Zeitschrift: Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 159 (1979)

Teilband: Wissenschaftlicher Teil : Methode und Verantwortung = Partie scientifique : méthode et responsabilité

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: 09.08.2025

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

Die 1815 gegründete Schweizerische Naturforschende Gesellschaft ist die älteste wissenschaftliche Dachgesellschaft der Schweiz. Ihr Ziel ist die Förderung und Entwicklung der exakten und Naturwissenschaften und deren Vertretung in der Öffentlichkeit. Den intensiven Gedankenaustausch zwischen Wissenschaftern verschiedener Fachrichtungen fördert die SNG, indem sie Symposien durchführt oder unterstützt und publiziert. Das Jahrbuch, wissenschaftlicher Teil, ist die Fortsetzung der seit 1819 erschienenen Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Fondée en 1815, la Société helvétique des sciences naturelles est la plus ancienne organisation faîtière scientifique du pays. Elle a pour but l'encouragement et le développement des sciences exactes et naturelles, leur compréhension auprès du public et l'intensification des échanges entre scientifiques de diverses disciplines. Elle organise et soutient des symposia et en publie les actes. L'Annuaire, partie scientifique, remplace les Actes de la Société helvétique des sciences naturelles, publiés depuis 1819.

Méthode et résponsabilité
Methode und Verantwortung

1979
Birkhäuser Verlag
Basel · Boston · Stuttgart

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten.
Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden.

© 1981 Schweizerische Naturforschende Gesellschaft Bern
Printed in Switzerland by Birkhäuser AG, Graphisches Unternehmen, Basel
ISSN 0080/7362

METHODE UND VERANTWORTUNG

METHODE ET RESPONSABILITE

Birkhäuser Verlag

Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft
Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles

1

ETH-Bibliothek
EM000005961716

Table des matières

Préface

P. E. Pilet, Président annuel VII

Méthode et responsabilité

Symposium général du 6 octobre 1979 à Lausanne 1

Méthodes modernes en Cytologie

Symposium organisé en commun par les Sociétés suisses de Botanique, de Physiologie végétale et de Zoologie du 5 octobre 1979 29

Méthodologie et politique des sciences

Comment peut-on définir la qualité de la recherche fondamentale?
Symposium organisé par la Société suisse de Logique et de Philosophie des sciences du 5 et 6 octobre 1979 51

Méthodologie géographique

Symposium organisé par la Société suisse de Géographie du 6 octobre 1979 73

Max Oechslin

1893–1979 102

Préface

Il m'appartient, en quelques lignes, de présenter aujourd'hui les textes qui résument un certain nombre de symposia organisés lors de la *159ème assemblée annuelle de notre Société Helvétique des Sciences Naturelles* qui eut lieu, du 4 au 7 octobre 1979, à *Lausanne.*

Je tiens tout d'abord à m'excuser auprès des lecteurs de cet Annuaire 1979 pour le retard considérable pris dans sa publication. Je n'y suis personnellement pour rien et j'ai dû m'incliner – comme les auteurs des articles qui vont suivre – devant des «impératifs techniques et administratifs» tout à fait indépendants de notre volonté.

Ayant accepté, en 1977, d'assumer la présidence du Comité annuel de la SHSN pour 1979, j'avais exposé à Berne, devant quelques collègues réunis, mon intention de donner un *thème général* à notre assemblée de Lausanne. Le projet de la placer sous le signe de la *«Méthode»* fut alors accueilli chaleureusement. Et je voudrais dire ici, simplement, ma gratitude à mon collègue le Professeur E. Niggli, alors président central de la SHSN, qui m'a soutenu avec enthousiasme et, ainsi, a grandement facilité la réalisation de mes projets.

A côté du *Symposium général,* qui allait immédiatement suivre l'habituelle assemblée des membres et qui devait introduire le non moins traditionnel «discours» du président annuel, huit *Symposia* plus spécialisés furent organisés. Je m'en voudrais de ne pas citer, brièvement, les titres et les sociétés nationales qui en ont pris la responsabilité. On me pardonnera cette sèche énumération chronologique. Elle illustre bien, à mes yeux, le caractère pluridisciplinaire de nos rencontres d'il y a deux ans.

Géotraverses alpines (Société géologique suisse, Société suisse de Géophysique, Société suisse de Minéralogie et de Pétrographie, Comité suisse pour le projet géodynamique international).

Méthodologie de chimie analytique (Société suisse de Chimie analytique et appliquée, Société suisse de Chimie analytique instrumentale et de Microchimie).

Méthodes modernes de cytologie (Société suisse de Botanique, Société suisse de Physiologie végétale, Société suisse de Zoologie).

Methodologie und Politik der Wissenschaften (Société suisse de Logique et de Philosophie des sciences).

Méthodologie anthropologique (Société suisse d'Anthropologie).

Métabolisme énergétique et activité: mesures chez l'animal et chez l'homme, problèmes méthodologiques (Société suisse de Physiologie).

Measurement of activities and concentrations of intracellular ions (Société suisse de Physiologie).

Méthodologie géographique (Société suisse de Géographie).

Il n'a malheureusement pas été possible, pour un certain nombre de raisons, de publier les *conférences* et les *communications* de tous ces symposia. Seuls les exposés du Symposium général et de trois symposia figurent dans cette brochure. Les discussion qui suivirent – et quelques-unes furent fort animées – n'ont pas été transcrites. C'est grand dommage, car certaines d'entre elles ont apporté beaucoup à ceux qui y prirent part.

Je ne puis pas, dans le peu de place dont je dispose pour cette préface, introduire les auteurs de chacun des quinze articles publiés. Je me bornerai à présenter, très brièvement, les quatre conférenciers qui avaient été invités pour notre *Symposium général.*

Le Professeur Jean Piaget créa, à Genève, le Centre International d'Epistémologie génétique. Ses travaux sur la psychologie de l'enfant, la logique et la sociologie sont connus dans le monde entier. La conférence qu'il donna aux participants de notre assemblée de Lausanne fut d'ailleurs l'une des toutes dernières que J. Piaget fit en public. Il devait

s'éteindre, à l'âge de quatre-vingt-quatre ans, le 16 septembre 1980.
Henri Lauener est professeur au «Philosophisches Seminar» de l'Université de Berne. Logicien réputé, il a publié de nombreuses études de méthodologie des sciences. Il est le rédacteur de la revue «Dialectica», fondée par le philosophe suisse F. Gonseth et consacrée à la philosophie de la connaissance.
Le Professeur Hans Mohr dirige le «Biologisches Institut» de l'«Albert-Ludwigs-Universität» à Freiburg im Breisgau. Ses recherches en physiologie végétale (sur le phytochrome notamment) lui ont valu une réputation internationale. Il est l'auteur d'un ouvrage fort apprécié «Structure and Significance of Science».
Edgar Morin est responsable du Centre d'Etudes transdisciplinaires et professeur à l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences sociales à Paris. Ses livres – dont le plus connu, sans doute, est «La Méthode: la nature de la Nature» – ont donné à E. Morin une très large audience dans les pays francophones.
Je souhaite que la lecture des pages qui suivent soit aussi enrichissante que furent – pour ceux qui, très nombreux, les ont écoutées avec intérêt – les conférences présentées, il y a deux ans, dans le cadre de notre assemblée générale.

Lausanne, le 6 juin 1981

Professeur Paul-Emile Pilet
Président du Comité annuel
1979 de la SHSN

Méthode et responsabilité

Symposium général du 6 octobre 1979 à Lausanne

P. E. Pilet (Lausanne)
Recherche fondamentale et recherche appliquée 2

J. Piaget (Genève)
Mécanismes communs à l'histoire des sciences et à la psychogenèse des connaissances . 8

H. Lauener (Ittigen)
Methodische Fragen der Philosophie und der Logik 10

H. Mohr (Freiburg i/Br.)
The significance of the experiment in the scientific approach 19

E. Morin (Paris)
La responsabilité du chercheur face à la société et à l'homme 25

Recherche fondamentale et recherche appliquée

Paul-Emile Pilet

Mesdames, Messieurs, chers Collègues,

Bien que beaucoup d'entre vous soient déjà au travail depuis deux jours et demi, la tradition – et je m'y soumets avec le plus grand plaisir – veut que je souhaite à tous une très cordiale bienvenue en déclarant ouverte cette 159ème Assemblée générale de notre Société helvétique des Sciences naturelles.
Pour ne pas être que celle des sociétés membres, cette réunion a été placée sous le signe de la méthode. L'exposé auquel ne saurait échapper – et vous avec lui – le président du Comité annuel, évoquera donc un problème méthodologique qui concerne chacun.

Et en guise d'avant-propos, je voudrai citer quelques lignes que Paul Valéry écrivit en 1938: ... «l'homme est incessamment et nécessairement opposé à ce qui est par le souci de ce qui n'est pas et enfante laborieusement, ou bien par génie, ce qu'il faut pour donner à ses rêves la puissance et la précision mêmes de la réalité ...» (Valéry 1938, p. 34)

Pendant longtemps, science et philosophie se confondent. La philosophie naturelle ne distingue guère, dans ses analyses, la Sagesse, l'Homme, l'Univers. La notion de recherche, souvent, est bien loin d'avoir le sens qu'on lui donne aujourd'hui.
Avec les temps modernes, les sciences expérimentales s'affirment. Entre elles et la philosophie, les divergences ne feront que s'accentuer. La science «conçue comme un corps de doctrines opérationnel et explicatif, prétendait affirmer absolument l'existence d'un seul monde: celui qu'elles étudiait, indépendamment de tous systèmes philosophiques» (Moles 1957, p. 1). Le scientisme sera désormais à la mode, exaltant la science «au point de croire qu'elles est capable de résoudre tous les problèmes et de satisfaire à tous les besoins légitimes de l'esprit humain» (Meynard 1958, p. 108). Cette attitude n'est pas nouvelle. C'est celle des Encyclopédistes et on la retrouve dans le relativisme kantien, mais elle se généralise avec le positivisme d'Auguste Comte. Et, comme l'écrivait L. de Broglie «beaucoup de savants modernes ont adopté, presque sans s'en apercevoir, une certaine métaphysique à caractère matérialiste et mécaniste et l'ont considérée comme l'expression même de la vérité scientifique» (Broglie 1947, p. 291).
La remise en question de la nature même de l'explication scientifique va condamner, peu à peu, cette attitude anti-philosophique. Une conception plus idéaliste contraint les hommes de science à réviser les postulats déterministes, à revoir les relations entre ce que la recherche expérimentale montre et ce que la théorie enseigne, à tenir compte des limites qu'imposent les méthodes employées et l'objet analysé. La Science du probable venait à peine de remplacer la science du certain que déjà se dessine, avec sa méthodologie propre, une science du perçu (Valéry 1938, p. 4).
Une philosophie scientifique prend donc naissance, rapprochant – comme avant la Renaissance, mais avec un esprit nouveau – science et philosophie. Et je citerai F. Gonseth. «Le problème n'est pas de les arracher l'une à l'autre, il est de reconnaître comment elles peuvent se prêter une aide mutuelle» (Gonseth 1957). «L'apparition, dans la science moderne – écrivait Jean Ladrière (Ladrière 1972, p. 22) – d'un caractère de réflexivité, correspond à une sorte d'intégration, dans le domaine de la science, de la dimension philosophique de la conscience».

Il est temps d'essayer, maintenant, de risquer une définition de la *recherche*. Dérivé du verbe recerchier, cité vers 1100, le mot re-

cherche est déjà employé en 1508 (Robert 1962, p. 828). Il distingue tout à la fois l'effort de l'esprit, les divers travaux et l'ensemble des activités intellectuelles ... qui permettent d'acquérir des connaissances nouvelles. A ce propos, deux remarques me paraissent s'imposer.

Disons d'abord que recherche et méthode sont indissociables. Décider de chercher à connaître, c'est évidemment rechercher, en premier lieu, une méthode rigoureuse et appropriée. Edgar Morin - que nous entendrons tout à l'heure - écrivait ... «Ce qui apprend à apprendre, c'est la méthode. Je n'apporte pas la méthode, je pars à la recherche de la méthode. Je ne pars pas avec méthode, je pars avec le refus, en pleine conscience, de la simplification ... Je pars avec la volonté de ne pas céder à ces modes fondamentaux de la pensée simplifiante» (Morin 1977, p. 21).

Ma seconde remarque concerne l'attitude du chercheur. Celui-ci adoptera une position polémique à l'égard du monde rationnel. En contestant le savoir assimilé, il se soumettra - et l'expression est de Bachelard - à une véritable «Philosophie du Non» (Bachelard 1975). Il dégagera ainsi - au lieu de les combattre - les oppositions dialectiques que fait naître la confrontation entre les expériences qu'il poursuit et le raisonnement qui les suscite. «Scientifiquement, on pense le vrai comme rectification historique d'une longue erreur, on pense l'expérience comme rectification de l'illusion commune et première. Toute la vie intellectuelle de la science joue dialectiquement sur cette différentielle de la connaissance, à la frontière de l'inconnu. L'essence même de la réflexion, c'est de comprendre qu'on n'avait pas compris» (Bachelard 1946, p. 173). Autrefois, comme un artisan, le chercheur poursuivait une démarche contraignante et unitaire. Il se trouve aujourd'hui - et nous le verrons mieux dans un instant - confronté à des sollicitations multiples, compétitives et divergentes qui lui imposent de faire un choix. Sans doute établira-t-il lui-même ... «la représentation de son domaine propre» ... Celui-ci n'est pas arbitraire ... «mais ce sont les nécessités internes de la pensée du chercheur qui en définissent le style; la structure de l'évidence est indépendante du domaine dans lequel elle s'applique. En bref, nous ne construisons pas ce qui nous plaît, mais nous choisissons ce qu'il nous plaît de construire» (Valéry 1938, p. 22).

Avec les innombrables applications de la recherche scientifique, dès le début du siècle passé, l'on se met à parler de recherches appliquées, les distinguant par là de celles qui ne l'étaient pas et qui, ainsi, devenaient les recherches fondamentales.

Chacun s'accorde à reconnaître - et je ne discuterai pas ici cet aspect de la question - que la méthodologie de ces deux catégories de recherche, pour l'essentiel du moins, est rigoureusement identique.

La *recherche fondamentale* - et c'est une évidence incontestée - est désintéressée. Et pourtant, si «sa rentabilité ne peut se réduire à un calcul coûts-bénéfices, elle ne fait pas moins partie intégrante d'un système social qui reconnaît la production du savoir et la formation d'aptitudes scientifiques comme essentielles à son développement» (King 1968, p. 10).

La *recherche appliquée* ne justifie son nom que dans la mesure où les résultats qu'elle suscite seront susceptibles d'être exploités pratiquement. En fait, l'application ne se distingue plus guère de la production. «Le monde moderne est caractérisé non seulement par l'application de la science à l'organisation de la production, mais encore par l'organisation de la société en vue de la production scientifique elle-même; il ne s'agit pas seulement de produire ce qu'on a trouvé, mais de chercher ce que l'on veut produire» (King 1968, p. 10).

Il étaint courant, il y a peu d'années encore, d'affirmer que seule la recherche pure pouvait épauler l'enseignement universitaire. Les temps ont bien changé. A ce propos, je citerai le Professeur Hochstrasser «Dans les conditions actuelles de spécialisation, la recherche fondamentale n'ouvre cependant pas toujours l'accès à des idées fondamentales et essentielles que la recherche appliquée. Etant donné les nombreuses similitudes de méthodes de travail utilisées dans les deux catégories de recherches, la recherche appliquée est parfaitement en mesure d'assumer certaines fonctions dans l'enseignement en lieu et place de la recherche fondamentale» (Hochstrasser 1976, p. 3).

Entre le recherche pure et la recherche appliquée, les frontières ne sont pas toujours évidentes. Il arrive souvent qu'un problème fondamental implique des incidences pratiques et réciproquement. Un exemple concret - et je l'ai choisi simple - illustrera cette remarque. Je l'emprunterai à des recherches sur la *rhizogenèse*.

Par des expériences appartenant, sans doute possible, à la recherche pure, Fritz Went devait, il y a cinquante ans, mettre en évidence les auxines. Il s'agit de phytohormones qui règlent la croissance des cellules végétales et contrôlent l'augmentation irréversible de leur masse (voir Pilet 1961, p. 10). Pendant une dizaine d'années, ces biorégulateurs vont faire l'objet de recherches intensives en laboratoire, alors que très vite se dessinaient des applications qui donneront lieu à des essais sur le terrain. En particulier, un certain nombre d'agronomes se rendirent compte que ces auxines facilitaient l'enracinement des boutures. Des mélanges de ces substances, très actives à très faibles concentrations, sont alors proposés; des brevets sont pris, la production est organisée à grande échelle. Mais des travaux se poursuivent pour chercher d'autres composés plus actifs ou tout simplement plus aisés à manipuler ou encore meilleur marché. Des analyses de phytochimie pure font entrevoir des rapports entre la structure moléculaire d'un grand nombre de substances et leur activité biologique. Ces nouveaux composés sont testés en laboratoire, puis en champs. Les plus efficaces sont commercialisés et nous voici de nouveau repris par des problèmes pratiques. Pourtant, la diversité des facteurs exogènes favorisant la rhizogenèse attire l'attention des biologistes. Ils reprennent l'analyse fondamentale des mécanismes régulateurs qui président à la formation des racines (fig. 1).

Ainsi, entre recherches fondamentale et appliquée, des relations de constant va-et-vient peuvent être relevées. Un résultat donné suscite une immédiate application. Celle-ci soulève de nouvelles questions que des recherches pures tenteront de résoudre. Ces recherches aboutiront à certaines conclusions; quelques-unes entraîneront peut-être d'autres réalisations pratiques qui ne manqueront pas de poser de nouveaux problèmes de base. Nous ne sommes pas bien loin de cette exigence d'ouverture de la connaissance dialectique que formula si remarquablement Ferdinand Gonseth (Pilet 1970a, p. 10) et qui se traduit, dans la démarche du chercheur, par un certain nombre de phases qui le ramènent toujours à une situation de départ.

