Geobotanik (Dissertation 1922). In ungewöhnlich breitem Mass behandelte Frey die Rolle der Moose und Flechten.

Das Hauptarbeitsgebiet von Eduard Frey war die Flechtenkunde, die Lichenologie. Sie war ihm nicht nur Hobby, sie war ihm Lebensinhalt bis in seine letzten Tage. Reisen nach Skandinavien, Spanien, in die Auvergne dienten seiner Fortbildung. Schon mit vierzig Jahren verfasste er eigenständige und hochgeschätzte Arbeiten. Ihm wurde die monographische Darstellung der grossen Flechtenfamilien der Cladoniaceen und der Umbilicariaceen am mitteleuropäischen Standardwerk von Rabenhorst übertragen. Dass er dabei Gesichtspunkte vertrat, die erst heute voll anerkannt werden, spricht für seinen systematischen Spürsinn und die Qualität seiner Arbeit. Die Schweiz ist stolz auf den international hochgeschätzten Lichenologen.

Den Flechtenspezialisten zog man überall gerne zur Mitarbeit bei:
– er war bis zuletzt Mitarbeiter in der wissenschaftlichen Nationalparkkommission und hat die Flechtenflora des Schweizerischen Nationalparks sorgfältig und nach modernen Gesichtspunkten beschrieben, indem er Lebensbedingungen und Entwicklungstendenzen in die Untersuchung einbezog,
– er war 1940–1967 Mitglied der Pflanzengeographischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und diente ihr 15 Jahre als Schriftführer,
– er ist Mitgründer der 1956 gegründeten Schweizerischen Vereinigung für Bryologie und Lichenologie und hat an fast allen Veranstaltungen als Exkursionsleiter mit vollem Einsatz teilgenommen,
– er war eifriges Mitglied der Bernischen Botanischen Gesellschaft und diente ihr zehn Jahre als Präsident,
– er war Mitherausgeber der Herzogia, der Zeitschrift der bryologisch-lichenologischen Arbeitsgemeinschaft Mitteleuropas,
– er war vielen jungen Lichenologen ein geduldiger Lehrer und väterlicher Freund,
– er hat in zahllosen Gebieten der Schweiz die Flechtenflora bearbeitet, z.T. als Mitarbeiter an Lokalfloren, z.T. im Hinblick auf eine zusammenfassende Darstellung der Flechten der Schweiz, zu der zwei erste Beiträge 1959 und 1963 erschienen,
– er hat der Flechtenflora und -vegetation der Tauernkette, der Westalpen, Nordeuropas, Afrikas, Australiens, Nepals ausführliche Arbeiten gewidmet.

Die Grösse der Aufgabe hat schliesslich menschliche Arbeitskraft überstiegen: der Tod hat Eduard Frey in seinem sechsundachtzigsten Lebensjahr Lupe und Stift und Buch aus der Hand genommen. Die philosophisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Bern ehrte Eduard Frey durch Verleihung der Hallermedaille mit der Laudatio: „Für sein reiches wissenschaftliches Schaffen in der Flechtenkunde, für die verantwortungsbewusste Nachwuchsförderung auf seinem lichenologischen Spezialgebiet und für seine vielseitige Förderung des naturwissenschaftlichen Unterrichts und der Ideen des Naturschutzes".

Einige weitere biographische Angaben finden sich in den Mitt. Natf. Ges. Bern N.F. 26, 1969, S. 74–77, und 32, 1975, S. 141–143, wo sich auch das Verzeichnis der wissenschaftlichen Publikationen findet, sowie im Vorwort von J. Poelt zu dem Eduard Frey zum 80. Geburtstag gewidmeten Band der Herzogia 1, 2, 1969, S. 74–78.

M. Welten

Gustave Joyet

1904–1973

Nachruf – verfasst von Hans H. Staub – erschienen im Jahresbericht der Universität Zürich 1973/1974.

Pierre Ed. Marmier

1922–1973

Pierre Edouard Marmier, Bürger von Sévaz, wurde am 8. Januar 1922 in Neuhausen am Rheinfall geboren. Er besuchte in Freiburg die Primarschule und das Gymnasium. Im Herbst 1941 immatrikulierte er sich an der Abteilung für Mathematik und Physik der ETH in Zürich. Nachdem er im Frühjahr 1947 das Diplom als Physiker erhalten hatte, wurde er Assistent am Physikalischen Institut der ETH, an dem Wolfgang Pauli als Theoretiker und Paul Scherrer als Experimentalphysiker wirkten. Scherrer förderte das zu dieser Zeit neue Gebiet der Kernphysik mit grösster Tatkraft. Marmier experimentierte am 6,8-MeV-Zyklotron, an dem damals in kurzer Folge eine Reihe von Arbeiten über den Verlauf von Wirkungsquerschnitten und über die Gammaspektren verschiedener Elemente entstand. 1950 promovierte er mit der Dissertation „Fonctions d'excitation de la réaction (p, n)". Seine Wanderjahre führten ihn an das California Institute of Technology; als Senior Research Fellow arbeitete er sich unter dem Altmeister der Röntgenspektroskopie, J.W.M. DuMond, in den Jahren 1952–1955 gründlich in das Gebiet der β- und γ-Spektroskopie ein. Bald holte ihn Scherrer wieder an die ETH zurück. 1955 habilitierte sich Marmier mit einer Arbeit über den Zerfall der Tantalisotope; 1957 wurde er ausserordentlicher und ein Jahr später ordentlicher Professor an der ETH.

Nach dem Rücktritt von Paul Scherrer im Frühjahr 1960 wurde Marmier Leiter des neu gegründeten Laboratoriums für Kernphysik. Damit übernahm er auch die im Physikalischen Institut aufgestellten Beschleuniger: das Zyklotron, einen Van-de-Graaff-Bandgenerator, der zu einem 500-kV-Kaskadenbeschleuniger umgebaut worden war, den 600-kV-Tensator, der

erstmals an der Landesausstellung 1939 gezeigt worden war, und einen 160-kV-SAMES-Generator. Marmier beschloss, alle diese Beschleuniger sukzessive, d.h. nach Beendigung der laufenden Doktorarbeiten, stillzulegen und durch eine einzige, moderne und leistungsfähige Maschine zu ersetzen. Seine Wahl fiel auf einen 6-MV-Tandem-Van-de-Graaff-Beschleuniger, der von der Firma High Voltage Engineering Corp. betriebsbereit geliefert wurde. Diese Wahl hat sich als sehr glücklich erwiesen, gibt es doch auch heute, 15 Jahre später, keine andere Maschine, die für die Untersuchung von Kernreaktionen bei tiefen Energien und für die Anwendung der Kernphysik in anderen Wissensgebieten wesentlich besser geeignet wäre.

Dank des unermüdlichen Einsatzes von Marmier konnte 1963 die wissenschaftliche Arbeit im Maschinentrakt, dem ersten Forschungsbetrieb der ETH auf dem Hönggerberg, aufgenommen werden. Ein Jahr später war auch der Forschungstrakt des Laboratoriums bezugsbereit. Mit allen Kräften und grossem Weitblick sorgte Marmier dafür, dass die Beschleunigeranlage und die zugehörigen Experimentiereinrichtungen kontinuierlich ausgebaut und stets auf dem neuesten Stand gehalten wurden. Dabei war ihm das enge Zusammenwirken von Experimentalphysikern, Theoretikern, Ingenieuren, technischen und handwerklichen Mitarbeitern ein wichtiges Anliegen. Unter seiner Leitung entstanden rund 200 wissenschaftliche Publikationen, in denen die verschiedenartigsten Probleme behandelt wurden, wobei in einer Reihe von Arbeiten wirkliches Neuland beschritten wurde.

Marmier war in wissenschaftlicher Hinsicht ungewöhnlich liberal und grosszügig. Er legte Wert darauf, dass bereits die Doktoranden Gelegenheit hatten, selbständig ein Experiment zu planen, durchzuführen und auszuwerten. Er hatte eine starke Abneigung gegen jene wissenschaftlichen Grossprojekte, bei denen ein fernes Komitee die Arbeit bestimmt und jungen Forschern die Rolle von spezialisierten Fliessbandarbeitern zuweist. Neben seiner Toleranz hat aber vor allem die nie erlahmende Sorgfalt und unermüdliche Aufmerksamkeit, mit welcher er den Fortgang der Arbeiten überwacht und gefördert hat, seine Mitarbeiter und Schüler tief beeindruckt. Er wusste auch über scheinbar nebensächliche Einzelheiten, etwa des Beschleunigers, wie kein anderer Bescheid. Ebenso kannte und respektierte er die persönlichen Eigenheiten jedes Mitarbeiters.