REGULATION DE LA RHIZOGENESE

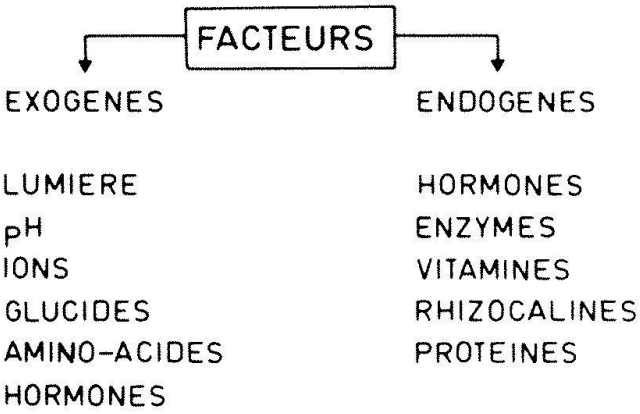


Fig. 1. Quelques régulateurs assurant le contrôle de la formation des racines.

Cependant, «ces phases ne se succèdent pas nécessairement d'une manière aussi nette et aussi franche. Elles sont parfois inversées, donnant l'impression d'un enchevêtrement pas toujours logique» (Pilet 1970b, p. 503).

L'histoire des sciences - celle des connaissances périmées aussi bien que celle des connaissances sanctionnées (Canguilhem 1979) - montre que, durant des siècles, la recherche n'avait été une fin en soi que pour le chercheur, peu préoccupé le plus souvent d'applications pratiques. Avec l'épanouissement de la recherche appliquée, des objectifs nouveaux apparaissent, entraînent de profondes modifications dans la conception même de la science.

Le phénomène sur lequel se penche celui qui se livre à une recherche fondamentale est presque toujours simple, par commodité expérimentale. Il est, en quelque sorte, isolé et détaché du réel.

Le chercheur qui est préoccupé de réalisations pratiques, tout au contraire, doit renoncer à l'analyse des phénomènes purs. L'objet et les techniques d'étude le contraignent à prendre conscience de la complexité des structures et des processus que la recherche pure le poussait - tactiquement - à éviter.

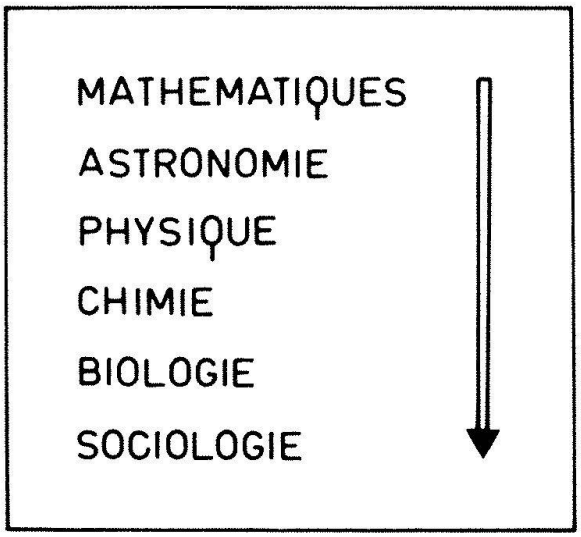


Fig. 2. La classification des sciences de base, selon Auguste Comte.

La recherche fondamentale classique impose, généralement, une spécialisation extrêmement poussée. L'émergence de la complexité, paradoxalement, entraînera l'effacement progressif des frontières de la spécialité. «C'est donc par la technique que se produit l'osmose entre les branches distinctes du savoir plus que par l'appel que fait une science à une autre» (Moles 1957, p. 18).
Une conséquence de tout cela se manifeste dans le caractère pluridisciplinaire de la recherche scientifique de maintenant. Entre les diverses sciences de base se précisent d'innombrables interconnexions qui vont imposer, notamment, de reconsidérer la façon dont les sciences, les unes par rapport aux autres, avaient été classées.

Pour Auguste Comte, les sciences étaient groupées selon une distribution hiérarchique et linéaire (fig. 2). Celles qui figuraient en tête sont les premières à avoir conquis leur autonomie. «Des mathématiques à la sociologie, l'ordre est celui du simple au complexe, du général au particulier» (Meynard 1958, p. 83).
Sauvegardant la spécificité des sciences, une telle classification méconnaît l'unité du champ de connaissance évoqué plus haut et ignore délibérément les possibilités d'interpénétration entre les diverses sciences.
Aujourd'hui, des représentations non linéaires s'imposent. Je me permettrai d'en suggérer une, pour la science de la vie (fig. 3).

Les diverses surfaces représentent, dans ce schéma, les sciences (mathématiques, physique, chimie) qu'Auguste Comte avait placées au-dessus de la biologie. Les recouvrements de ces surfaces - qui expriment en particulier l'identité des méthodes d'analyse - illustrent les diverses liaisons établies entre ces sciences de base et permettent de caractériser notamment la biométrie (1), la biochimie (2), la biophysique (3), plutôt mathématique (a) ou plutôt chimique (b).

Revenons, pour un instant encore, au caractère pluridisciplinaire que peut présenter l'étude d'un objet particulier. Je prendrai comme exemple, en vous l'exposant le plus simplement possible, l'analyse des parois d'une cellule végétale en croissance.
L'examen de la morphologie, en microscopie photonique puis en microscopie électronique, va révéler respectivement la structure et l'ultrastructure de cette enveloppe squelettique qui entoure le cytoplasme fondamental (Pilet 1971). De telles observations conduisent nécessairement à des connaissances d'un autre ordre. Si la paroi protège la cellule, elle ne peut manquer de l'isoler de son environnement. Cette paroi sera donc le siège de constants échanges avec le milieu ambiant (fig. 4). Au travers de cette enveloppe passeront l'oxygène et le gaz carbonique, assurant

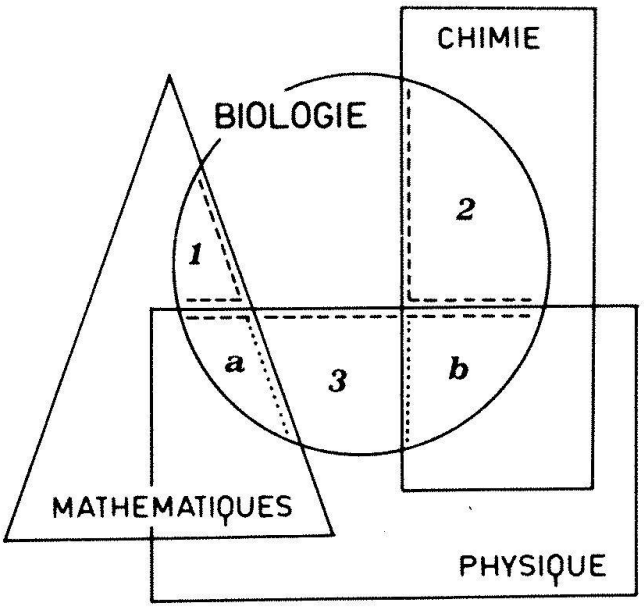


Fig. 3. Un schéma non linéaire suggérant de possibles interactions entre la biologie et d'autres sciences comme les mathématiques, la physique et la chimie.

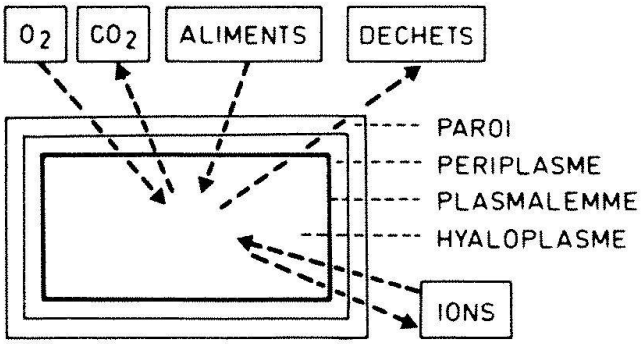


Fig. 4. Les échanges cellulaires. Un schéma illustrant la respiration, la nutrition, l'excrétion et les transferts d'ions.

la respiration. Des aliments vont pénétrer (nutrition) et des déchets seront évacués (excrétion), des ions enfin établiront les équilibres de potentiels indispensables à la régulation des processus liant les divers compartiments cellulaires entre eux et avec l'extérieur. Cette analyse physiologique serait incomplète si elle ne se prolongeait par l'examen systématique des constituants des parois. Il s'agit là d'une approche microchimique qui révélera l'extrême complexité structurale de l'enveloppe cellulaire (fig. 5) faite de pectines, d'hemicelluloses, de celluloses, de lignines notamment. Ces divers composés ne sont pas stables; ils se forment et se défont et l'étude de ces réactions implique l'intervention de recherches biochimiques qui entraînent l'analyse de la biosynthèse (anabolisme) et de la biodégradation (catabolisme) de ces substances de structure. Ces faits établis, un problème fondamental restait encore à aborder et qui touche au comportement de cette paroi lors de la croissance cellulaire. Pour qu'il y ait accroissement irréversible du volume et de la masse des cellules, il est nécessaire que leurs parois soient extensibles et possèdent, par conséquent, des propriétés

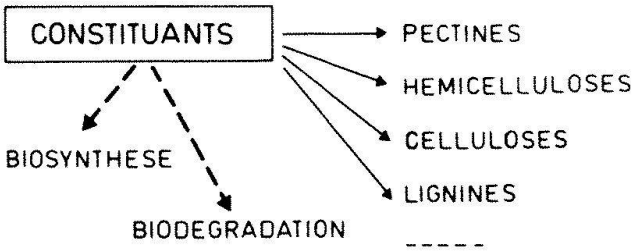


Fig. 5. Quelques composés formant l'essentiel des constituants des parois, formés (anabolisme) et dégradés (catabolisme).

à la fois élastique et plastique (fig. 6) que rendent possible des «opérations» de restructuration moléculaire. Ces problèmes concernent tout à la fois des recherches en biophysique et en biochimie. Les forces internes qui conditionneront la mise en marche de cette extension sont essentiellement associées à l'entrée de l'eau, réglée par les pressions osmotique et de sucion, dont l'analyse ne peut être faite que sur des bases apportées par la physique et la physico-chimie. En résumé, la connaissance quelque peu approfondie des caractéristiques structurales et

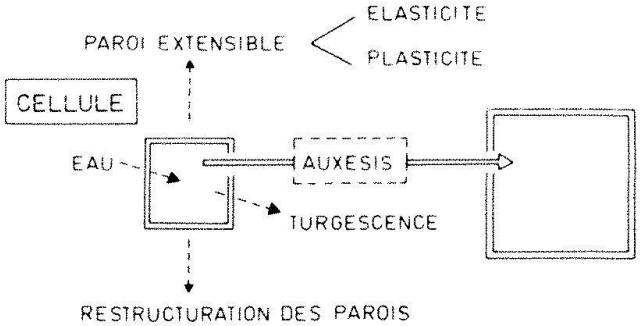


Fig. 6. Représentation schématique montrant l'évolution d'une cellule en croissance, impliquant la participation de l'eau, l'extensibilité des parois et la transformation de leurs constituants.

fonctionnelles de la cellule (Pilet 1968) implique une approche pluridisciplinaire qui révèle bien l'éclatement de la biologie traditionnelle (fig. 7). Tour à tour, la morphologie, avec ses disciplines dérivées (microscopie, anatomie, histologie, cytologie ...) sera sollicitée, parallèlement ou successivement, avec d'autres sciences comme la physiologie, la microchimie, la biochimie, la biophysique et la physico-chimie. Ainsi, pour un sujet choisi, la recherche qui va permettre de préciser certaines de ses caractéristiques, fait appel à des sciences les plus diverses, touchant des domaines – il y a quelques années encore – sans aucun point commun.

Conclusions

Pour terminer, je rappellerai que la recherche fondamentale et la recherche appliquée s'appuient, l'une et l'autre, sur une méthodologie identique. C'est donc aux projets qui les animent et aux résultats auxquels elles abou-

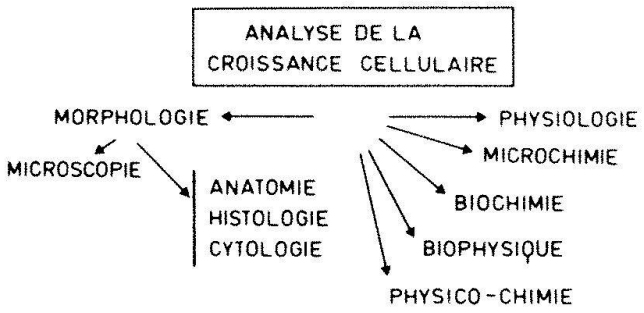


Fig. 7. L'approche pluridisciplinaire caractérisant, par l'intervention de diverses sciences, l'étude systématique de la croissance d'une cellule.

tiront qu'il faut songer pour les distinguer. Pourtant, des recherches orientées vers des applications donnent parfois lieu à des conclusions qui touchent à la science pure. Pourtant, des recherches fondamentales peuvent aboutir à des réalisations pratiques.

Ne vaudrait-il pas mieux, en fin de compte, oublier un peu la finalité concrète de la recherche et s'attacher, en priorité, à des problèmes plus essentiels et plus urgents? Aujourd'hui – et chacun en conviendra – la recherche a besoin bien davantage d'une stratégie qui en fixe les modalités que d'un plaidoyer chargé de la justifier.

Et l'on s'étonnera moins de voir naître des centres consacrés, très particulièrement, à des recherches sur la recherche. Leur but n'est pas que de produire des plans de développement et des programmes d'actions prioritaires. Quelques Instituts proposent déjà des analyses de méthodes de régulation relatives à certaines innovations scientifiques et technologiques.

Et il convient de ne pas oublier le rôle déterminant que sont appelés à jouer les chercheurs eux-mêmes. S'évadant de plus en plus – pour s'y réintégrer ensuite – des équipes dont ils font presque toujours partie, quelques-uns d'entre eux commencent à ressentir la nécessité d'une réflexion dialectique personnelle sur leurs vraies motivations et sur la nature de leur propres démarches intellectuelles. Qu'ils le veuillent ou non, consciemment ou pas, les chercheurs de notre temps sont engagés maintenant – avec les philosophes ou peut-être sans eux – à élaborer une nouvelle éthique de la pensée.

Références

Bachelard G. 1946: Le nouvel esprit scientifique. P.U.F.
Bachelard G. 1975: La philosophie du non. P.U.F., 7e éd.
Broglie L. de 1947: Physique et microphysique. Albin Michel.
Canguilhelm G. 1979: Etudes d'histoire et de philosophie des sciences. J. Vrin.
Gonseth F. 1957: Dialectica, vol. 10, éditorial.
Hochstrasser U. 1976: Université et Etat. Conférence Ass. Prof. d'Université. Genève (24.janv.)
King A. 1968: Préface du livre de J. Ben-David, La recherche fondamentale et les universités. OCDE.
Ladrière J. 1972: La Science, le Monde et la Foi. Casterman.
Meynard L. 1958: Cours de logique et de philosophie des sciences. E. Berlin.
Moles A.A. 1957: La création scientifique. R. Kistler.
Morin E. 1977: La Méthode. 1. La Nature de la Nature (vol. 1). Seuil.
Pilet P.E. 1961: Les phytohormones de croissance. Masson.
Pilet P.E. 1968: La Cellule, structure et fonctions. Masson, 3e éd.
Pilet P.E. 1970a: Dialectica.
Pilet P.E. 1970b: Rev. intern. Philosophie.
Pilet P.E. 1971: Les parois cellulaires. Doin.
Robert P. 1962: Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française (vol. 5). Société du Nouveau Littré.
Valéry P. 1938: De l'histoire, dans: Crise de l'Esprit – Réflexions sur le monde actuel. NRF.

Adresse de l'auteur:

Prof. Paul-Emile Pilet
Directeur de l'Institut de Biologie
et de Physiologie végétales
de l'Université
6, Place de la Riponne
1005 Lausanne

Mécanismes communs à l'histoire des sciences et à la psychogenèse des connaissances

Jean Piaget†

La conférence qui suivra est le produit d'une collaboration étroite avec le Professeur Rolando Garcia qui est un physicien, un logicien et un historien des sciences. Il devrait donc figurer à mes côtés, mais il est actuellement au Mexique pour quelques mois. Cette conférence résume donc nos idées communes et se subdivisera en deux parties.

La première partie concerne ce que nous appellerons la période préscientifique des sciences physiques, etc. Elle s'étend d'Aristote à Newton. En ce cas, il y a correspondance entre le développement de l'enfant et l'histoire des sciences dans le contenu même des notions, c'est-à-dire que l'on retrouve chez l'enfant la physique d'Aristote, l'impetus de Buridan, etc.

La seconde partie portera sur la période scientifique depuis Newton à nos jours (pour la physique) et sur les mathématiques grecques. Il n'y a naturellement aucun parallélisme entre les théories scientifiques et le développement des notions chez l'enfant. Mais dans l'histoire des sciences comme dans la psychogenèse, on trouve l'existence de stades ou de niveaux ou périodes successifs. Notre problème est alors: par quels mécanismes la pensée scientifique ou infantile passe-t-elle d'un niveau au suivant? Ce sont donc les mécanismes de passage d'un niveau à l'autre que nous avons analysés avec Garcia et dont je parlerai en notre nom aujourd'hui.

Période pré-scientifique

Je choisirai comme problème la transmission du mouvement. A cet égard, on peut distinguer quatre stades dans la pensée pré-scientifique: premièrement, la physique d'Aristote, avec sa théorie des deux moteurs, son «antiperistasis», sa théorie du mouvement des projectiles, etc. La deuxième période est celle d'un rejet du moteur interne, le moteur externe suffisant à tout expliquer. La troisième période est celle de l'impetus de Buridan, cet impetus étant l'«élan» acquis grâce à la vitesse du mobile. La quatrième période correspond aux débuts de la notion d'accélération.

Or, on retrouve les mêmes quatre stades chez l'enfant. On retrouve la théorie des deux moteurs. On retrouve surtout l'«antiperistasis». Par exemple, pourquoi une balle qu'on lance ne tombe-t-elle pas aussitôt à terre mais poursuit-elle une certaine trajectoire avant d'atteindre le sol? Ceci s'explique par le fait que la balle produit un courant d'air qui passe derrière elle et la pousse en avant. La troisième période est celle de l'impetus. Par exemple, si dans une rangée de boules, la première reçoit un choc du dehors, elle transmettra cet élan à travers toutes les autres. Ce n'est plus chacune qui pousse la suivante, mais chacune qui est traversée par le même «élan», donc un impetus. Dans la quatrième période, il y a début de notion d'accélération.

Période scientifique

Je passe maintenant à la deuxième partie de l'exposé, qui sera consacrée aux mécanismes communs expliquant le passage d'un niveau au suivant.

L'un des plus importants de ces mécanismes est ce que nous appellerons l'«abstraction réfléchissante», c'est-à-dire une abstraction qui tire ses informations non pas des objets eux-mêmes, mais des actions ou opérations du sujet. Par exemple, les Bourbaki ont construit leur théorie des structures en se servant de morphismes ou correspondances, mais ceci à titre simplement instrumental. Après quoi il y eut abstraction réfléchissante de ces instruments jusqu'à en tirer une nouvelle théorie qui est la théorie des catégories,

si importante aujourd'hui en mathématiques.

Un second mécanisme est celui des généralisations constructives et complétives, qui ne sont pas des généralisations extensionnelles (passage du «quelques» au «tous»), mais des constructions de structures, exemple: découverte des groupes par Gallois, etc. Chez l'enfant, on retrouve de telles généralisations constructives, par exemple dans sa construction des proportions en tant que relations de relations, autrement dit ces généralisations consistent en opérations sur des opérations.

Un troisième mécanisme très général que nous avons recontré partout est la succession de trois niveaux que l'on pourrait appeler intra-objectal, inter-objectal et trans-objectal. Par exemple, dans l'histoire de la géométrie, celle d'Euclide demeure purement intra-figurale, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une analyse des figures, mais encore sans théorie de l'espace en tant que contenant général. Puis vient, avec Descartes et Fermat, un niveau inter-figural avec la construction des coordonnées, autrement dit une théorie de l'espace en général. Enfin, le trans-figural est caractérisé par l'algébrisation de la géométrie à partir des groupes de Gallois ou du programme d'Erlangen de Klein, etc.

Or, chez l'enfant, on retrouve ces mêmes mécanismes de passage, par exemple dans ses idées sur l'espace: d'abord simple description des figures, ensuite découverte que, pour situer la position d'un point sur un plan, il faut deux mesures et non pas une seule, ce qui est le début de la notion des coordonnées, enfin le trans-figural avec des calculs sur les déplacements, par exemple la compréhension des mouvements relatifs, etc.

En résumé, les mécanismes de passage d'un niveau au suivant paraissent de nature commune à la psychogenèse et à l'histoire des sciences. Ils conduisent à rejeter dans les deux domaines l'empirisme, puisque tout empirisme est toujours interprété par des modèles déductifs; ils conduisent également à rejeter l'apriorisme de Kant: notre position étant celle d'une sorte de kantisme dynamique, autrement dit un constructivisme intégral.

Références

Piaget J. 1965: Sagesse et Illusions de la Philosophie, Paris.

- 1967: Biologie et Connaissance: essai sur les relations entre les regulations organiques et les processus cognitifs, Paris.
- 1971: Examen Critique des Thèses de Jacques Monod. Hazard et Dialectique en Epistémologie Biologique, dans: Sciences. Revue de la Civilisation Scientifique no 71, mars-avril 1971.
- 1972: Psychologie et Epistémologie, Paris, (Que sais-je?).
- 1972: Epistémologie des Sciences de l'Homme, Paris.
- 1972: L'Epistémologie Génétique, Paris.
- 1974: Adaptations Vitales et Psychologiques de l'Intelligence: sélection organique et phénocopie, Paris.
- 1974: Recherches sur la Contradiction, Paris.
- 1975: L'Equilibration des Structures Cognitives: problème central du développement, Paris.
- 1977: Recherches sur l'Abstraction Réfléchissante, vol. 1 et 2, Paris.

Prof. Jean Piaget†
Centre International d'Epistémologie génétique de l'Université de Genève

Methodische Fragen der Philosophie und der Logik

Henri Lauener

Die Gefahr des Irrtums ist weniger gravierend als die der Unwissenheit.

Die methodische Haltung, die ich vertrete, hat ihre Wurzeln in der Philosophie von Kant und Gonseth. Die Verwendung analytischer Techniken, wie sie vor allem in der zeitgenössischen angelsächsischen Philosophie entwickelt wurden, rückt sie in eine gewisse Nähe von Autoren wie Carnap, Quine, Toulmin oder Hanson. Die Blüten allerdings, die sie treibt, weisen wesentlich von den betreffenden Doktrinen abweichende Züge auf. Der offene Transzendentalismus sucht in einem ähnlichen Sinne wie sein Vorläufer, die Bedingungen der Möglichkeit der Erkenntnis zu ergründen, die vielfältiger, z.B. pragmatischer, linguistischer und logischer Natur sind. Im Gegensatz zu Kant wird jedoch keineswegs versucht, eine bestehende Wissenschaft – wie damals Newtons Physik – zu kanonisieren, d.h. sie in absoluter Weise zu begründen und im weiteren die gesamte Erkenntnis auf eine feste Zahl von starren Kategorien sowie auf die Formen der reinen Anschauung zurückzuführen. Der auffälligste Mangel an der offenen Philosophie Gonseths andererseits liegt m.E. in deren Verkennung der wichtigen Rolle, die Konventionen und linguistische Systeme für die Elaborierung von wissenschaftlichen Theorien spielen. Was letztlich die sog. analytische Philosophie betrifft, so scheint mir ihre Schwäche in der einseitig technischen Orientierung und Spezialisierung ihrer Vertreter zu liegen, die blosse Stückwerkarbeit ohne einsichtige Relevanz für die eigentlichen Probleme der Wissenschaft im allgemeinen sowie der Gesellschaft und der Politik im besonderen leisten, so dass der ganze Betrieb letzten Endes in eine blosse scholastische Übung zu entarten droht (Lauener 1979 a).

Der entscheidende Charakterzug der offenen Transzendentalphilosophie ist in ihrem Antifundamentalismus zu erblicken. Weder dem Rationalisten noch dem Empiristen wird es gelingen, eine Nullsituation zu schaffen, die es dem Philosophen erlauben würde, abseits von den übrigen Forschungsgebieten eine privilegierte Stellung einzunehmen. Weder die Cartesische Methode des systematischen Zweifels, um zu unerschütterlichen Evidenzen zu gelangen, noch diejenige des neopositivistischen Reduktionismus, wonach jede Erkenntnis auf sinnlich unmittelbar Gegebenes zurückgeführt werden soll, legen ein unanfechtbares Zeugnis für eine mögliche Letztbegründung unseres Wissens ab – genau so wenig wie die neueren, praxisorientierten Bestrebungen der Konstruktivisten aus Erlangen oder Konstanz (Lauener 1978 a). Solchen oder ähnlichen fruchtlosen Bemühungen möchte ich die trivialste, aber zugleich unabdingbare Einsicht entgegenhalten, dass wir in keiner Situation mit etwas anderem anfangen können, als mit dem, was wir schon haben, wobei die effektive Art des Beginnens von den jeweiligen Interessen der Beteiligten abhängen wird. Diesen wichtigen Punkt einmal ausgemacht, wird man sich fragen, welcher Natur denn die Dinge sind, die uns jeweils schon zur Verfügung stehen. Es handelt sich um das, was in der eigentlichen, etymologischen Bedeutung des Wortes am ehesten als Fakten bezeichnet zu werden verdient, nämlich logische Systeme, Sprachen und wissenschaftliche Theorie – einschliesslich des gesamten vorwissenschaftlichen kulturellen Hintergrundes, der diesen, meistens ohne dass wir uns dessen bewusst werden, zugrundeliegt. Es scheint mir offensichtlich, dass vom methodischen Standpunkt aus gesehen sog. Beobachtungstatsachen weniger ursprünglich sind, denn sie erweisen sich, wie Popper, Toulmin, Kuhn, Hanson u.a. nachgewiesen haben, bei näherer Betrachtung keineswegs als einfach gegeben, sondern als theorieabhängig. Was in diesem Sinn überhaupt als Tatsache gelten kann, wird im Kontext teilweise durch das

gewählte Sprachsystem bestimmt; um festzulegen, welche Beobachtungen für eine eventuelle Bestätigung oder Widerlegung relevant sind, müssen wir – unter Umständen nebst anderen Theorien – vor allem auch die zu Diskussion stehende Theorie selbst verwenden. Es dürfte folglich allgemein eingeräumt werden, dass die Annahme von sog. Protokollsätzen, die in völlig neutraler Weise eine unmittelbare Sinneswahrnehmung abbilden sollen, einer blossen Illusion entspringt.

Den vorgelegten Ausführungen lässt sich entnehmen, dass ich nicht bereit bin Kants Begriff der Rationalität zu übernehmen, denn meiner Auffassung gemäss gibt es nichts derartiges wie eine reine Vernunft, die die unwandelbaren Strukturen unseres Wissens fixiert. Das Prädikat «rational» bezieht sich ausschliesslich auf Handlungen, und Rationalität betrifft entsprechend – als historisch relativierter und pragmatischer Begriff – in erster Linie das Einsetzen von in bestimmten Situationen adäquaten methodischen Mitteln. Die Zwecke, zu deren Verfolgung wir Theorien entwerfen, sind mannigfaltig: Theorien sollen dazu dienen, Erklärungen zu liefern, Terme zu bestimmen, Ursachen zu eruieren usw., während ihre praktische Anwendung uns erlauben soll, Techniken zur Erzeugung von bestimmten Wirkungen sowie zur Bewältigung wissenschaftlicher, ökonomischer, politischer und anderer Probleme zu entwickeln. Daraus folgt, dass eine rein logische Analyse einer Theorie für die Beurteilung ihrer Brauchbarkeit nicht hinreicht; es sind auch pragmatische Kriterien erforderlich, um über Erfolg oder Misserfolg zu entscheiden. Mit der fortschreitenden Entwicklung der gesamten Wissenschaft, die durch die ständige Verfeinerung und Diversifikation der angewendeten Methoden bedingt ist, werden sich zwangsläufig auch unsere Vorstellungen von Rationalität verändern.

Wir stellen also fest, dass sich Normen nicht allein in der Kunst und in der Moral wandeln, sondern ebenfalls in der Wissenschaft. Ein gutes Bild, eine gute Handlung und eine gute Theorie haben mit einem guten Automobil den gemeinsamen Zug, dass sie in bestimmter Beziehung normgemäss konzipiert worden sind. Eine der wichtigsten Aufgaben der Methodologie besteht darin, die jeweils in einem Forschungskontext zugrundegelegten Normen ans Licht zu rücken und sie auf ihre Effizienz hin zu untersuchen. In dieser Hinsicht ist Methodologie ein wesentlich deskriptives Unternehmen: ihr fällt zunächst das Geschäft zu, die zu analysierende Situation – sie mag historisch oder gegenwärtig sein – nach relevanten Gesichtspunkten möglichst vollständig zu beschreiben, indem die vorausgesetzten methodischen Prinzipien, die erzielten Ergebnisse, eventuelle Unstimmigkeiten sowie die Summe der investierten Mittel (formale Techniken, Darstellungssysteme, Instrumente, etc.) herausgestellt werden. Es handelt sich im wesentlichen darum, die Leistungen einer gegebenen Theorie zu beurteilen, ihre Vor- und Nachteile abzuwägen und festzustellen, für welchen Anwendungsbereich sie befriedigend funktioniert. Im übrigen glaube ich nicht, dass eine vernünftig konzipierte Theorie als schlechtweg falsch oder als endgültig widerlegt gelten kann, denn sie wird für gewisse Zwecke durchaus brauchbar bleiben, selbst wenn sie anspruchsvolleren Erfordernissen nicht mehr genügt und daher die Grenze ihrer Wirksamkeit erreicht hat. Deshalb ziehe ich in bezug auf ganze Systeme pragmatische Qualifikationen vor, wie ihre Ausdruckskraft, Erklärungskraft, Einfachheit oder Eleganz, während ich dazu neige, Wahrheit nur als semantisches Prädikat für Namen von Sätzen zu verwenden. In diesem Sinne leistet etwa die klassische Mechanik heute noch durchaus gute Dienste, obschon sie sich inzwischen für Bereiche, wo grosse Distanzen und hohe Geschwindigkeiten involviert sind, als unbrauchbar erwiesen hat.

Neben der historischen und aktuellen Sichtung dessen, was uns als wissenschaftliches Instrumentarium zur Verfügung steht, hat andererseits die Methodologie selbst durchaus normative Funktionen, weil die Wissenschaft sich nicht mit dem, was wir haben, zufrieden gibt, sondern ständig nach Elaborationen, Präzisierungen und Erweiterungen strebt, zu deren Verwirklichung jeweils neue Normierungsvorschläge erforderlich sind, die eine partielle oder vollständige Revision der betreffenden Disziplin nach sich ziehen. Der Methodologe wird also mit der Frage konfrontiert, weshalb die Verbesserung einer Theorie wünschbar ist, und welches die Bedingungen dafür sind, dass eine solche über-

haupt erfolgen kann. Der Fortschritt in den Wissenschaften nimmt einen weniger geradlinigen, akkumulativen Gang, als man gewöhnlich annehmen möchte, und ich bin verlockt, trotz der historisch ganz anders orientierten Belastung des Wortes von einer dialektischen Entwicklung zu sprechen. Eine einseitig progressive Strategie, wie sie etwa Popper und Gonseth gelegentlich nahegelegen, scheint insofern wenig angebracht, als sie nicht nur das Ausreifen einer Theorie, sondern auch das Ausschöpfen ihrer potentiellen Verwertungsmöglichkeiten verhindern würde. Wollte man tatsächlich jeden Ansatz nach dem ersten Versagen über Bord werfen, so würde sich die Wissenschaft alsbald in einen unübersehbaren Tollhausbetrieb verwandeln. Konservative Strategien sind umsomehr erforderlich, als wir, wie ich hervorgehoben habe, nicht bei einem beliebigen Nullpunkt beginnen können. Es wird sich deshalb für jede Disziplin empfehlen, längere Perioden des Schliessens einzuhalten, während welcher im wesentlichen das betrieben wird, was Kuhn normale wissenschaftliche Tätigkeit nennt und grosso modo darin besteht, die Theorie systematisch zu entfalten, ihr eine möglichst vollkommene axiomatische Form zu geben, um mit ihrer Hilfe anstehende Probleme zu lösen. Erst wenn die Situation degeneriert, d.h. wenn sich Schwierigkeiten verschiedener Art häufen, wenn mehr neue Fragen geschaffen als frühere klar beantwortet werden, wenn zusätzliche ad hoc Hypothesen erforderlich werden – kurz: erst wenn eine nicht mehr zu bewältigende Krise eintritt – werden wir uns entschliessen, den Horizont zu öffnen, um einer radikal neuen Hypothese eine Chance zu geben. Eine derartige Übergangsperiode, während welcher die Bestrebungen, ein neues Paradigma zu entwickeln, im Vordergrund stehen, kann man füglich eine Revolution nennen: es wäre aber taktisch unklug, um der nackten Neuheit willen ständig auf Revolutionskurs zu steuern, da eine solche nur dann einen Nutzen verspricht, wenn sie einer dialektischen Zwangslage entspringt.

Nachdem ich auf die zentrale Bedeutung von Normen nicht allein für Theorien, sondern auch für die Methodologie hingewiesen habe, will ich noch kurz erläutern, in welcher Weise sie auf Konventionen beruhen. Als Regeln bezeichne ich präskriptive Sätze, d.h. Vorschriften, die uns Anleitungen geben, wie in einer bestimmten Situation vorzugehen sei. Hat sich die Gruppe der Beteiligten entschlossen, gewisse Regeln zur Erreichung eines Zieles zu akzeptieren, so ist sie nach meinem Sprachgebrauch eine Konvention eingegangen und hat sich dadurch zugleich auf eine Norm oder auf ein System von Regeln geeinigt. Ein solcher Akt ist trotz der Konnotation, die man gelegentlich mit dem Ausdruck verbindet, keineswegs willkürlich, noch hat er irgend etwas Geheimnisvolles an sich, denn einerseits wird man kaum ohne Grund derartige Beschlüsse fassen, und andererseits ist die Tatsache, dass man es getan hat, durchaus einer empirischen Prüfung zugänglich – sei es indem man die Betroffenen selbst befragt oder indem man ihr Verhalten beobachtet. Es bleibt mir deshalb rätselhaft, warum der entscheidende Beitrag, den konventionalistische Praktiken für die Konstitution von Erkenntnissen leisten, von zahlreichen zeitgenössischen Philosophen verkannt, wenn nicht gar geleugnet wird. Ohne Darstellungssysteme und Folgerungstechniken liessen sich keine wissenschaftlichen Theorien ausarbeiten; sowohl Sprachen als auch logische Systeme können ihrerseits nicht anders als mit Hilfe von Stipulationen ausgearbeitet werden. Man übersieht vermutlich ihren normativen Charakter nur deshalb, weil wir uns gewöhnt haben, sie zu verwenden, ohne über ihre Entstehung zu reflektieren. Die motivierte Einführung von Normen bleibt, nachdem die Regeln seit längerer Zeit in Kraft waren, nicht mehr jedem einzelnen bewusst; die Regeln gehen nichtsdestoweniger als integrierender Bestandteil in eine Theorie ein und werden solidarisch mit ihr dem Tribunal der Erfahrung ausgesetzt, allerdings – wie ich glaube – nicht im extrem holistischen Stil, den Quine nahegelegt hat, sondern nur soweit, als gewisse, eingeschränkte Teile des kulturellen Hintergrundes und bestimmte sprachliche oder logische Strukturen Eingang in die betreffende Disziplin gefunden haben. In dieser Weise entziehen sich Konventionen der Beliebigkeit, so dass auch Normen durchaus einer Bewährungsprobe zugänglich werden.

Bevor überhaupt Wissenschaft betrieben werden kann, müssen ausdrücklich oder stillschweigend Regeln fixiert werden. In dieser Hinsicht weist jede wissenschaftliche Tätig-

keit eine gewisse Ähnlichkeit mit Spielen auf. Die Analogie geht jedoch weniger weit, als man befürchten könnte, denn die Tatsache, dass der Anfang mit Konventionen gemacht wird, bedeutet keineswegs das Aufgeben einer grundsätzlich empiristischen Einstellung. Diese Einsicht lässt sich treffend am Beispiel der spieltheoretischen Semantik Hintikkas illustrieren, wo gezeigt wird, wie *Ich* auf Grund einer Menge von Regeln, die sich im wesentlichen auf die logischen Konstanten beziehen, eine über die Ausgangsaussage gespielte Partie gegen die *«Natur»* gewinnen oder verlieren kann.