1969 wählten die Professoren der ETHZ Marmier zu ihrem Rektor. Dieses Amt hat ihn sehr stark beansprucht, da es mit seinem Pflichtbewusstsein unvereinbar war, irgendeine Sache nur halb zu tun. Auch als Rektor der Hochschule blieb er in engem Kontakt mit seinem Laboratorium; am späten Abend oder am Sonntag war er fast immer auf dem Hönggerberg anzutreffen. Er freute sich in zunehmendem Masse darauf, sich wieder ganz der Forschung widmen zu können. Er war voller Ideen für neue Experimente. Vor allem wollte er seine Arbeiten über kernphysikalische Untersuchungsmethoden in der Physiologie, die er schon 1960 aufgenommen hatte, als kaum jemand von der Wünschbarkeit interdisziplinärer Forschungsprojekte sprach, weiterführen. Doch sollte es nicht dazu kommen: Pierre Marmier starb am 3. September 1973, wenige Wochen vor dem Ende seiner Amtszeit als Rektor.

H. Jung

Robert A. Naef

1907–1975

Am 13. März 1975 starb nach kurzer Krankheit völlig unerwartet Robert A. Naef, ein Liebhaberastronom, der nicht nur für alle Sternfreunde in der Schweiz ein Begriff war, sondern der auch weit über die Grenzen unseres Landes hinaus bekannt geworden ist. Das ist für einen Amateur ungewöhnlich, und es ist in der Hauptsache seinem jährlich erscheinenden „Sternenhimmel" zu verdanken, einem inhaltsreichen Büchlein, in dem man alles finden kann, was am Himmel vor sich geht.

Seit 1926 war Naef als Demonstrator an der Urania-Sternwarte in Zürich tätig. So musste er stets gut darüber informiert sein, was sich am Himmel zu zeigen lohnte. Es gibt grosse astronomische Jahrbücher; sie enthalten eine Fülle von Zahlen, und aus diesen kann man im Prinzip all dies entnehmen. Für den praktischen Gebrauch müssen aber diese Zahlen geeignet kombiniert und in eine verständliche Sprache übersetzt werden. Der Beobachter will wissen, wann und wo ein Planet am Himmel zu sehen ist und wie er sich unter den Sternen bewegt, wann und in welchem Abstand der Mond an ihm vorbeizieht, wann vielleicht zwei Planeten nahe aneinander vorbeigehen, wann der Mond einen Stern oder gar einen Planeten bedeckt, wann sich eine Finsternis ereignet und wie ihr Verlauf am Beobachtungsort ist, um nur ein paar wenige Beispiele zu nennen. Es gab schon immer populäre Himmelskalender, die solche Angaben in anschaulicher Weise darstellten; als aber im zweiten Weltkrieg die internationalen Verbindungen schwierig wurden, entschloss sich Naef, für die Schweiz etwas Derartiges selber herauszugeben. So erschien Ende des Jahres 1940 „Der Sternenhimmel 1941". Es war zuerst ein dünnes Büchlein, doch Jahr für Jahr wurde es umfangreicher, immer mehr

wurde hinzugefügt, damit man wirklich alles darin findet, was man sucht, und noch dazu in übersichtlicher Anordnung und in anschaulicher Darstellung. Wie zweckmässig Naefs „Sternenhimmel" angelegt ist, zeigt seine Verbreitung, nicht nur in der Schweiz, sondern auch in vielen anderen Ländern. Schon zu Beginn von 1975 hatte Naef mit der Vorbereitung des Buches für 1976 begonnen. Wir können froh sein, dass die Fortführung seines „Sternenhimmels" gewährleistet ist; Dr. Paul Wild von der Universitäts-Sternwarte Bern hat die künftige Bearbeitung und Herausgabe übernommen.

Nur wenige ahnen, wieviel Arbeit, Mühe und Sorgfalt es kostet, ein solches Buch wie den „Sternenhimmel" fertigzustellen, dafür zu sorgen, dass nichts vergessen wird, darauf zu achten, dass alle Angaben exakt richtig sind. Man muss dankbar sein, wenn jemand so etwas gewissenhaft tut, es beharrlich durchführt und ständig noch verbessert. 35 Jahrgänge hat Naef herausgegeben, eine beachtliche Reihe, auf die man stolz sein kann.