Die von mir in ihren allgemeinen Zügen skizzierte methodische Haltung erlaubt es, klassische, in der Philosophie umstrittene Fragen durchsichtiger und klarer zu formulieren. Die Zeit verbietet mir, Ihnen mehr als nur knappe Andeutungen vorzulegen. Als erstes möchte ich kurz auf die Ontologie, d.h. auf diejenige Disziplin eingehen, in welcher es sich meiner Auffassung nach darum handelt, den Gebrauch des Wortes «existieren» zu reglementieren und auszumachen, was der festgelegten Bedeutung gemäss als existierend zu gelten hat. Wenn wir Quines Kriterium für ontische Verbindlichkeit übernehmen, nicht aber seinen holistischen Standpunkt, so wird man den bisherigen Darlegungen entsprechend nicht annehmen, dass es eine allgemeine Theorie geben kann, die uns sagen würde, was existiert. Weil in jeder Wissenschaft Bestandteile des Hintergrundwissens sowie fixierte linguistische und logische Elemente eingehen, wird die Ontologie auf diese relativiert werden müssen. Damit entfällt auch der Anspruch auf eine metaphysische Lehre des Seins an sich, d.h. der allgemeinsten Kategorien des Seienden. Was man jeweils als existierend voraussetzt, bleibt durchaus kontextabhängig und wird vor allem auch durch das gewählte Darstellungssystem mitbestimmt. In einer - allerdings eingeschränkten - Weise wirken sich also die Konventionen sogar auf Existenzfragen aus. Adoptiert man z.B. Quines kanonische Notation, so kann man ihm einräumen, dass «zu sein» soviel heisst, wie «der Wert einer Variablen zu sein», und es wird sich zeigen, dass selbst von Konventionen geschaffene Entitäten wie z.B. Zahlen existieren - wenn auch in einem besonderen und differenzierten Sinne. Die Relativität ontologischer Behauptungen liesse sich etwa an der Tatsache veranschaulichen, dass es für Tiere oder Schwachsinnige nichts derartiges wie mathematische Objekte gibt - übrigens vermutlich auch weder für einen Weltgeist noch für Gott geben könnte, da nicht einzusehen ist, zu welchem Zweck sie solche Gebilde schaffen sollten. (Vgl. für die Einzelheiten Lauener 1978b und 1979b.)

Ein weiterer, in der Philosophie kontroverser Punkt betrifft den Begriff der Notwendigkeit. Meiner methodischen Konzeption gemäss entsteht eine solche allein durch den Entschluss, die von bestimmten Normen erzeugten Vorschriften zu befolgen. Jede Form von Absurdität rührt letzten Endes daher, dass man vorgibt, Regeln zu akzeptieren, sich aber zugleich weigert, die damit verbundenen Konsequenzen auf sich zu nehmen. Ein solches Verhalten würde ganz einfach das geplante Unternehmen zunichte machen - in ähnlicher Weise wie ein auftauchender Widerspruch ein logisches System im klassischen Sinne ruiniert. Ich kann natürlich ein Axiom oder eine Schlussregel eines Systems als intuitiv unannehmbar oder als für das zu erreichende Ziel inadäquat verwerfen; damit erkläre ich aber das gesamte System als unbrauchbar. Es bleibt mir in diesem Falle nichts anderes übrig, als neue Normen vorzuschlagen, die dem verfolgten Zweck besser angepasst sind. Toulmin hat m.E. recht, wenn er sich über Formulierungen der Art wie «Naturereignisse verlaufen zwangsläufig» oder «Alles geschieht nach notwendigen Gesetzen» lustig macht: Nicht die Natur muss, sondern wir müssen, weil wir selbst spezifische Techniken entwickelt haben, um sie zu beschreiben und zu erklären.

Morton White, Quine und andere haben die strikte Unterscheidung zwischen analytischen und synthetischen Sätzen angefochten: ihrer Überzeugung nach wird es nicht gelingen, eine einwandfreie Definition des Prädikates «analytisch in L» für variables L zu finden, so dass wir uns mit einer bloss graduellen Differenzierung zu begnügen hätten. Ich räume ein, dass in natürlichen Sprachen die Auszeichnung der analytischen Aussagen insofern heikel ist, als hier die zugrundeliegenden Regeln nicht vollständig explizit zu machen sind. Man wird des weiteren auch nicht annehmen können, dass alle Sprecher

sie in eindeutiger und gleicher Weise verwenden. Trotzdem meine ich, dass die erwähnte Auffassung gefährlich ist, weil sie unliebsame Folgen haben kann. Bringen wir es zum Beispiel nicht fertig, uns über den Gebrauch von Farbwörtern zu einigen, und befindet sich unter den Beteiligten jemand, der beharrlich daran festhält, dass es auf der uns abgewendeten Seite des Mondes einen Stein gibt, dessen Oberfläche zugleich ganz rot und ganz grün ist, so wären wir im Prinzip verpflichtet, die Sache zu überprüfen, was mit erheblichen Kosten verbunden wäre. Da in diesem Fall ein derartiger Aufwand sich offensichtlich nicht lohnt, scheint es mir wünschbar, in der vorliegenden Situation (und für zukünftige ähnliche Fälle) zu stipulieren, dass der betreffende Satz analytisch falsch sein soll. Wir können das erreichen, indem wir die relativ noch locker organisierte natürliche Sprache verwenden, um Teile ihrer selbst strenger zu reglementieren. Da sie jedoch für die gewöhnlichen Belange des Alltags normalerweise recht gut funktioniert, halte ich ihre Reglementierung nicht für eine dringliche Aufgabe. Anders verhält es sich dagegen in wissenschaftlichen Kontexten, wo wir dazu neigen, mehr oder weniger formalisierte Sprachen zu verwenden; hier scheint die vorläufige Fixierung von unantastbaren Sätzen unerlässlich, weil ohne sie der Gebrauch der betreffenden linguistischen Systeme nicht zu stabilisieren wäre. Diese durch semantische Regeln als analytisch festgelegten Sätze werden entsprechend erst dann revidiert, wenn wir den Beschluss fassen, das System als Ganzes aufzugeben. Ein derartiger Entscheid wird sich beispielsweise etwa aufdrängen, wenn wir in bezug auf die Aussage «Der Teil ist kleiner als das Ganze» von einem endlichen auf einen unendlichen Bereich übergehen, da doch die Menge der geraden Zahlen zwar eine echte Teilmenge der Menge der ganzen Zahlen, aber trotzdem mit dieser äquivalent oder gleichmächtig ist. Um die Natürlichkeit eines solchen Verfahrens zu veranschaulichen, mag es genügen, auf den Unterschied zwischen der Absicht, etwas in permanenter Weise zu tun, und der Permanenz der Absicht selbst hinzuweisen. Deshalb ist es auch keineswegs irrational zu stipulieren, dass gewisse Aussagen als wahr aufrecht erhalten werden sollen «come what may», obschon man grundsätzlich bereit bleibt, unter dem Druck späterer Umstände die Konvention selbst wieder aufzuheben. Das methodische Vorgehen, je nach Situation verschiedene adäquate Ausdrucksmittel zu wählen, erweist sich m.a.W. als durchaus gangbare und, wie ich glaube, kluge Strategie: Sie erlaubt es uns, im Zusammenhang mit formalisierten Sprachen unsere Entscheide hinsichtlich der zu revidierenden Aussagen einem vorgezeichneten Plan gemäss vorzunehmen – solange wenigstens, als wir damit weiterkommen –, während die diesbezüglichen Kriterien Quines doch eher vage und willkürlich anmuten. Denn wie kann ich im Falle einer anlaufenden Unstimmigkeit im einzelnen ausmachen, welche wo angebrachte Änderung im ganzen die geringste Störung verursachen wird. Derartige Überlegungen sprechen gegen die holistische Konzeption, und es scheint mir methodisch, was die Vereinfachung des Verfahrens anbelangt, ein nicht zu verachtender Vorteil zu sein, wenn man zwischen Korrekturen innerhalb des Sprachsystems und der Revision des Systems selbst zu unterscheiden vermag. Was die letztere betrifft, glaube ich allerdings nicht, dass die Gründe für ihre Durchführung sich in geeigneter Weise formal erfassen lassen, denn die Ursachen eines eventuellen zukünftigen Versagens entziehen sich vermutlich einer systematischen Voraussicht (Lauener 1978b).

In bezug auf die Logik bestand zwischen Gonseth und mir eine persistente Kontroverse, welcher leider erst durch dessen Tod ein Ende gesetzt wurde. Zunächst halte ich es angesichts der seit einigen Jahrzehnten wie Pilze nach dem Regen aus dem Boden schiessenden logischen Systeme für irreleitend, von *der* Logik zu sprechen. Ferner stimmt mich die Tatsache, dass viele unter diesen sich für z.T. sehr verschiedene Zwecke als brauchbar erwiesen haben, einer Vorstellung der Logik als der «physique de l'objet quelconque» gegenüber skeptisch. Es ist denkbar, dass einmal ein umfassendes System gefunden wird, das alle anderen als blosse Spezialfälle enthält. Eine solche Perspektive scheint jedoch auch für eine weite Zukunft unwahrscheinlich. Neben anderen hat Lorenzo Peña Gonzalo (1979, 23ff.) interessante Ansätze dazu geliefert. An mehreren

Stellen bekennt sich der Autor ausdrücklich zur Auffassung der Logik als des allgemeinsten Systems der Ontologie, d.h. als einer «physique de l'objet quelconque»: «nous défendrons un relativisme ou pluralisme reductible: il y a une pluralité de logiques, mais elles sont toutes des sous-systèmes d'un épisystème unique et omnicompréhensif de logique, un ensemble de toutes les vérités concernant le réel en géneral». Das von ihm entworfene System hat allerdings den Nachteil, dass seine Anwendung äusserst umständlich wird und dass es für einen gewöhnlichen Sterblichen kaum lernbar ist. Kant seinerseits, der die zukünftige Entwicklung nicht voraussehen konnte, hielt die Logik als für im wesentlichen abgeschlossen; er behauptete, sie habe seit Aristoteles keine Fortschritte gemacht und werde auch keine mehr machen. Wäre seine Methode weniger einseitig darauf ausgerichtet gewesen, das Bestehende zu kanonisieren, so hätte er zum mindesten das Erfordernis, auch relationale Schlüsse zu erfassen, erkannt. Mein eigenes methodologisches Konzept entfernt uns sowohl von der Gonsethschen ontologisierenden Tendenz als auch von der Kantischen Auffassung, wonach die Logik die Formen des vernünftigen Denkens widerspiegeln soll; denn ich betrachte logische Systeme als Instrumente, die es uns erlauben, unsere Ausdrucksformen so zu normieren oder zu strukturieren, dass die wissenschaftliche Tätigkeit einer geregelten Argumentation zugänglich wird. Sie dienen vor allem der Herstellung von sprachlichen Rahmenwerken, in welche sie so integriert werden, dass die korrespondierenden Folgerungstechniken Gültigkeit erhalten und damit u.a. auch die im engeren Sinne analytischen Sätze, d.h. die sog. logischen Wahrheiten festlegen. Der pluralistischen Betrachtungsweise entsprechend wird nicht wie im Holismus Quines allgemein von der Revidierbarkeit der Logik die Rede sein, sondern von der Verwendung solcher Systeme, die relativ zu der vorliegenden Situation als adäquat erscheinen, wie auch von ihrer Eliminierung, sobald sie die Grenze ihrer Brauchbarkeit erreicht haben. Innerhalb der einmal gewählten Sprache werden aber die logischen Thesen (Axiome und Theoreme) nicht mehr angetastet. Die komplexe und unter Umständen schwierige Frage, welches logische System in einer gegebenen Situation den Vorzug haben soll, wird zunächst von normativen Überlegungen abhängen, die uns darüber zu befinden erlauben, welche besonderen Züge an den zu beschreibenden Objekten im Zusammenhang mit der entworfenen Theorie relevant oder irrelevant sind. In diesem Sinne wäre es offensichtlich zwecklos, z.B. eine Zeitlogik in die Mathematik einzubauen.

Ich habe bereits angedeutet, dass nicht die Axiome einer Theorie als notwendig wahr oder evident zu gelten haben, sondern dass die Zwangsläufigkeit allein von der Annahme bestimmter Deduktionsregeln herrührt, was die charakteristisch konditionale oder implikative Form all dieser Systeme erklärt: die Theoreme sind nur unter der Voraussetzung wahr, dass die Axiome es auch sind. Mehr besagt ein logisches System nicht. Falls wir uns also zur Verwendung der klassischen Logik entschliessen, können wir den Satz vom ausgeschlossenen Dritten nicht verleugnen, während wir im Rahmen der intuitionistischen Logik es tun müssen, was m.E. die Systemrelativität des Begriffes der Notwendigkeit deutlich genug illustriert.

Die Methode des offenen Transzendentalismus schliesst somit eine absolutistische Deutung der Logik sowohl in platonisierender wie auch in psychologisierender Richtung aus, um einer pragmatischen Haltung instrumentalistischer Ausprägung den Vorzug zu geben: sie schränkt nicht grundsätzlich unsere Freiheit ein, logische Systeme zu erfinden, die die Minimalforderungen der Widerspruchsfreiheit und der schwachen Vollständigkeit erfüllen und legt besonderes Gewicht auf die normativen Überlegungen, die der Beurteilung der jeweiligen Effizienz solcher Systeme zugrundegelegt werden. (Da Mathematik und Mengenlehre nicht vollständig sind, sollen sie nach üblicher Auffassung auch nicht zu Logik gezählt werden). Da aber ein mutwilliges Herumwuchern sowie ein zügelloses Herumexperimentieren kaum einen organischen Fortschritt begünstigen würden, müssen wir zugleich auf eine möglichst weitgehende Vereinigung der versuchsweise aufgestellten Theorien bedacht sein, was zu einer Art von spiralförmiger Entwicklung führt, in welcher die investierten formalen und methodischen Mittel periodisch je nach Situationszwang readaptiert werden. Daraus folgt, wie eingangs erklärt, dass wir

nicht in der Lage sind, ein bestimmtes System als die «wahre» oder «korrekte» Logik auszuzeichnen. Denn worin sollte diese Korrektheit bestehen? Etwa in der Übereinstimmung der formal gültigen Sätze oder Schlüsse mit denjenigen, die wir für intuitiv gültig halten? Die Intuition ist ein notorisch unsicherer Wegweiser, und wir wären mit ihr insofern schlecht beraten, als uns die Erfahrung nicht allein lehrt, dass sie sich *de facto* wandelt, sondern auch, dass wir gezwungen sind, sie bewusst und absichtlich zu verändern, d.h. uns umzugewöhnen – wie jeder Anfänger, der mathematische Logik lernt, bestätigen wird. Als Beleg für meine Behauptung mag die Tatsache angeführt werden, dass es heute noch Anhänger sowohl der klassischen als auch der intuitionistischen Logik gibt, die ihr System für das allein richtige halten. Wer hat recht? Wenn es ein überzeugendes objektives Kriterium gäbe, wäre der Streit wohl längstens geschlichtet! Ich bezweifle nicht nur, dass die externe Frage der Validität ihrerseits auf Grund logischer Argumente gelöst werden kann, sondern bin davon überzeugt, dass wir wie bisher auch in der Zukunft ohnedies durchaus weiterkommen werden und dass wir uns deshalb mit dem systemrelativen oder internen Begriff der logischen Wahrheit, resp. mit dem Prädikat «gültig in *L*», zufriedengeben müssen. Obgleich ich das Ideal einer möglichst extensiven Vereinigung nicht verleugne, verzichte ich auf die Forderung der globalen, vom Untersuchungsgegenstand prinzipiell unabhängigen Anwendbarkeit eines logischen Systems, denn sie würde die offene Geisteshaltung des freien Experimentierens zu sehr einschränken. Ich erkläre mich folglich bereit, gegebenenfalls auch abweichende Systeme, die nicht blosse Extensionen der klassischen Logik sind, ernst zu nehmen, und ich halte im Gegensatz zu Peter Geach (1976) dafür, dass es in der Republik der Wissenschaften kein «House of Lords», d.h. keinen obersten Gerichtshof gibt, gegen dessen Urteil man nicht mehr appellieren könnte.

Zum Schluss möchte ich noch kurz am Beispiel der Modallogik aufzeigen, wie sich die dargelegte methodische Haltung im einzelnen Falle auswirkt. Modale Systeme sind entwickelt worden, um die Begriffe der logischen Notwendigkeit oder Möglichkeit zu erhellen. (Da physikalische Möglichkeit meiner Auffassung nach dasselbe bedeutet wie logische Vereinbarkeit mit den Gesetzen der Physik, werden durch diesen Begriff im wesentlichen keine zusätzlichen Fragen aufgeworfen.) Aus meinen bisherigen Ausführungen geht bereits hervor, dass ich darauf tendiere, diese vermittelst der Unterscheidung zwischen analytisch und synthetisch zu erklären und sie somit auf Sprachen zu relativieren. Da meine Auffassung vor allem von der seit Kripkes Arbeiten üblichen abweicht – Modallogiker fordern einen wesentlich weniger engen Begriff der Notwendigkeit –, werde ich Stellung beziehen müssen. Quine wird mir dabei Schützenhilfe leisten.

Vorwegnehmend wäre zu erwähnen, dass ich weder gegen den syntaktischen Aufbau noch gegen die formale Semantik («possible worlds semantics») der entwickelten Systeme Einwände vorzubringen habe. Meine Bedenken betreffen eher ihre effektive Brauchbarkeit und – in gewisser Beziehung, wie im Falle der *de re* Modalitäten – ihre intuitive Einsehbarkeit. Obschon ich mit Quine weitgehend zur Ansicht neige, dass die klassische Prädikatenlogik erster Stufe im grossen und ganzen für die Belange der Naturwissenschaft genügt, halte ich es für durchaus wünschenswert, sie für andere Zwecke zu erweitern. Insbesondere halte ich es für nützlich, Dispositionsprädikate oder irreale Konditionalsätze einer logischen Analyse zugänglich zu machen, und im übrigen schiene es mir willkürlich, unsere Aufmerksamkeit als Logiker ausschliesslich auf empirische Wissenschaften zu richten.

Welches sind nun des näheren die Schwierigkeiten, in welche wir uns mit der Interpretation modallogischer Systeme verstricken? Quine (1966) unterscheidet in «Three grades of modal involvement» folgende progressive Stufen der Verwendung des Ausdruckes «notwendig»: 1. als Prädikat für Namen von Sätzen [«□'p', d.h. «'p' ist notwendig (wahr)»], 2. als Operator, der sich über geschlossene Sätze erstreckt [«□p», was vermutlich als «es ist notwendig (wahr), dass p» zu lesen ist] und 3. als Operator sowohl für geschlossene als auch für offene Sätze [z.B. «□ Fx», wobei wir auf Grund der Regel der Existenzgenrealisierung auch «(Ex) □ Fx» erhalten]. Die erste Stufe scheint insoweit

harmlos, als ich «ist notwendig (wahr)» mit «ist analytisch» deuten kann, wobei allerdings entgegen den üblichen Verfahren eine Iterierung von «□» auszuschliessen wäre, sofern man nicht – auf eine univoke Verwendung verzichtend – «‚□p' ist analytisch in der Metasprache M» als Interpretation von «□□ p» zulassen will. Mit der zweiten Stufe beginnen, wie ich gestehen muss, meine Verständnisschwierigkeiten, falls «□ p» nicht einfach als syntaktische Variante für «□‚p'» zu lesen ist. Gemessen an dem, was folgen wird, bleiben sie jedoch vergleichsweise noch harmlos.

Die bedenklichste Verwirrung wird m. E. durch das Vermischen von Quantoren mit Modaloperatoren gestiftet. Die Überzeugung, dass Notwendigkeit immer nur in der Art liegt, in der wir über Gegenstände sprechen, nicht aber in diesen selbst, hindert mich daran, zu begreifen, was wir überhaupt meinen, wenn wir *de re* Modalitäten formulieren, d. h. wenn wir in modale Kontexte hineinquantifizieren. Das mag auch der Grund sein, weshalb mir Quines Argumentation in dieser Sache einleuchtet, obschon ich gewisse Zweifel bezüglich der Bedeutung der Identitätsbehauptung in seinem bekannten Beispiel habe, in welchem wir durch Substitution von Gleichem von den beiden wahren Prämissen

(1) □ (9 > 7)
(2) Die Zahl der Planeten = 9

zu der falschen Konklusion

(3) □ (Die Zahl der Planeten > 7)

gelangen. Jedenfalls scheint er recht zu haben, wenn er daraus den Schluss zieht, dass wegen des Versagens des Leibnizischen Gesetzes singuläre Terme im Bereich von Modaloperatoren nicht eine rein referentielle Funktion haben können und dass deshalb modale Sprachen intensional sind. Man wird sich vielleicht fragen, ob dieses ungewöhnliche Verhalten der singulären Terme nur scheinbar sei, ob es sich durch eine subtilere Analyse wegerklären lasse oder ob wir uns mit dem Verzicht auf die Substitutivität abzufinden haben, was zum mindesten störend wäre.

Die Situation ist methodisch betrachtet insofern besonders interessant, als wir es mit formal einwandfreien Systemen zu tun haben, die zunächst rein syntaktisch durch Hinzufügung von modalen Operatoren, Axiomen und Regeln entwickelt wurden, ohne dass gleichzeitig eine einsichtige Semantik vorhanden war. Quines skeptische Äusserungen haben vermutlich wesentlich dazu beigetragen, dass später vor allem durch Kripke (1963 und 1972) verschiedene Ansätze zu einer solchen nachgeliefert wurden. (Für einen ersten Ansatz siehe Kanger 1957 und auch Hintikka 1969.) Ich glaube jedoch nicht, dass damit das Unbehagen endgültig beseitigt wird. (Diese formale Semantik wird von G. Hughes und M. Cresswell (1968) klar und verständlich dargestellt). Diese mengentheoretische Konzeption einer formalen Semantik, wonach «□X» genau dann wahr ist, wenn «X» in allen möglichen Welten wahr ist, erweist sich zwar als äusserst ingeniös und bietet sowohl eine befriedigende Definition der Allgemeingültigkeit, wie auch den Beweis der Widerspruchsfreiheit. Sie lässt ferner in durchsichtiger Weise erkennen, wie die Struktur der respektiven Systeme entscheidend von der Zugänglichkeitsrelation *R* abhängt: für T wird z. B. gefordert, dass *R* reflexiv, für das Brouwer-System, dass sie zusätzlich symmetrisch, für S4, dass sie reflexiv und transitiv, und für S5, dass sie eine Äquivalenzrelation sei. Liefern diese Systeme aber zugleich auch ein brauchbares Instrument, um unsere effektiven modalen Überlegungen oder Argumentationsweisen zu erklären? Werden wir durch eine derartige bloss formale Semantik in die Lage versetzt, einsichtig zu machen, was wir mit Wörtern wie «notwendig» oder «möglich» wirklich meinen? Die Antwort wird erst dann positiv ausfallen, wenn es gelingt, präziser und überzeugender zu erläutern, als Kripke das bisher getan hat, was genau wir uns unter einer möglichen Welt vorzustellen haben und wie man die Identität eines Individuums von einer Welt zur andern feststellt (das Problem der Trans-World-Heirlines).

Vom methodischen Gesichtspunkt aus hat Susan Haack (1978) also recht, wenn sie bemerkt: «The syntactical operators of a formal logical system are given both natural language readings and formal semantics, which then has, in turn, to be ‹interpreted›. At this stage, I take it, further formal interpretation would only postpone the issue; one needs [...] an informal account.»

J. L. Mackie (1974) hat die heikle und zugleich entscheidende Frage trefflich formuliert: «*De* what *re* is *de re* modality?» Ich zweifle, ob das Problem mit Hilfe der von Kripke vorgeschlagenen und auf metaphorischer Ebene belassenen Theorie der sog. «rigid designators» sowie der Urtaufe gelöst werden kann, ohne dass wir uns in den Irrgärten einer suspekten essentialistischen Metaphysik verlieren.

Was nun – so wird man fragen – rät die offene Methodologie angesichts einer Situation, in welcher sich nicht einmal die Spezialisten über den Wahrheitswert gewisser Formeln zu einigen vermögen? Ich masse mir keineswegs an, die Forschungen auf diesem Gebiet für uninteressant oder sinnlos zu erklären. Nur scheint es mir, dass sie noch nicht das Stadium erreicht haben, das eine fruchtbare Anwendung verbürgt. Wie aber meinen eigenen methodologischen Forderungen gemäss Modalitäten gedeutet werden sollten, habe ich in «Method in Philosophy and Logic» ausführlicher dargestellt.

Abschliessend möchte ich bemerken, dass meine Ausführungen einen programmatischen Charakter haben. Entfaltung im Detail kann nicht mehr Sache eines Einzelnen sein und erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Besonderes Gewicht lege ich auf die Einsicht, dass – trotz der an sich immer wünschbaren optimalen Einheit unseres Wissens – das Ganze weder klar zu erfassen noch richtig zu überblicken ist, bevor man die einzelnen Teile analysiert hat. Klarheit lässt sich nicht erzielen, indem man von vornherein alles zusammenwirft.

Literatur

Geach P. 1976: Why Logic Matters. Contemporary British Philosophy, hg. H.D. London. 86 ff.

Haack S. 1978: Philosophy of Logics. Cambridge 190.

Hintikka J. 1969: Models for Modalities. Dordrecht.

Hughes G. und Cresswell M. 1968: Introduction to Modal Logic. London.

Kanger S. 1957: A note on quantification and modalities. Theoria 23.

Kripke S. 1963: Semantical Considerations on Modal Logic. Aeta Philosophica Fennica 16.

Kripke S. 1972: Naming and Necessity. Semantics of Natural Language, hg. Harman G. und Davidson D. Dortrecht.

Lauener H. 1978: Sémantique et Méthode Constructiviste. Logique et Analyse, 21e année. 82–83.

Lauener H. 1978b: Probleme der Ontologie. Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie, IX, 1.

Lauener H. 1979a: Akten des III Internationalen Kolloquiums in Biel, Dialectica, Vol. 33. Fasc. 3–4. Vorwort.

Lauener H. 1979b: Normalistic and Other Ontological Prejudices. Ontologie und Logik, hg. Weingartner P. und Morscher E. Berlin.

Lauener H.: Method in Philosophy and Logic. Forthcoming in Dialectica.

Lewis D.K. 1968: Counterpart theory and quantified modal logic. Journal of Philosophy, 65.

Mackie J.L. 1974: *De* what *re* is *de re* modality? Journal of Philosophy, 71, 19.

Peña Gonzalo L. 1979: Contradiction et Vérité. Etude sur les Fondements et la Portée Epistémologique d'une Logique Contradictorielle. Unveröffentlichte Dissertation, Liège.

Quine W.V.O. 1966: The Ways of Paradox. New York.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Henri Lauener
Philosophisches Institut der Universität Bern
Längfeldstrasse 8
CH-3063 Ittigen

The Significance of the Experiment in the Scientific Approach

Hans Mohr

Reliable Knowledge

The goal of science is reliable knowledge (Ziman 1979). Science is an organized venture of the human mind that aims at reliable knowledge.
Knowledge is reliable if it successfully serves as a basis for action. Reliability becomes obvious in the precision of explanation, in making correct predictions and - in particular - in solving problems. Scientific knowledge is superior to common sense knowledge in being more reliable and more comprehensive.
The prestige of the natural sciences in the public has been based on their power to solve problems on the basis of reliable knowledge. Social sciences have so far not achieved the status of reliable prophet, policy maker, social engineer or therapist (Ziman 1979). Social sciences' continuing failures are, in part at least, the root causes of science's credibility gap under which we suffer at present.
My talk will deliberately be restricted to the natural sciences, physics and biology, which can be considered, from the point of view of epistemology, as a unit.

Logic of Reserarch

'Research' means to obtain reliable knowledge. The logic of research - as I understand it - is concerned with the question of how reliable knowledge is in fact obtained. It seems that a satisfactory answer to this question is beyond the scope of the human mind. As Robert Lindsay (1979) said recently "Man somehow is just sufficiently competent to produce - science and art, but not sufficiently so ever consciously to explain how he does it". My own understanding of what scientific knowledge is and the way it is in fact acquired is based mainly on my own experience as a practicing scientist rather than on the many, largely normative descriptions found in the literature of the philosophy of science.
First of all a sceptical remark: Is reflection about the logics of research really worthwhile for a scientist? What can we expect from this kind of analysis? Can we expect normative insights? Or will our effort lead at best to a post factum reconstruction of the scientific way of thinking? Can we become more conscious, more reliable, and thus better and even more successful scientists? Or is it only that we try to make explicit what every experienced scientist 'knows' anyhow?
How do research scientists go about obtaining knowledge? How should they? Today's scientists tend not to be introspective about these questions. During their apprenticeship, they somehow absorb the necessary pragmatic knowledge and then go about their business. Nevertheless science has advanced, and the fact that a tremendous wealth of genuine knowledge has been accumulated by innocent scientists who did not pay much attention to the theoretical foundations of science is beyond question.
My problem today is to evaluate the significance of the experiment within the process of knowledge acquisition. It is generally stated that observation and experiment are the means of verification of scientific theories. What does this mean in practice?

The Process of Research (fig. 1)

Our understanding of the real world has two roots: perception, sensory impressions, and genetically inherited foreknowledge about the structure of the world. From the point of view of the individual this foreknowledge has the epistemological character of synthet-

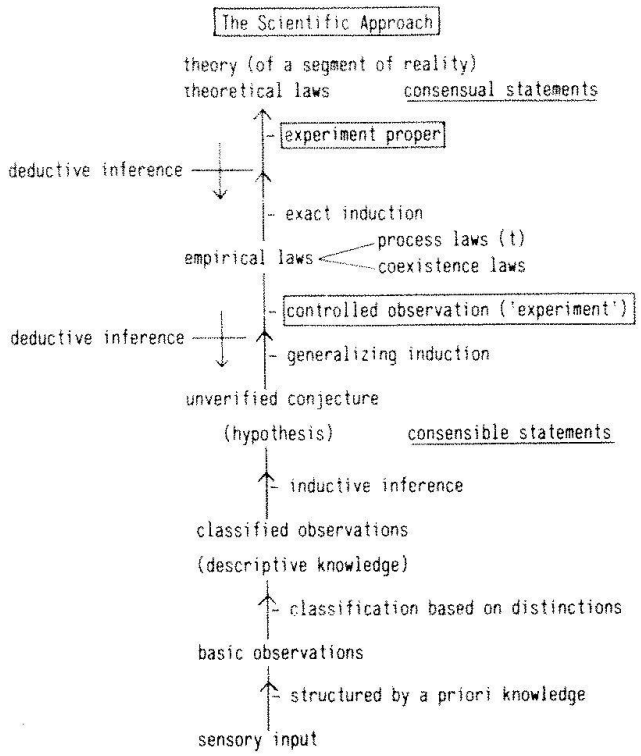


Fig. 1. The main stations of the process of research (to be explained in the present essay).

ic judgements a priori; from the point of view of evolution, however, the same knowledge must be considered as synthetic judgements a posteriori, based on experience. This is, briefly, the major thesis of evolutionary epistemology in which I firmly believe (Mohr 1977). Expressed in other words: There is some truth about the world which we can know independently of experience because we have inherited this truth from our ancestors with our genes. Kant knew precisely that we possess a priori knowledge about the world but he could not explain its origin. Kant had no access to the idea that a process we call "genetic evolution" must have necessarily accumulated experience over time. Kant could not envisage the idea that the seemingly inexplicable a priori knowledge of the individual is actually a posteriori knowledge of the human race about the world, laid down in the peculiar nucleotide sequence of the DNA in our genes.

The idea that our capacity to structure our sensory input depends on our having, in our brains, adequate models of the world, is not new, of course; however, evolutionary epistemology explains the origin of this capacity.

However, irrespective of the origin of our a priori knowledge the important point is that our sensory input is filtered and organized intellectually by our mind in accordance with some a priori knowledge about the structure and the logic of the real world.

The results are 'basic observations', constructs and relationships between constructs called 'patterns'. The process of research does not start with non-selected, random 'basic observations' but with 'classified observations' which refer to a particular segment of reality in which we are – for some reason – particularly interested. The process of classification is an artifice resorted to in order to simplify the approach to a given theoretical or practical problem by narrowing its broader elements and ramifications on the basis of largely unconscious distinctions. These include motives, feelings and values. Great care must be exercised in the identification and evaluation of these distinctions. Errors in classification of basic observations are a major source for failure in the further scientific approach. If our prejudice leads us to disregard important observations in the process of classification, these are usually lost for ever. Success in science is usually founded on adequate classification.

The next step – generalizing induction – (an example of inductive inference) is the core of the 'art of research'. It leads to a conjecture (or 'hypothesis') which is proposed in an effort to explain the set of classified observations.

The creation of a hypothesis, the consecutive application of deductive inference, inductive reasoning and experimental testing are not only limited by our intellectual abilities and technical skills but also by the paradigms in which we believe. This means that the range of conjectures and the range of experimental answers is usually determined by our scientific prejudice, by the paradigms in which we trust. This is a characteristic, as Thomas S. Kuhn (1970) has pointed out, of 'normal science'. Scientific revolutions, characterized by an exchange of paradigms, are rare, and most scientists are extremely reluctant to admit serious changes within the paradigmatic pattern to which they got used. Scientists tend to be conservative.

In the theory of science there are two ideal postulates which govern the development of an hypothesis:

1. The hypothesis must contain nothing inconsistent with known facts and principles.
2. The hypothesis must not contain postulates which are not subject to verification by empirical test.

Even though these postulates cannot be followed strictly in the scientific practice they serve as guiding principles at least within the realm of 'normal science'.

In particular, it is agreed upon that the statements of a hypothesis must be consensible, i.e. potentially verifiable or falsifiable by the members of a scientific community. Verification or falsification by empirical test is usually performed in - what I call - 'controlled observation'.

We must discriminate between two operations: Deductive inference and controlled observation. 'Deductive inference' means reasoning from general premises to specific derived instances thereof. In testing a hypothesis we usually proceed in the way: "If proposition p (an explicit proposition of the hypothesis) is true, then proposition q (a new derived proposition) is likewise true."

Whether proposition q is in fact true is usually tested in a controlled observation. In this operation the observer must be able to control intellectually and technically all aspects of the investigation and, in particular, exercise command over the variable factors involved. Most so-called 'experiments' in biology are controlled observations to test the validity of some derived proposition.

The actual process of experimentation cannot be described in general terms. The particular interplay between controlled observation, deductive inference and generalizing induction - always threatened by inconsistencies, internal contradictions and simple errors - depends on the particular experimental situation and it depends, of course, on the creativity and ingenuity of the person who does the experiment. For the novice, a general, trivial scheme of the experimental method is hardly helpful. In fact, one can learn how to experiment only in the continued cooperation with a scientific personality, with an experienced and successful experimentator, in the laboratory as well as at the desk.

In any case, successful interplay of inference and controlled observation to validate the propositions derived from the hypothesis stabilizes the original conjecture. A gauge for the fruitfulness of a conjecture is the formulation of empirical laws. Empirical laws - coexistence laws as well as process laws - are reliable general propositions obtained by repeated controlled observation and creative inductive inference. In most fields of biology empirical laws are the best that can be obtained at present. But even in physics empirical laws have been considered as the core of solid science. In fact, empirical laws have remained the reliable basis of large parts of physical and biological technology, including medicine and agriculture. However, empirical laws are still descriptive generalisations, and thus isolated statements not kept together by a unifying theory.

The next and final step of the scientific approach - exact induction - leads to a theory and thus to the formulation of a coherent framework of theoretical laws which permit an explanation of the empirical laws. It is the experimental test of the theoretical laws which has been considered by the philosophers of science as well as by the theoretical physicists as the decisive point where the experiment comes into play in the scientific approach.

The major difference compared to the previously discussed controlled observations leading to empirical laws is that single crucial experiments determine whether a theoretical law and sometimes even a whole theory can be maintained or must be abandoned, or at least seriously modified.

Even though Popper's (1959) view about falsification is far too rigorous compared with the reality of the scientific approach, it is obvious that a theory with a high claim becomes more vulnerable against incompatible observations. An example is the quantum theory of light (Walls 1979). The quantum theory of light, beginning with Planck and Einstein, played a central part in the development of quantum theory during this century. As the quantum theory was developed a sophisticated theory for the interaction of photons and electrons evolved, namely quantum electrodynamics. Amongst the derived propositions ('predictions') of quantum electrodynamics was that the emission of light from an atom would experience a small shift away from the resonance line of the atom. The experimental observation of

this shift, known as the Lamb shift, came as a major triumph for the quantum theory of light. A negative outcome would have very seriously affected the foundations of quantum electrodynamics.
However, the decision whether a theoretical law is true or not can also be made in an uncontrolled investigation. You are all aware of the importance of observations of stellar light during a total solar eclipse to test Einstein's General Theory of Relativity. According to this theory, a ray of light from an object beyond, passing close to a massive body, is slightly bent away from it. The eclipse of 21 September 1922 furnished an almost ideal opportunity since measurements could be made in the desert climate of Northern Australia for almost 6 min. A deflection of 1. ″72 ± 0. ″11 was obtained which is in excellent agreement with the theory (Olivier 1968).