Man könnte noch manches über Robert A. Naef berichten, doch soll dies nur kurz erwähnt werden, es ist nur die Umrahmung seines eigentlichen Lebenswerkes, jenes jährlichen „Sternenhimmels". Bis zu seinem Tode war er als Demonstrator an der Urania-Sternwarte in Zürich tätig, und es gibt viele, die er dadurch für die Sterne, für die Astronomie begeistert hat. Eine aktive Rolle spielte er immer in der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft (SAG), die er 1938 mitgegründet hat. Die ganze Zeit über war er in ihrem Vorstand, und viele Jahre war er an der Redaktion der Zeitschrift ORION dieser Gesellschaft beteiligt, die er auch nachher noch mit Beiträgen bereicherte. Naef war Mitglied von mehreren wissenschaftlichen Gesellschaften wie der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, der deutschen Astronomischen Gesellschaft, der International Union of Amateur Astronomers. Häufig nahm er an Tagungen und Kongressen teil, konnte dadurch so manchen Bericht für den ORION liefern, so manche wichtige Verbindung anknüpfen. So hatte er tatsächlich einen weltweiten Bekanntenkreis und eine dementsprechende recht umfangreiche Korrespondenz. Es gibt viele, die ihn vermissen, und es ist etwas sehr Schönes, wenn man das sagen kann.

Helmut Müller

Padrot Nolfi

1903–1973

Am 8. Oktober 1973 starb in Zürich Prof. Dr. Padrot Nolfi. Wenige Augenblicke, nachdem seine Frau von einem unheilbaren Leiden erlöst worden war, bereitete ein Herzversagen seinem Leben ebenfalls ein Ende. Ein hervorragender Wissenschafter und Praktiker, ein feinfühliger und gütiger Mensch nahm für immer Abschied.

Padrot Nolfis Wiege stand in einem Bauernhaus seiner rätoromanischen Heimatgemeinde Tschierv im bündnerischen Münstertal. Er besuchte dort die Primarschule und anschliessend im Hauptort des Tales, in Sta. Maria, die Sekundarschule. Schon früh hatte der Knabe in Haus und Hof und auf dem Felde zu helfen, und wenn er viele Jahre später in seinem Buch über das Münstertal schreibt: „wer treu zur Scholle hält, hat es nicht leicht. Er muss sparen und anstrengend arbeiten – aber er ist ein freier Mensch; er ist selber Herr und Meister, und seine Arbeit bringt ihm Glück und Segen", so erkennt man, wie sehr schon die Jahre der Kindheit den Charakter des Verstorbenen formten. 1919 trat Padrot Nolfi in die Kantonsschule in Chur ein, und 5 Jahre später, 1924, immatrikulierte er sich an der Universität Bern, wo er Mathematik und Physik studierte. Daraufhin übte er verschiedene Tätigkeiten aus, bis er 1928 Vorsteher der mathematischen Abteilung für Gruppenversicherung bei der VITA-Lebensversicherungsgesellschaft wurde. Auf den 1. Januar 1941 wählte ihn der Zürcher Stadtrat als Verwalter der Versicherungskasse der Stadt Zürich. Hier fand Padrot Nolfi den ihm zusagenden Wirkungskreis, in dem er trotz der immensen Arbeitslast, die das Amt mit sich brachte, seine Neigung zu wissenschaftlicher Tätigkeit voll entfaltete. In regelmässiger Folge publizierte er Arbeiten, von denen viele Probleme der Versicherungsmathematik und insbesondere der Personalversicherung behandelten, oft aber auch erkenntnistheoretische und philosophische Fragen zum Gegenstand hatten. Unter diesen Veröffentlichungen sind die Technischen Grundlagen für Pensionsversicherungen, die VZ 1950 und die VZ 1960, besonders hervorzuheben. Mit ihnen schuf er ein grossartiges und wertvolles Grundlagenwerk, das im In- und Ausland grosse Beachtung fand und in vielen Pensionskassen für die technischen Berechnungen verwendet wird.

Im Jahre 1944 erhielt Padrot Nolfi einen Lehrauftrag an der ETH, und im Jahre 1956 verlieh ihm der Bundesrat in Anerkennung seiner Verdienste die Würde eines Titularprofessors. Aber auch vielen Organisationen widmete der Verstorbene seine unerschöpfliche Arbeitskraft. So betreute er während vieler Jahre die Zeitschrift „Dialectica", und während dreier Jahre war er Redaktor der „Mitteilungen" der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, deren Vorstand er von 1959 bis 1970 angehörte. Die Vereinigung dankte ihm für seine grosse Arbeit, indem sie ihn nach seinem Ausscheiden aus dem Vorstand zum Ehrenmitglied ernannte.