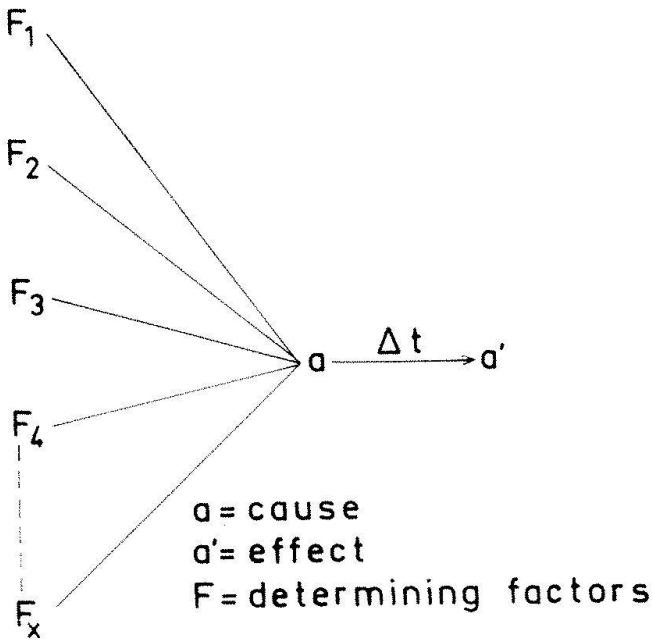


Fig. 2. Formulation of principle of causality to indicate use of this principle in 'causal' research in biology (after Mohr 1977).

Experimentation in Biology

Non-trivial experiments in Biology are difficult to perform. Why? Biological systems are by their very nature always complex, and useful experiments require the maintenance of the complexity, the intact system, whose properties we want to measure, e.g. a human body, a cell, a mitochondrion, a multienzyme complex. The limits of reductionism are obvious to the modern experimentator. With an isolated mitochondrial preparation you cannot expect to find the laws which govern the energy status of the cell. With a culture of human fibroblasts as an experimental material you cannot expect to discover the coexistence laws which govern the mechanical stability of the human body. With a plant cell suspension culture you cannot study the process laws which govern embryogenesis. In theoretically advanced physiology the tendency of the researcher is directed towards a conservation of a largely undisturbed system complexity. In vivo experiments are preferred, mostly performed as black-box-experiments in which an output of the system – the effect – is measured as a function of some input – called the variable factor while the boundary conditions are strictly defined and controlled. In modern physiology input and output are usually measured in physical, chemical or physico-chemical terms. Black-box-experiments in biology require a high degree of descriptive knowledge about the system in question and a clear notion of what *causality* means. The common sense view of causality "An identical cause produces an identical effect" no longer suffices and is in fact misleading. Sheer ignorance of the logical structure of 'causal' research in physiology has created much confusion, in particular in genetics and molecular biology.

Causality in Biology

Causal research in biology (fig. 2, 3) should actually be called (Mohr 1977) 'factor research' since we are not able to study the relationship between cause and event (effect) but only the relationship between variable factors and events. This is far more than a semantic problem. Formulation of the principle of causality requires the notion of determination and a time directedness. The principle can be formulated as an if-then proposition (fig. 2): If x distinct factors (F_1, F_2 ... F_x) determine the state a and if a' follows from a with time, then the general proposition is that if the state a (determined by x factors) is given (cause), the state a'

(effect) will always follow. A formulation of the principle of causality as a negation is: There are no indeterminate events.

In 'causal' research we cannot do more than to vary one, two, or (rarely) more factors in an experiment and to record the effect. Those of the x factors that we vary in the experiment are called variable factors or briefly 'variables'.

In an attempt to illustrate the formal model of the principle of causality we consider the case of a single factor analysis in genetics. To characterize living systems, the scientist uses traits (characteristics, characters). These terms designate such properties or abilities of living systems that can be measured. The sum of the traits is called the phenotype.

As an example, we chose the trait 'anthocyanin'. The red plant pigment anthocyanin can easily be detected and be measured quantitatively. Since the formation of anthocyanin is a luxury function of the cell, i.e., not required for the existence of a cell per se but

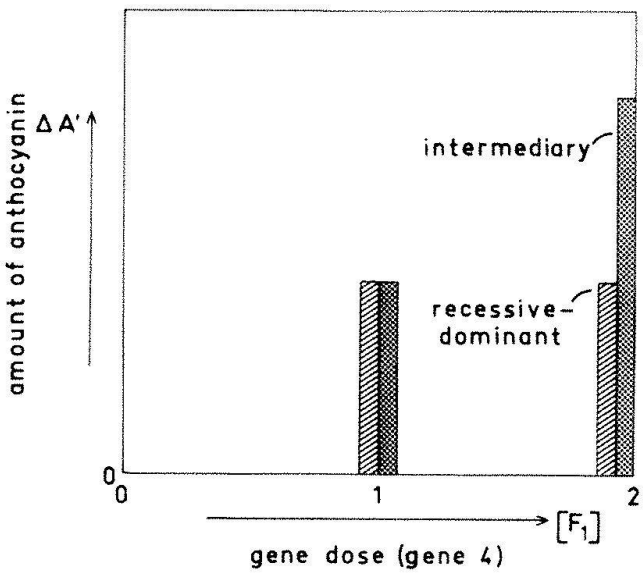


Fig. 4. Quantitative relationships between gene dose (factor dose) and amount of trait (effect) in a diploid system producing anthocyanin. Intermediary inheritance: amount of anthocyanin is proportional to gene dose. Recessive-dominant inheritance: gene dose 1 (of $gene_4$ in fig. 3) saturates system. With increasing gene dose other factors limit production of anthocyanin (after Mohr 1977).

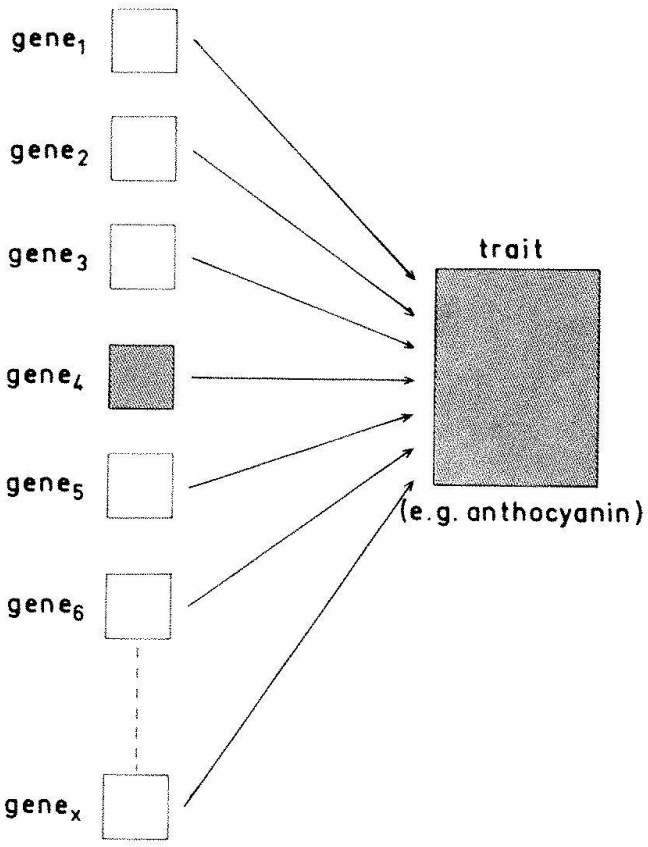


Fig. 3. This sketch is supposed to illustrate formal gene-trait relationship and 'logic' of single-factor analysis. 'Trait' is used in sense of classical genetics. E.g., red coloration of petals by anthocyanin is considered a trait (after Mohr 1977).

only relevant for the reproductive fitness of the whole organism, this trait has been used extensively in genetics. Under experimental conditions it is irrelevant for the well-being of a plant whether anthocyanin is being synthesized or not. Comparing figure 3 with the model (fig. 2) it becomes obvious that those x genes that contribute to the trait anthocyanin must be identified with the cause a whereas the trait proper (the appearance of anthocyanin) must be identified with the effect a'. Now we choose one of these x genes as a variable, say $gene_4$. This particular $gene_4$ is equivalent to the variable factor F_1 in the general model. Without $gene_4$ the trait will not develop at all even though all other factors are available. The law-like relationship between the amount ("dose") of $gene_4$ and the amount of the trait ("effect") has been known since the early days of formal genetics (fig. 4). In the case of intermediary inheritance in a diploid system, $gene_4$ is the rate-limiting factor whereas with recessive-dominant inheritance the gene dose 1 is already saturating. This implies that some other factor(s) of the x factors become limiting with regard to the quantitative expression of the trait anthocyanin as soon as the

gene dose 1 of $gene_4$ is available. Most of classical genetics is based on this model. It is obvious that a statement such as '$gene_4$ causes anthocyanin synthesis' is not an appropriate description of the actual situation. Anthocyanin synthesis is caused by the total set of x genes. However, the statement 'the lack of appearance of the trait anthocyanin is caused by the lack of $gene_4$' is logically correct and should thus be preferred.

The Process of Research in Reality

In my brief sketch of the scientific approach I did not want to give the impression that this process is a systematic, well organized, and deliberate procedure. The opposite is true (Goldstein 1978). The scientific enterprise is a complex and erratic one. It includes a large number of people with different interests, purposes, skills, and depth of understanding. Not all experiments succeed. Sometimes they are just badly done, and the scientific consensus, recognizing this, disregards them. Sometimes, although they are carried out well, the results are confusing and raise more questions than they answer. But from time to time, out of this welter of uncoordinated activity, results emerge that we recognize as important and reliable. Knowledge is reliable (as I said) if it will serve successfully as a basis for action. The natural sciences achieve reliability by a complex social process whereby the scientific statements must be, first, consensible (that is, potentially affirmable) and, ultimately, consensual (that is, in fact affirmed by most qualified scientists). The consensus principle is the essence of science. Science is neither subjective nor objective but 'intersubjective'. The pitfall that the individual researcher who makes an observation or does an experiment is part of the operation and may affect it by his presence, his particular expectations, his preconceptions, by the state of his mind, has been overcome in science.

Science and Authority

A final point: It is often stated that modern sciences started with the appeal to experimental test. This is not really true. The basis of science is disciplined learning by experience, experience as the final court of appeal. Whether experience is obtained in an uncontrolled investigation such as the observation of an eclipse, in a controlled investigation such as the observation of plant growth on a klinostat or in an experiment proper such as the input – output causal investigation is a secondary matter.

The decisive point which marks the rise of modern science is the rejection of authority other than experience, the rejection of the idea that the properties of the real world, including man himself, could be deduced from a priori philosophical principles alone.

References

Ziman J. 1979: Reliable Knowledge – an Exploration of the Grounds for Belief in Science. London.

Lindsay R. 1979: The claims of science. Science 205, 576.

Mohr H. 1977: Lectures on Structure and Significance of Science. New York.

Kuhn T.S. 1970: The Structure of Scientific Revolutions. Chicago.

Popper K.R. 1959: The Logic of Scientific Discovery. London.

Walls D.F. 1979: Evidence for the quantum nature of light. Nature 280, 451.

Olivier Ch.P. 1968: Eclipse. Encyclopedia Americana 9, 546.

Goldstein M., Goldstein I.F. 1978: How he know – an Exploration of the Scientific Process. New York. Chapter 8.

Address of the Author:

Prof. Dr. Hans Mohr
Biologisches Institut
Albert-Ludwigs-Universität
D-7800 Freiburg im Breisgau

La responsabilité du chercheur face à la société et à l'homme

Edgar Morin

Dans ce symposium consacré à la méthode, je vais parler du problème pour lequel manque toute méthode: la responsabilité du chercheur face à la société et à l'homme.

L'absence de responsabilité scientifique et de science de la responsabilité

La responsabilité est une notion humaniste éthique qui n'a de sens que pour un sujet conscient.
Or la science, dans la conception «classique» qui règne encore de nos jours disjoint par principe fait et valeur, c'est à dire élimine de son sein toute compétence éthique, fonde son postulat d'objectivité sur l'élimination du sujet de la connaissance scientifique. Elle ne fournit aucun moyen de connaissance pour savoir ce qu'est un «sujet».
La responsabilité est donc non-sens et non-science. Le chercheur est irresponsable par principe et métier.
Du même coup, le problème de la responsabilité échappe aux critères scientifiques minimaux de contrôle qui visent à guider la distinction du vrai et du faux. Elle est livrée aus opinions, convictions, et si chacun prétend et croit avoir une conduite «responsable», il n'existe ni hors de la science, ni dans la science un critère veritable de la «vraie» responsabilité. Ainsi Einstein s'est cru profondément responsable devant l'humanité quant il a, dans un premier temps, lutté contre tous préparatifs militaires. Il s'est cru encore plus responsable devant l'humanité quand il est intervenu instamment pour la fabrication de la bombe atomique.

Il n'y a pas de sociologie de la science

L'exemple d'Einstein est éclairant. L'esprit le plus génial ne dispose pas des conditions lui permettant de penser la science dans la société, c'est à dire de connaître la place et le rôle de la science dans la société.
Effectivement, il n'y a pas de sociologie de la science. Il n'existe que des enquêtes parcellaires sur la vie des labos et les mœurs des scientifiques, des conceptions déterministes puériles qui font de la science un pur produit de la société, voire une idéologie de classe. Une sociologie de la science devrait être plus puissante scientifiquement que la science qu'elle embrasse. Or elle est scientifiquement infirme par rapport aux autres sciences. Alors, si on ne sait pas concevoir scientifiquement le scientifique et la science, comment penser scientifiquement la responsabilité du scientifique dans la société?
D'autre part, le cas d'Einstein pose un problème sociologique plus général, celui de l'écologie des actes dont on peut formuler ainsi le principe: Un acte d'individu ou de groupe entre dans un complexe d'inter-rétroactions qui le font dériver, dévier et parfois inverser son sens; ainsi une action destinée à la paix peut éventuellement renforcer les chances de guerre. Inversement une action renforçant les risques de guerre peut eventuellement œuvrer pour la paix (intimidation). Il ne suffit donc pas d'avoir des bonnes intentions pour être vraiment responsable. La responsabilité doit affronter une terrible incertitude.

L'absence de science de la science

La question «qu'est ce que la science» n'a pas de réponse scientifique. L'ultime découverte de l'epistémologie anglo-saxonne est qu'est scientifique ce qui est reconnu tel par la majorité des scientifiques. C'est dire qu'il n'y a aucune méthode objective pour considérer la science comme objet de science et le scientifique comme sujet.

Les apories de la connaissance scientifique

La difficulté de connaitre scientifiquement la science est accrue par le caractère paradoxal de cette connaissance:
- progrès inoui des connaissances correlatif à un progrès incroyable de l'ignorance,
- progrès des aspects bénéfiques de la connaissance scientifique correlatif au progrès de ses caractères nocifs et mortifères,
- progrès accru des pouvoirs de la science et impotence accrue des scientifiques dans la société et à l'égard des pouvoirs de la science eux-mêmes.

Le pouvoir est en miettes au niveau de la recherche, mais il est reconcentré et engrené au niveau politique et économique.

La progression de la science et la regression de la conscience

La progression des sciences de la nature entraîne des régressions qui affectent le problème de la société et de l'homme.
De plus l'hyper-spécialisation des savoirs disciplinaires a désormais mis en miettes le savoir scientifique (qui ne peut plus être unifié qu'à des niveaux de très haute, abstraite formalisation), y compris et surtout dans les sciences anthropo-sociales, qui ont tous les vices de la sur-specialisation, sans en avoir les avantages. Ainsi tous les concepts molaires qui recouvrent plusieurs disciplines sont broyés ou lacérés entre ces disciplines et ne sont nullement reconstitutés par les tentatives interdisciplinaires. Il devient impossible de penser scientifiquement l'individu, l'homme, la société. Certains scientifiques ont fini par croire que leur impuissance à penser ces concepts prouvait que les idées d'individu, d'homme, de vie étaient naïves et illusoires, et ont promulgué leur liquidation. Comment alors concevoir la responsabilité de l'homme à l'égard de la société et celle de la société à l'égard de l'homme quand il n'y a plus ni homme ni société?
Enfin et surtout, le processus du savoir/pouvoir en miettes tend à aboutir, s'il n'est pas contrebattu de l'intérieur des sciences mêmes, à une transformation totale du sens et de la fonction du savoir: Le savoir est non plus fait pour être pensé, réflechi, médité, discuté par des êtres humains pour éclairer leur vision du monde et leur action dans le monde, mais produit pour être stocké dans des banques de données et manipulé par les puissances anonymes. La prise de conscience de cette situation arrive le plus souvent brisée à l'esprit du chercheur scientifique: Celui-ci à la fois la reconnait et s'en protège dans une vision tryptique où sont dissociées et non communicantes: science (pure, noble, belle, désintéressée), technique (qui comme la langue d'Esope peut servir au meilleur et au pire), politique (mauvaise et nocive, qui pervertit la technique, c'est à dire les resultats de la science).
La mise en accusation du politique par le scientifique devient ainsi pour le chercheur le moyen d'éluder la prise de conscience des interactions solidaires et complexes entre les sphères scientifiques, les sphères techniques, les sphères sociologiques, les sphères politiques. Elle l'empêche de concevoir la complexité de la relation science/société et le pousse à fuir le problème de sa responsabilité intrinsèque. Un autre aveuglement symétrique consiste à voir dans la science une pure et simple «idéologie» sociale: des lors, le scientifique qui voit ainsi la science troque le mode de penser scientifique pour le mode de penser du militant au moment même où il s'agit de penser scientifiquement la science.