Padrot Nolfi war zudem Mitbegründer der Konferenz der Geschäftsleiter von Personalversicherungen, die er in den ersten 8 Jahren präsidierte und zu einer geschätzten und aktiven Gemeinschaft entwickelte. Aus Dank-

barkeit und Anerkennung ernannte ihn die Konferenz nach seinem Rücktritt zum Ehrenpräsidenten.

Mehr als einmal hatte der Kantonsschüler Nolfi bei Anbruch der Schulferien den Weg von Chur ins heimatliche Münstertal zu Fuss zurückgelegt, zum einen aus Freude an der Wanderung durch die bündnerische Bergwelt, zum anderen aber auch, um mit Einsparung der Kosten von Bahn- und Postreise an die Tiefhaltung seiner Ausbildungskosten beizutragen. In dieser beachtlichen körperlichen und auch mutigen Leistung des Jünglings (man muss nur auf einer Karte die Distanz und Höhenunterschiede, insbesondere über den Flüela- und den Ofenpass, nachsehen) zeigte sich voll und ganz die Persönlichkeit des Verstorbenen. Hatte er ein Problem und auch seine Lösungsmöglichkeiten erkannt, dann machte er sich ohne Umstände an die Arbeit und überwand in systematischem Vorgehen die Hindernisse. Auch die ökonomische Ader erwies sich als wertvoll, war es ihm doch bei seinen Beratungen von Pensionskassen stets ein Hauptanliegen, diese von ungenügend finanzierten Leistungen abzuhalten. Ebenso hatten die Liebe zur Natur, das Staunen über ihre Wunder und Geheimnisse und das gütige Verständnis für den Mitmenschen hier ihre Wurzeln.

Padrot Nolfis beispiellose Pflichtauffassung und Hingabe an Wissenschaft und Beruf bleiben ein unvergessliches Vorbild und sichern ihm ein gutes Andenken.

Walter Jann

Emile Novel

1907–1974

Emile Novel, citoyen genevois, était né le 29 octobre 1907 à Genève, où il a fait toutes ses études, au Collège de Genève puis à l'Université, gravissant tous les échelons jusqu'aux titres de licencié ès sciences naturelles et de docteur ès sciences (1943). En 1942 il est lauréat de la faculté des sciences de l'Université (Prix Davy), pour un important travail sur les techniques de numération bactérienne.

Après un bref passage dans l'enseignement privé au collège de Florimont, Emile Novel se tourne vers les problèmes qui le passionneront toute sa vie: la bactériologie et l'hygiène. Il devient chef des travaux au laboratoire de bactériologie et d'hygiène dirigé par le professeur Th. Reh puis par le professeur Ed. Grasset. Nommé privat-docent à la faculté des sciences, il enseigne durant de nombreuses années la microbiologie appliquée au diagnostic des maladies humaines et animales et à l'analyse bactériologique des denrées alimentaires.

En 1946, Emile Novel est nommé chef du service cantonal d'analyses bactériologiques et biologiques, et, en 1960, chef du service d'hydrobiologie et de microbiologie des denrées alimentaires, à l'Institut d'hygiène de Genève.

Au cours de cette période et jusque vers 1970, il fait de nombreuses conférences et communications scientifiques. Il publiera près d'une centaine d'articles, les premiers plus particulièrement consacrés à la bactériologie humaine, pour se vouer ensuite aux problèmes de bactériologie des denrées alimentaires et de l'eau: l'analyse bactériologique quantitative (les techniques de dénombrement des germes) deviendra alors "son domaine" par excellence.

Emile Novel fut membre d'une dizaine de sociétés scientifiques et de plusieurs commissions cantonales ou fédérales.

Il fut membre, notamment, à titre d'expert, de la commission fédérale chargée de la revision du "Manuel suisse des denrées alimentaires" en ce qui concerne la bactériologie générale (1948) et les eaux potables (1949). Il assura également la traduction en français de divers chapitres dudit manuel.

Emile Novel fut un grand admirateur de l'œuvre de Pasteur et jusqu'à la fin il se montra très respectueux des traditions dues à son maître.

Nous sommes persuadés que les services rendus par Emile Novel à la bactériologie appliquée à l'hygiène sont unanimement reconnus et qu'on rendra à sa mémoire l'hommage qu'elle mérite.

Rolf F. Rutsch

1902–1975

Rolf F. Rutsch wurde 1902 in Bern geboren, wo er die Schulen und die Universität absolvierte. Im Jahre 1926 beendete er das Geologiestudium mit dem Dr. phil. nat. Anschliessend wirkte er als wissenschaftlicher Sachbearbeiter am Naturhistorischen Museum in Basel und habilitierte sich 1935 an der dortigen Universität. Während etwa 20 Jahren führte Rolf F. Rutsch im Auftrage der internationalen Erdölindustrie grundlegende paläontologisch-stratigraphische Studien durch; diese Tätigkeit führte ihn unter anderem nach Trinidad und Venezuela. Im Jahre 1939 liess er sich in Bern nieder und wurde in der Folge mit Lehraufgaben an den Universitäten Bern und Neuenburg betraut. 1948 wurde er zum Extraordinarius für Geologie und Paläontologie in Bern ernannt; die Berufung in das entsprechende Hauptamt erfolgte im Jahre 1964. Unter seiner Anleitung entstanden 15 Dissertationen von Geologen, die vornehmlich im schweizerischen Mittelland tätig waren. Als Resultat dieser grundlegenden Untersuchungen konnte der geologischen Kommission das Kartenwerk für einen geschlossenen Teil des bernischen Mittellandes zur Verfügung gestellt werden. Seine Tätigkeit in Fragen der wissenschaftlichen Klärung der stratigraphischen Terminologie führte zur Berufung in das Direktorium des „Lexique Stratigraphique International". Als geschätzter Gutachter für Bund, Kantone und viele Gemeinden betätigte sich Rolf F. Rutsch mit viel Erfolg in den Bereichen Hydrologie und Ingenieurgeologie. Ihm verdanken wir auch den Entwurf zu einem eidgenössischen Erdölgesetz, sowie die Mitarbeit an kantonalen Bergbau- und Wassernutzungsgesetzen. Im Jahre 1942 wurde Rolf F. Rutsch Mitglied der Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingeni-

eure, als deren Präsident er zwischen 1951 und 1957 amtete. Die Vereinigung ernannte ihn zum Ehrenmitglied, und als Dank für die langjährige Tätigkeit gab sie zu seinem 70. Geburtstag eine Festschrift heraus. Rolf F. Rutsch war immer bestrebt, sein Wissen auch anderen zu übermitteln; so erschienen zwischen 1921 und 1973 aus seiner Feder über 100 Publikationen. Ein Verzeichnis seiner Veröffentlichungen erschien im V.S.P. Bulletin, Vol. 39, Nr. 96, 1973.

Seine grundlegenden Fachkenntnisse, gepaart mit einem kritischen Geist, aber auch mit einer von Humor und geistreichem Witz getragenen Geselligkeit, waren sein Rüstzeug, um oft schwierige Aufgaben einer Lösung zuzuführen.

Am 13. Juni 1975 erlag Rolf F. Rutsch in Venedig einem Herzanfall. – Es ist ganz besonders charakteristisch für den Geologen und Menschen Rolf F. Rutsch, dass er die klassische Lokalität der Helvetischen Stufe, den Imihubel oberhalb des Dorfes Muhlern auf dem Längenberg südlich von Bern, erwarb und so vor Überbauung bewahrte. Den vielen Geologen aus aller Welt, die mit Rolf F. Rutsch vom Imihubel aus den herrlichen Rundblick auf die Alpen und das Mittelland erleben durften, wird diese Stätte als bleibendes Andenken an den grossen Geologen und sein wissenschaftliches Werk in Erinnerung bleiben.

W. Mohler

Bernard Susz

1904–1975

Le départ de notre ami et collaborateur Bernard Susz a laissé un grand vide dans le groupe homogène que forme le Bureau du Comité Central. Il y occupait l'ancienne fonction d'assesseur, mais très vite, il s'est vu chargé de tâches importantes dans lesquelles s'appliquaient ses qualités de précision, de conscience et de sens critique avisé. La nouvelle organisation en fit un vice-président.

Bernard Susz fut titulaire de la première maturité classique de sa volée (1923) puis acquit à Genève ses titres universitaires d'ingénieur-chimiste et de docteur ès sciences. Il entra en 1930 dans l'enseignement secondaire. Successivement doyen de la section scientifique du Collègue de Genève, privat-docent et professeur associé, il était devenu professeur ordinaire de chimie physique dès juin 1954. Doyen de la Faculté des sciences de 1960 à 1964, il fut prorecteur de juillet 1964 à juillet 1966. C'est en 1970 qu'il prit sa retraite et fut nommé professeur honoraire. Son œuvre scientifique comprend une centaine de publications, dont plusieurs en collaboration avec le Fonds National. Il était membre correspondant de l'Académie des sciences et belles-lettres de Besançon et ses travaux lui avaient valu d'être appeler à donner des conférences en Suisse et à l'étranger.