L'éthique de la connaissance tend à ignorer, voire à contredire l'éthique de la responsabilité sociale

Bien que la connaissance scientifique élimine d'elle-même toute compétence éthique, la praxis de chercheur suscite ou nécessite une éthique propre. Il ne s'agit pas seulement d'une morale extérieure que l'institution impose à ses employés, il s'agit plus encore d'une conscience professionnelle inhérente à toute professionalisation, il s'agit d'une éthique propre à la connaissance, qui anime tout chercheur qui ne se considère pas comme un simple fonctionnaire: C'est l'impératif: connaître pour connaître. L'impératif de connaître doit triompher, pour la connaissance, de tous interdits, tabous, qui la limiteraient. Ainsi la connaissance scientifique, depuis Galilée, a victorieusement surmonté les interdits religieux. Or l'éthique de connaître tend d'elle même, chez le cher-

cheur sérieux, à prendre la priorité, à s'opposer à toute autre valeur, et cette connaissance «désintéressée» se désintéresse de tous les intérêts politico-économiques qui utilisent eux, en fait, ces connaissances.

Pas de solutions, des voies

Le problème de la responsabilité du chercheur face à la société est donc celui d'une tragédie historique et son retard terrible par rapport à l'urgence le rend d'une urgence encore plus grande.
Mais il serait tout à fait illusoire de croire qu'une solution puisse être magiquement trouvée. Il faut au contraire insister sur le contre-effet de deux illusions: L'illusion qu'il existe une conscience politique fondée scientifiquement qui puisse guider le chercheur. Toute théorie politique qui se prétend scientifique, monopolise la qualité de science et révèle par là même son anti-scientificité. L'illusion qu'une conscience morale suffit pour que l'action qu'elle déclenche aille dans le sens de sa visée. L'écologie de l'action nous montre que nos actions, une fois entrées dans le monde social sont entrainés dans un jeu d'interactions/retroactions où elles sont détournées de leurs sens, parfois prenant un sens contraire: Exemple d'Einstein déjà cité.
Il nous faut donc tenter de dépasser, et le splendide isolement, et l'activisme borné.
Ici, pas de solutions, des voies:

a) Une prise de conscience critique.
Le scientifique doit cesser de se prendre pour Moïse (Einstein), Jérémie (Oppenheimer), mais ne doit pas se voir en Job sur son fumier. Bien que les pesanteurs bureaucratiques soient énormes au sein de l'institution scientifique (française, non suisse bien entendu), il faut que le milieu scientifique puisse mettre en crise ce qui lui semble évident.

b) La nécessité d'élaborer une science de la science.
La connaissance de la connaissance scientifique comporte nécessairement une dimension réflexive. Cette dimension réflexive ne doit plus être renvoyée à la philosophie. Elle doit venir de l'intérieur du monde scientifique, comme nous le montre bien le professeur Pilet. Les travaux divers de Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos ont pour trait commun de montrer que les théories scientifiques, comme les icebergs, ont une part immergée énorme qui n'est pas scientifique, et qui est la zone aveugle de la science, mais indispensable au développement de la science. La pensée d'Adorno et de Habermas nous rappelle que l'énorme masse du savoir quantifiable et techniquement utilisable n'est que du poison, s'il est privé de la force libératrice de la réflexion.
Il nous faut aller vers une conception enrichie et transformée de la science (laquelle évolue, comme toutes choses vivantes et humaines) où s'établisse la communication entre objet et sujet, entre anthropo-sociologie et sciences naturelles. C'est alors que pourrait se tenter la communication (non unification) entre «faits» et «valeurs»: pour qu'une telle communication soit possible, il faut d'une part une pensée capable de réfléchir sur les faits et les organiser pour en avoir une connaissance, non plus seulement atomisée, mais molaire, et d'autre part une pensée capable de concevoir l'enracinement des valeurs dans une culture et une société.
Le problème de la conscience (responsabilité) suppose une réforme des structures de la connaissance elle-même.
Ainsi donc le problème n'a pas de solution, aujourd'hui.
Il peut vous sembler que je vous présente un tableau désespéré, que j'introduise un doute généralisé qui détruisant le roc solide des convictions, doit entraîner un pessimisme démoraliseur et dévastateur. Mais ce serait oublier qu'il est nécessaire de désintégrer les fausses certitudes et les pseudo-réponses lorsqu'on veut trouver les adéquates réponses. Ce serait oublier que la découverte d'une limite ou d'une carence dans notre conscience constitue déjà un progrès fondamental et nécessaire pour cette conscience.
Il serait vraiment naïf que des scientifiques attendent et espèrent en une solution magique. Nous devons comprendre que la notion de responsabilité du scientifique nous contraint à être responsable de l'usage du mot responsabilité, c'est à dire nous fait obligation d'en révéler les difficultés et la complexité.
Nous n'avons pas encore(?) de solution. En attendant, nous devons vivre et assumer un polytheisme des valeurs. Mais, à la différence du polytheisme inconscient (où le chercheur

qui obéit dans son labo à l'éthique de la connaissance se mute brusquement, hors labo, en amant jaoux, époux égoiste, père brutal, chauffeur hystérique, citoyen borné, et se satisfait politiquement d'affirmations qu'il rejetterait avec mépris si elles concernaient son champ professionnel), le polythéisme doit devenir conscient.

Nous servons au minimum deux dieux, complémentaires et antagonistes: le dieu de l'éthique de la connaissance, qui nous dit qu'il faut tout sacrifier à libido scienti, et le dieu de l'éthique civique et humaine. Or le Dieu de la connaissance illimitée doit savoir que l'arbre de la connaissance scientifique risque de s'écrouler sur nos têtes, sous le poids de ses fruits, et écraser Adam, Eve et le malheureux serpent.

Il y a certes une limite à l'éthique de la connaissance. Mais elle était invisible a priori et nous l'avons franchie sans le savoir. C'est la limite où la connaissance apporte en elle la mort généralisée.

Alors, une seule chose nous reste aujourd'hui: c'est de résister aux pouvoirs qui ne connaissent pas de limites, et qui déjà dans une très grande partie de la terre, musèlent et controlent toutes connaissances, sauf la connaissance scientifique techniquement utilisable par eux parce que celle-ci, précisément, est aveugle sur ses activités et son rôle dans la société, aveugle sur ses responsabilités humaines.

Adresse de l'auteur:

Prof. Edgar Morin
Centre d'Etudes transdisciplinaires, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales
44 rue de la Tour
F-75016 Paris

Méthodes modernes en Cytologie

Symposium organisé en commun par les Sociétés suisses de Botanique, de Physiologie végétale et de Zoologie du 5 octobre 1979

U. Leemann (Zürich)
Neue Methoden der lichtmikroskopischen Zytochemie 30

M. Müller (Zürich)
Elektronenmikroskopische Techniken auf der Basis der Gefrierfixation 34

J. Dubochet (Heidelberg)
EMBLEM ou la microscopie électronique au Laboratoire européen de biologie moléculaire 40

M. A. Spycher (Zürich)
Energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX) in der Zytologie 42

Neue Methoden der lichtmikroskopischen Zytochemie

Ursula Leemann

Einleitung

Die Fluoreszenz spielt heute in der Zytochemie eine bedeutende Rolle; in den letzten Jahren hat eine ganze Reihe neuer Fluoreszenzreagenzien Verbreitung gefunden. Im folgenden seien deshalb einige Probleme und Anwendungsmöglichkeiten von Fluoreszenzreaktionen dargestellt.

Für quantitative Untersuchungen bietet die Fluoreszenz wesentliche Vorteile: Die Intensitätsmessung erlaubt Stoffmengenbestimmungen an Zellen oder Zellpartikeln ohne das bei Absorptionsmessungen notwendige Scanning. Seit Einführung der Durchflusszytofluorometrie besteht ein ausgeprägtes Bedürfnis nach methodisch einfachen Farbreaktionen, die weder Vor- noch Nachbehandlung des Zellmaterials erfordern. Abgesehen von der Zeitersparnis, haben solche Reaktionen auch in der Mikroskopie ganz allgemein Vorteile: Sie vermindern die Gefahr, dass Zellen verloren, Stoffe extrahiert oder Strukturen verändert werden. Die Fluoreszenz bietet auch in dieser Beziehung, dank der hohen Empfindlichkeit, sehr günstige Voraussetzungen. Erwähnt seien hier beispielsweise neuere Reaktionen für Amine, speziell Peptidhormone, mit Fluorescamine (Håkanson et al. 1975) und für Sulfhydrile mit Dansylaziridin (Arndt-Jovin et al. 1976).

Die Fluoreszenz hängt natürlich wie die Absorption von der molekularen Struktur des Farbstoffes ab. Bekannt sind seit langem zum Beispiel metachromatische Farbstoffe wie etwa das Akridinorange. Die Fluoreszenz reagiert aber viel empfindlicher auf geringfügige innermolekulare Verschiebungen, wie sie zum Beispiel durch Polaritätsänderungen in Substrat oder Medium hervorgerufen werden. Verschiedene Substrate können, trotz mengenmässig gleicher Farbstoffbindung, unterschiedliche Quanteneffizienzen des Farbstoffes zur Folge haben. Diese Erscheinung ist zunächst für zytofluorometrische Mengenbestimmungen eher eine unerwünschte Komplikation. Andererseits sind solche Effekte aber unter Umständen nutzbar für die Untersuchung von biologischen Prozessen und Strukturen. Mehrere Anwendungen dieser Art sind beschrieben worden, zum Beispiel Potentialmessungen an Nervenfasern (Ross et al. 1977) und Muskelzellen (Oetliker et al. 1975) oder Membranuntersuchungen (Arndt-Jovin et al. 1976). Für Routineuntersuchungen sind freilich solche Messungen noch in keiner Weise verfügbar.

Näher bei der klassischen Zytochemie liegen Untersuchungen mit DNA-Reagenzien, die in den letzten Jahren als Bandingfarbstoffe bekannt geworden sind. Mindestens teilweise dürften auch hier Quanteneffizienzprobleme eine Rolle spielen. Eine genaue Erklärung der den Banden zugrunde liegenden Chromosomenstrukturen ist ja noch immer nicht möglich, trotz einer Vielzahl von Untersuchungen. Im folgenden seien nur einige Probleme und Resultate für das DNA-Farbstoffpaar DAPI und Chromomycin respektive Mithramycin dargestellt.

DNA-Farbstoffe, am Beispiel von DAPI und Chromomycin, respektive Mithramycin

DAPI, ähnlich wie DIPI und Hoechst 33258, produziert ein Quinacrin-ähnliches Bandenmuster, während Mithramycin wie das nahe verwandte Chromomycin ein R-Muster ergibt (Schnedl et al. 1977a; Schweizer 1976). Die beiden Farbstoffe können in einer Doppelfärbung verwendet und durch selektive Anregung gesondert beobachtet werden (Leemann & Ruch 1978). Im Modell, das heisst an isolierter DNA und Polynukleotiden, ist die Fluoreszenz dieser Farbstoffe

quantitativ vom Basengehalt der DNA abhängig (AT bei DAPI, GC bei Mithra- und Chromomycin). Die Frage ist nun, ob dies auch bei den Chromosomen der Fall ist. Weitere Faktoren wie Proteine oder Basensequenzen dürften die Sache komplizieren, und es gibt Anhaltspunkte dafür, dass mehrere Bindungsmechanismen vorliegen (Leemann und Ruch 1978). Ob es sich bei den Banden um Farbstoffbindungs- oder um Quanteneffizienzerscheinungen handelt (wie zum Beispiel beim Proflavin, Rigler 1973), ist bis heute nicht bekannt.

DNA-Bestimmungen mit DAPI und Mithramycin

Beide Farbstoffe können für DNA-Mengenbestimmungen an Zellkernen verwendet werden (Schnedl et al. 1977b; Johannisson & Thorell 1977); eigene Massungen an Leukozyten und Rattenleberkernen haben dies bestätigt. Allerdings beziehen sich diese Resultate auf Objekte mit gleichem oder ähnlichem Basengehalt, wie zum Beispiel die verschiedenen Säugerzellen. Sie zeigen, dass die Färbungen grundsätzlich reproduzierbar und quantitativ sind, geben aber keine weiteren Auskünfte über die Frage nach der Basenabhängigkeit.
Die DNA von verschiedenen niedrigeren Pflanzen und Tieren weist eine von den Säugern stark abweichende Basenzusammensetzung auf; ihre Untersuchung kann deshalb zur Klärung der offenen Fragen beitragen. B. Müller (Diss., ETH, noch nicht publ.) erhielt an Rattenleberkernen, Seeigelspermien und Charaspermien tatsächlich mit DAPI und Mithramycin Fluoreszenzwerte, die den verschiedenen Basengehalten recht gut entsprechen. Messungen bestimmter menschlicher Chromosomen (I. Hauser, Diss. ETH, noch nicht publ.) ergaben Resultate, die ebenfalls auf eine Basenabhängigkeit der Fluoreszenz schliessen lassen: die Fluoreszenzwerte verhalten sich bei den beiden Farbstoffen reziprok abweichend vom durchschnittlichen DNA-Gehalt der Chromosomen. (Dies im Gegensatz zu Quinacrinmustard, das bedeutend stärkere Abweichungen ergibt.) Generell dürften diese Ergebnisse zeigen, dass die Farbstoffe Mithramycin und DAPI nicht nur im Modell, sondern auch im Zellkern und an Chromosomen eine vom Basengehalt abhängige Fluoreszenz zeigen.
Ob sich freilich die Chromosomenbanden ausschliesslich durch den Basengehalt der DNA erklären lassen oder nicht, kann damit nicht beantwortet werden. Die Abweichungen vom durchschnittlichen DNA-Gehalt sind teilweise zu gering, um in dieser Beziehung eine völlig schlüssige Interpretation zu erlauben. Die Chromosomen setzen sich ja aus Banden und Interbanden zusammen; eine Kompensation von Stellen mit zu hoher und solchen mit zu niedriger Fluoreszenz (gerechnet auf den Basengehalt) ist nicht auszuschliessen. Leider ist es technisch kaum möglich, einzelne Banden zu messen. Auch Scanning-Methoden sind zu wenig genau, da sich die Banden zu nahe am Auflösungsvermögen des Mikroskopes bewegen und die Abgrenzung zu viele Unsicherheiten mit sich bringt. Immerhin wurde mit den genannten Arbeiten eine Grundlage geschaffen, auf der aufzubauen ist: Die Untersuchung von weiterem Material, speziell besonderen menschlichen Karyotypen, dürfte sich lohnen.

Qualitative Untersuchungen an Pflanzenchromosomen

Weitergehende Feststellungen lassen sich nun zumindest qualitativ an pflanzlichen Chromosomen machen. Bekanntlich weisen diese wesentlich andere Bandenmuster auf als die Säugerchromosomen, was mit dem höheren Konzentrationsgrad erklärt worden ist (Greilhuber 1977). Bei Anemone blanda zum Beispiel ergibt DAPI eine Vielzahl, Mithramycin dagegen nur zwei oder drei starke Banden (Leemann & Ruch 1978).
Im folgenden seien nun einige Resultate an Chromosomen von Vicia faba dargestellt. Untersucht wurden Essigsäure-Quetschpräparate von Alkohol-Eisessig (3:1) fixierten Wurzelspitzen. Gefärbt wurde mit DAPI (30 Minuten, 2.10^{-6} in Sörensenpuffer pH 7.0), oder mit Chromomycin (30 Minuten, 10^{-4} in Sörensenpuffer pH 7.0, 0.01 M $MgCl_2$ enthaltend), oder, als Doppelfärbung, zuerst mit Chromomycin (30 Minuten), dann mit DAPI (30 Minuten). Als Einschlussmittel diente ein Puffer pH 7-Glyzerin-Gemisch 1:1.
Beim grossen Chromosom von Vicia faba

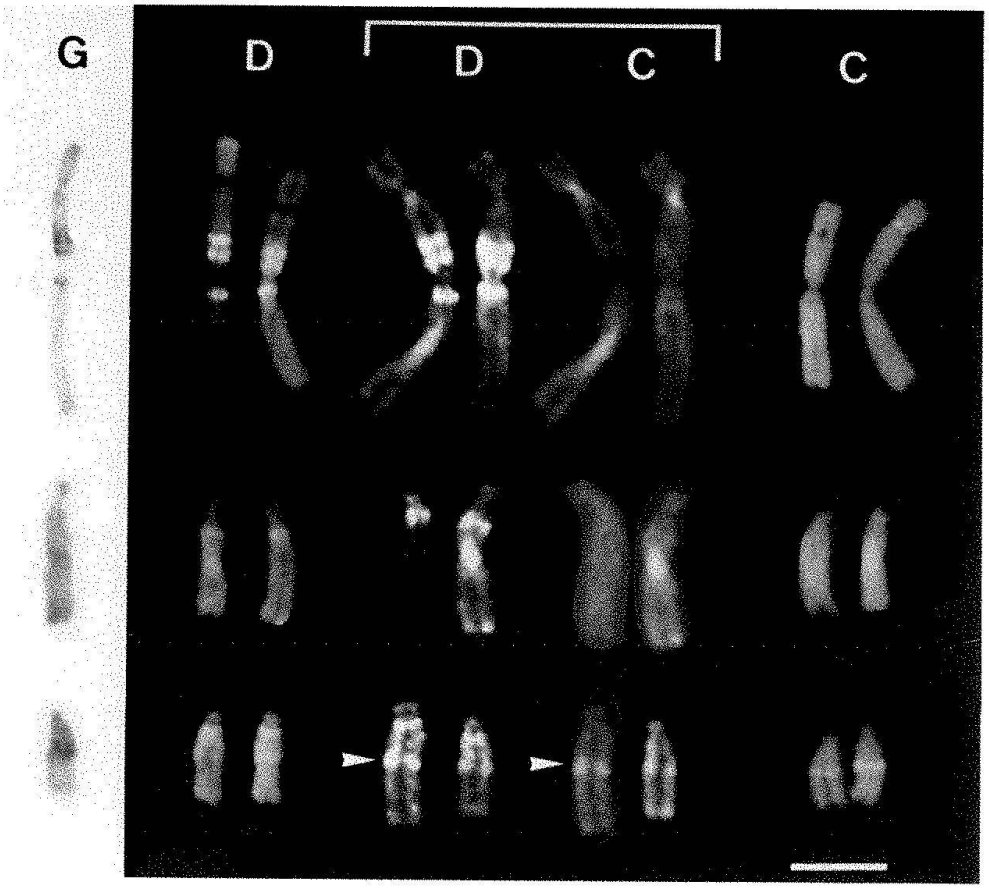


Abb. 1. Vicia faba, Wurzelspitzen-Quetschpräparat. Chromosomen Nr. 1 (obere), 2 (mittlere) und 6 (untere Reihe). Strich: 10 µm. G: Giemsa, nach Bariumhydroxyd-Behandlung; D: DAPI, Anregung 365 nm; C: Chromomycin, ___ Anregung 435 µm; $\overline{DC}$: Doppelfärbung.