Il était à la retraite lorsque nous l'avons appelé à se joindre au Comité Central de la SHSN. Suivant sa nature généreuse et active, il accepta d'emblée et fut un des membres qui prirent une part efficiente à la réorganisation et à l'élaboration des nouveaux statuts. Il était servi par une mémoire très pré-

cise, une grande expérience administrative accumulée au cours de sa longue carrière de doyen et de pro-recteur.

Il mit de l'ordre dans les statuts et règlements de nos fondations, dans la réorganisation des Actes et des publications de la Société. Mais c'est son sens profond de l'humain, ses qualités de cœur et de droiture qui nous furent les plus utiles pour résoudre les problèmes généraux que posait la modernisation de la société. L'élaboration d'articles de statuts n'a de valeur durable que si on imagine leur impact, leurs conséquences proches et lointaines et les réactions qu'ils susciteront. Dans ce sens, Bernard Susz nous a apporté le meilleur de lui-même et c'est hélas maintenant que nous ressentons son absence.

C'est d'ailleurs toute notre Société qui perd un conseiller sûr et un élément de sa vitalité scientifique et morale. Cet hommage nous rappelle sa belle personnalité et son œuvre. Son souvenir restera durable parmi nous.

Augustin Lombard

Walter Saxer

1896–1974

Nachruf – verfasst von Hans Bühlmann – erschienen in ETH-Bulletin Nr. 93, Seite 26–27, 30.7.1974

Otto Schlaginhaufen

1879–1973

Nachruf – verfasst von Wolfgang Scheffrahn – erschienen in Archiv für Genetik 48, 1–2 (1975).

Hans E. Thalmann

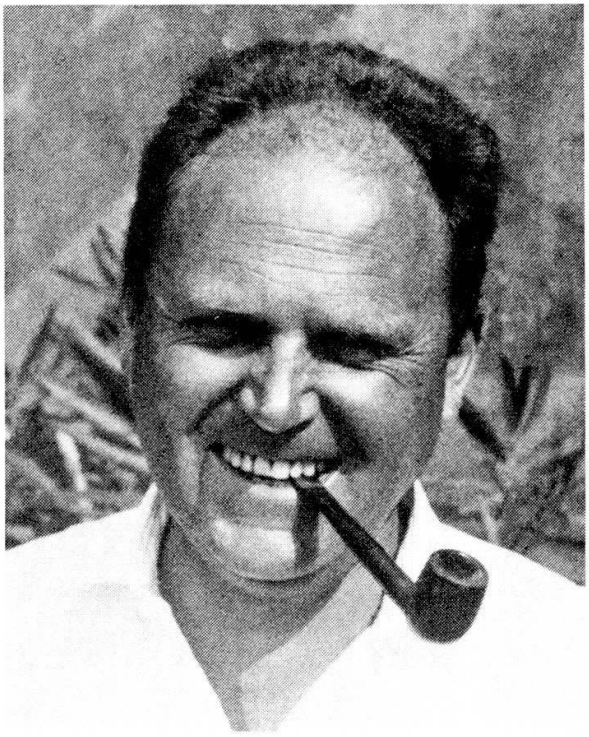
1899–1975

Nachruf – verfasst von Wolf Maync – erschienen in Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Bd. 42, Nr. 101 (1975).

Walter Tobler

1888–1975

Nachruf – verfasst von F. Bamatter – erschienen in Médecine et Hygiène, 3.12.1975.



Franco Zschokke

1921–1975

Laureatosi in biochimica a Firenze, nel 1946, entrò nell'industria dove rimase dieci anni. Vi lavorò nel campo degli anticrittogamici, che egli chiamava i "pesticidi" con fine ironia, alludendo ai mali che essi possono causare, ecologicamente parlando, apportando alla ricerca tutta la appassionata capacità e tutto l'entusiasmo del suo profondo sapere.

Dal 1956 venne ad insegnare al Liceo di Lugano, dove ottenne senza alcun sforzo la cattedra di chimica, che tenne, con uguale dignità e capacità, fino al giorno della sua morte: la quale lo colse, come meglio non avrebbe potuto, in quella scuola cui aveva dedicato il meglio di sé, delle proprie energie, tutta la sua ricca umanità di studioso.

L'argomento del suo lavoro precedente intervenne certo nell'indirizzare la sua formazione e il suo insegnamento, poiché rimase sempre indirizzato all'ampio problema proposto dagli animali nocivi e dai mezzi chimici per combatterli o, piuttosto, alla difficoltà di trovare mezzi chimici che, combattendo gli animali nocivi, non diventassero a loro volta nocivi per la natura che così profondamente amava. Proprio qui troviamo il segno migliore e più preciso della sua personalità: in quel connubio tra storico e ricercatore entro la materia, per cui il suo insegnamento diventava un insegnamento morale.

Appassionato della bellezza della materia che insegnava, spese innumerevoli ore a preparare programmi che ponessero "tutti in grado di capire e amare la chimica": sono parole sue, queste, suo era questo desiderio di aprire il mondo incantato delle formule alla comprensione di tutti, per renderle vive, come in effetti sono.

Per questo, diede opera a tutti i programmi nuovi: quelli della scuola media unificata, in cui operò attivissimo, per limitare e approfondire insieme

l'apporto della sua materia nel quadro orario delle altre, senza che nessuna fosse sacrificata.

Per questo accettò la carica di Commissario cantonale per i ginnasi ed intese ciò non come una vuota visita ai colleghi, ma come fattiva partecipazione al loro lavoro, creando un frequentatissimo laboratorio per i docenti, cui presenziava, istruendo, incoraggiando e consigliando.

Per questo, infine, accettò l'incarico di organizzare e seguire i corsi di aggiornamento per maestri, indetti a Pavia dal D.P.E. Per una sola ragione, dunque, tanta attività: perché la chimica diventasse chiara e facile per tutti, pur mantenendo il suo affascinante carattere di scoperta continua della vita.

In questo ordine di idee ben si capisce che il suo problema fosse innanzitutto quello di chiarire la evoluzione della materia, rilevando il rapporto tra la sua evoluzione e la sua applicazione. Profondamente conscio dei doveri dell'uomo di studio e del cittadino, si propose di far presente ad allievi e colleghi quanto facile fosse limitarsi alla pura ricerca, senza curarsi degli aspetti ulteriori, e quanto fosse importante, invece, ricordare ad ogni momento della avventura scientifica che i risultati, in chimica, spesso trascendono i limiti apparenti della scoperta e danno ben diversi e spesso dolorosi risultati.

Perciò si rifaceva incessantemente alla storia della materia stessa, alla sua evoluzione immediata e a quanto essa sottintendeva per l'avvenire. Non ostacolato dal dilemma nel suo lavoro, poiché per Lui il dilemma si era sciolto da sempre in una efficace formula: quella del rispetto totale alla vita, in tutte le sue forme, purché esse si iscrivessero entro il metodo e la disciplina, che proprio in chimica dominano la nozione.

Non un'ora fu da Lui spesa altro che in questo duro e prezioso compito: rendere facile la materia a tutti, affinché tutti fossero in grado di capire quanto essa poteva dare e quanto arduo fosse indirizzare correttamente la ricerca, mantenendo alta la bandiera di una disciplina totale, senza la quale non era possibile né lavoro né studio.

Un filosofo della chimica? un nostalgico della cultura? no, un uomo vivo, che vivamente sentiva ogni proposta di studio e di lavoro come un continuo arricchimento della sua propria personalità. Un romantico della chimica? no, un uomo concreto, preciso, ordinatissimo, in cui l'ordine diveniva parola da mantenere a costo d'ogni fatica, che lavava da sé le provette, se altri era troppo occupato, che controllava le etichette "perché la chimica é pulita", che tentava innumerevoli esperienze, per offrire agli allievi le migliori e più significative.

Lo racchiudiamo dunque tutto entro questo ricordo: attività incessante, per cui la chimica viveva in lui e lui nella chimica, in disciplina e ordine di vita, ma con una commossa partecipazione di tutta la sua ricca sensibilità di uomo innamorato della vita in ogni sua forma.

A.M. Cotti

Weitere verstorbene Mitglieder
Autres membres décédés
Altri soci defunti

Bronck, D.W., New York USA (Membre d'honneur)

Cornelius, Martha, Wien

de Diesbach, Serge, Lausanne

Elber, Rudolf, Basel

Grumbach, Arthur, Zürich

Jenzer, Hans, Bern

Peter, Albin, Binningen

Tetrode, Pieter, Soesterberg NL

Ungar, Felix, Basel

Weigle, Jean, Pasadena, California USA (Membre d'honneur)