(Abb. 1) ist ähnliches zu beobachten, wie bei Anemone blanda: drei starke DAPI-Banden in der Nähe des Centromers, die den Giemsa-Banden entsprechen, mit korrespondierenden Dunkelstellen an Chromomycin-gefärbten Chromosomen. Bei der DAPI-negativen sekundären Einschnürung lässt sich eine Chromomycin-Bande erkennen. Der Rest des Chromosoms fluoresziert mit beiden Farbstoffen mit mittlerer Intensität.

Man kann dies nun durchaus auch mit der Basenabhängigkeit der Fluoreszenz erklären, sofern man mehrere Niveaus von Basengehalten annimmt. Bei genauerem Hinsehen erweist sich das Bild aber als komplexer. Mit Chromomycin ist an der sekundären Einschnürung immer, auch bei schwächer kontrahierten (d.h. zum Beispiel nicht colchicinisierten) Chromosomen eine durchgehende Struktur zu beobachten (Abb. 2a). Um diese Chromomycin-positive DNA dürfte es sich bei der Fluoreszenz der isolierten Nukleolen handeln, wobei offenbar die Banden-bildende DNA entweder am Nukleolus hängen bleiben (grosser Pfeil, Abb. 2b oben) oder weggerissen werden kann (Abb. 2b unten). An allen beobachteten Nukleolen waren zumindest die feineren DNA-Strukturen erkennbar (kleiner Pfeil). Mit DAPI dagegen konnte nie eine Nukleolus-Fluoreszenz festgestellt werden, obwohl DAPI absolut gesehen sehr viel stärker (mindestens 10×) fluoresziert. Entweder enthält also die NOR-DNA bei Vicia praktisch ausschliesslich GC-Basenpaare, oder aber die Fluoreszenz ist nicht einfach proportional zum Basengehalt.

Ein eindeutiger Schluss lässt sich beim kleinsten Vicia-Chromosom ziehen (Abb. 1): die gleichzeitig mit DAPI wie mit Chromomycin erkennbare Bande kann offensichtlich nicht mit basenspezifischer Fluoreszenz der Farbstoffe erklärt werden.

Um abzuklären, ob die Banden ein Farbstoffbindungs- oder ein Quanteneffizienzphänomen sind, wurden Fotografien im Absorptionsbereich der Farbstoffe gemacht. Die Absorptionen sind äusserst gering, was für die Fluoreszenz sehr günstig ist, aber natürlich das Fotografieren wie die Interpretation der Fotos erschwert. Für DAPI wurde 340 und 365 nm, für Chromomycin 435 nm gewählt. In keinem Fall konnten Banden beob-

achtet werden, die auch nur annäherungsweise mit den Fluoreszenzbanden verglichen werden könnten. Dies heisst, dass die Banden durch erhöhte Quanteneffizienz und nicht erhöhte Farbstoffbindung zu erklären sind. Dies schliesst eine Basenabhängigkeit der Fluoreszenz natürlich nicht aus, lässt aber bei quantitativen Untersuchungen doch Vorsicht geboten erscheinen.

Zusammenfassend kann also folgendes gesagt werden: Das Farbstoffpaar DAPI und Chromomycin (resp. Mithramycin) lässt sich annäherungsweise für die zytofluorometrische Bestimmung von DNA-Basengehalten verwenden. Es ergibt im allgemeinen reziproke Chromosomen-Bandenmuster, was auf eine Korrelation von Banden und DNA unterschiedlichen Basengehaltes hinweist. Ausnahmen von dieser Regel sowie Absorptions- und Fluoreszenzmessungen deuten indessen darauf hin, dass mehrere Mechanismen existieren; die Banden sind zumindest bei pflanzlichen Chromosomen eher Folge erhöhter Quanteneffizienz als stärkerer Farbstoffbindung. Eine quantitative Beziehung zwischen Fluoreszenz und Basengehalt in den einzelnen Chromosomenbanden darf deshalb nicht generell angenommen werden. Eindeutig nicht reziprok färbende Chromosomenbanden dürften allerdings DNA-mengenmässig wenig ins Gewicht fallen, weshalb sie auch die oben genannte Verwendbarkeit nicht wesentlich zu beeinträchtigen brauchen.

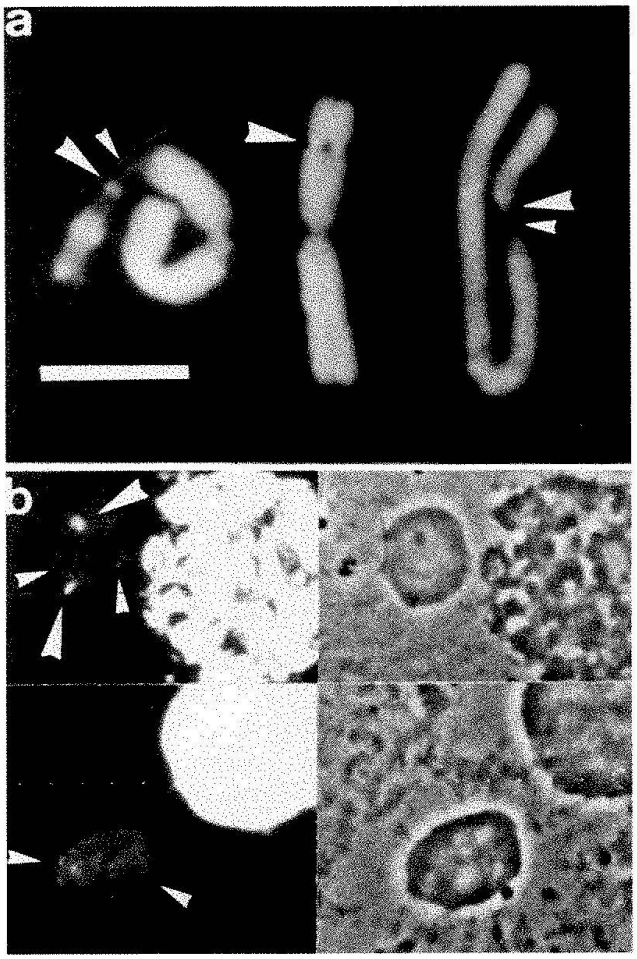


Abb. 2. Vicia faba. Wurzelspitzen-Quetschpräparat, Chromomycin. a: Chromosomen Nr. 1, Strich: 10 µm; b: Nukleolen.

Literatur

Arndt-Jovin D.J. et al. 1976: Studies of cellular differentiation by automated cell separation. J. histochem. cytochem. 24. 332.

Greilhuber J. 1977: Why plant chromosomes do not show G-bands. Theor. App. Genet. 50. 121.

Håkanson R., L.I. Larsson & Sundler F. 1974: Fluorescamine: a novel reagent for the histochemical detection of amino groups. Histochem. 39. 15.

Johannisson E. & Thorell B. 1977: Mithramycin fluorescence for quantitative determination of DNA in single cells. J. histochem. cytochem. 25. 122.

Leemann U. & Ruch F. 1978: Selective Exitation of Mithramycin or DAPI fluorescence on double-stained cell nuclei and chromosomes. Histochem. 58. 329.

Oetliker H. et al. 1975: Simultaneous changes in fluorescence and optical retardation in single muscle fibres during activity. Nature 257. 693.

Rigler R. 1973: Interactions between Acridines and DNA. Nobel sympos. 23. 335.

Ross W.N. et al. 1977: Changes in absorption, fluorescence, dichroism and birefringence in stained giant axons: optical measurement of membrane potential. J. Membr. Biol. 33. 141.

Schnedl W. et al. 1977a: Mithramycin and DIPI: a pair of fluorochromes specific for GC- and AT-rich DNA respectively. Hum. Genet. 36. 299.

Schnedl W. et al. 1977b: Cytofluorometric analysis of nuclei and chromosomes by DIPI staining. Cytobiologie 15. 357.

Schweizer D. 1976: Reverse fluorescent chromosome banding with chromomycin and DAPI. Chromosoma 58. 307.

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Ursula Leemann
Institut für Allgemeine Botanik
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich

Elektronenmikroskopische Techniken auf der Basis der Gefrierfixation

Martin Müller

Das häufigste Ziel einer elektronenmikroskopischen Untersuchung biologischer Objekte ist die Beschreibung von Strukturen im Hinblick auf deren Funktion. Im Bereiche der Zellbiologie geht es z. B. um die Frage, wieweit man aus dem elektronenmikroskopischen Bild eines Zellorganelles auf seinen momentanen Funktionszustand schliessen darf.

Die strukturelle Beschreibung von Zellen und Geweben ist als Basis für Struktur/Funktionsbeziehungen um so wertvoller, je genauer, je absoluter die Strukturen beschrieben werden können. Ziel elektronenmikroskopischer präparativer Weiterentwicklung muss deshalb die Suche nach Wegen sein, die Objekte möglichst detailreich und unverfälscht darzustellen.

Der erste Schritt dazu besteht im Abstoppen der physiologischen Prozesse sowie in der Stabilisierung der Strukturen, also in der Fixation. Bei den konventionellen Verfahren wird die Fixation auf chemischem Wege mit Hilfe von Aldehyden und Osmiumtetroxid durchgeführt. Im Hinblick auf die oben erwähnten Ziele ergeben sich daraus einige limitierende Probleme: Die Fixation verläuft relativ langsam und nicht überall in der Zelle gleichzeitig. Durch Veränderungen der Permeabilität der Membranen entstehen neue osmotische Verhältnisse, welche die Strukturen beeinflussen. Zudem können die Membranen diffusible Ionen und Makromoleküle nicht mehr in ihren ursprünglichen Zellkompartimenten zurückhalten. Zellorganelle, wie Mikrotobuli und andere Makromoleküle, werden unter dem Einfluss der Fixationsmittel depolymerisiert.

Im Laufe der Zeit haben die Wissenschaftler gelernt, die chemischen Fixationsbedingungen einigen Fragestellungen optimal anzupassen.

Gefrierfixation

Als Alternative zur chemischen Fixation bietet die Gefrierfixation einige Vorteile, da sie die ursprüngliche Organisation der Zellkomponenten beibehält und da sie sehr schnell erfolgt, also keine strukturellen und funktionellen Änderungen während der Fixation stattfinden. Die strukturelle Integrität wird jedoch nur dann aufrechterhalten, wenn es gelingt, das biologische Material so schnell einzufrieren, dass dabei nur Mikroeiskristalle (vitrifiziertes Eis) in der Grösse von 10–15 nm gebildet werden. Langsameres Einfrieren führt zu grösseren Eiskristallen, während deren Bildung sich die wässrige Phase von den darin gelösten Stoffen abtrennt: Kleinere Zellorganelle, Makromoleküle, Salze u. ä. werden an die Peripherie der Eiskristalle gedrängt und dort konzentriert, kleinere Zellorganelle werden unkenntlich gemacht, grössere deformiert.

Die notwendigen hohen Einfriergeschwindigkeiten (5000 bis 10000 °C/sec.) können nur unter bestimmten Bedingungen erreicht werden. Die Wärme kann der Probe nur durch die Oberfläche entzogen werden. An der Oberfläche ist die Gefriergeschwindigkeit zwar sehr hoch, die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Wassers reduziert jedoch die Zone, in der die zur Erstarrung im mikrokristallinen Zustand notwendige Gefriergeschwindigkeit erreicht werden kann, auf 3–5 µm. Unter optimalen Bedingungen (Präparatform, verwendetes Kühlmittel, Masse der Objektträger, Instrumentation) kann diese Schicht auf etwa das Fünf- bis Zehnfache erweitert werden. Grössere Proben (z. B. Gewebe) können nur gefrierfixiert werden, wenn die physikalischen Eigenschaften des Wassers verändert werden. Dies kann man durch Zugabe von Gefrierschutzmitteln (Glycerin, Ethylenglycol, Dimethylsulfoxid, Methanol u. ä.) erreichen (Moor und Müh-

lethaler 1963). Es kann jedoch gezeigt werden, dass die Zugabe von Gefrierschutzmitteln z. B. zur Umorganisation von Intramembranpartikeln führen kann (Niedermeier und Moor 1976). Bei Mitochondrien kann schon bei geringen (7%) Zugaben von Glycerin ein Absinken der Atmungsrate festgestellt werden, und das elektronenmikroskopische Bild zeigt, dass sich die innere und die äussere Mitochondrienmembran vollständig voneinander getrennt haben (Marti 1977). Derartige Einflüsse der Gefrierschutzmittel lassen sich teilweise durch chemische Vorfixierung (mit Glutaraldehyd) verhindern (Edelmann und Morgenstern 1979). Dabei führt man jedoch wieder die eingangs erwähnten, unerwünschten Strukturveränderungen ein.

Eine andere, rein physikalische Methode zur Veränderung der Eigenschaften des Wassers besteht im Einfrieren der Proben unter hohem Druck (2000 bar) (Moor 1971). Dadurch wird der gleiche Effekt erzielt wie durch die Zugabe von etwa 20% Glycerin. Bis zu 300 µm dicke Proben können so vitrifiziert werden.

Zur Herstellung optimal gefrorener Präparate von biologischem Material, das als dünne Schicht (10–40 µm) präpariert werden kann (Einzelzellen, Mikroorganismen, Zellorganelle, Membranvesikel etc.), haben wir die Propan-jet-Gefrierapparatur entwickelt (Müller et al. 1980). Dabei wird eine Suspension als dünne Schicht zwischen zwei sehr leichte Kupferobjektträger gebracht. Dieses Sandwich (Fig. 1) wird sodann zwischen die Düsen des Propan-jet-Gefrierers gebracht und gleichzeitig von beiden Seiten mit flüssigem Propan (−185 °C) beschossen. Dadurch werden Abkühlgeschwindigkeiten von ~10000 °C/sec. erreicht, was mit hoher Reproduzierbarkeit zu vitrifizierten Präparaten führt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Biologisches Material kann durch einfaches Eintauchen in ein flüssiges Kältemittel maximal 5 µm von der Oberfläche objekteinwärts mikrokristallin eingefroren werden. Durch optimierte Instrumentation (Propan-jet-Gefrierer) kann diese dünne Schicht auf ca. 50 µm ausgedehnt werden. Für grössere Objekte müssen durch hohen Druck während des Gefriervorganges die physikalischen Eigenschaften des Wassers verändert werden.

Solcherart gefrorene Proben können mit Hilfe der Gefrierätzung, sowie der Gefriersubstitution für die Analyse im Elektronenmikroskop vorbereitet werden.

Gefrierätzung

Bricht man die gefrorenen Sandwiches (Fig. 2) bei tiefen Temperaturen im Hochvakuum auf, so verläuft der Bruch durch die spröde, wässrige Schicht auf eine energetisch möglichst günstige Weise, am häufigsten durch den hydrophoben Teil der Membranen. Durch Beschattung und Replikation kann wichtige Information über den Bau der Membranen erhalten werden. Die Gefrierätztechnik kann als rein physikalische Technik angesehen werden. Sie spielt deshalb

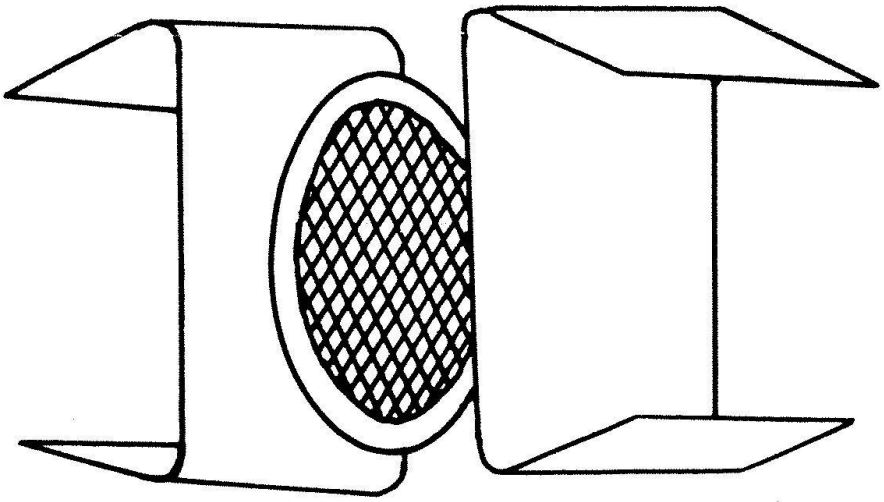


Fig. 1 zeigt, wie die Präparate zum Einfrieren im Propan-jet-Gefrierer vorbereitet werden. Ein normales Objektträgernetzchen (Ø 2,3 mm) wird in die zu untersuchende Suspension eingetaucht und zwischen zwei Kupferplättchen (0,08 mm dick) gebracht. Es werden ca. 1–2 µl Suspension benötigt. Das Objektträgernetzchen dient als Abstandhalter zwischen den Kupferplättchen, so dass immer eine wässrige Schicht konstanter Dicke eingefroren werden kann (Fig. 2).

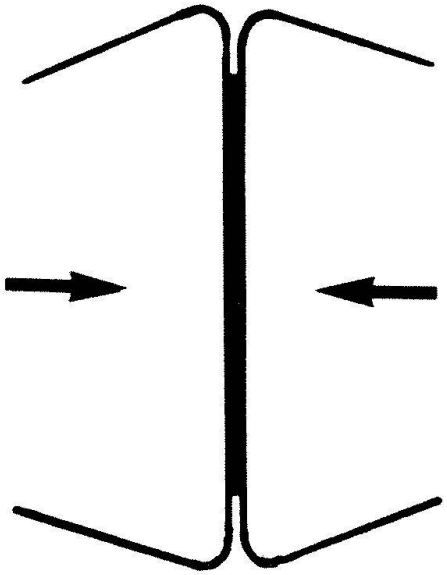


Fig. 2 zeigt das Präparatsandwich, das, zwischen die Düsen des Propan-jet-Gefrierers gebracht, beidseitig mit flüssigem Propan (−185°C) beschossen wird (Pfeil). Werden die beiden Sandwichhälften im Hochvakuum aufgebrochen, können die Objekte mit Hilfe der Gefrierätztechnik analysiert werden. Im Substitutionsmedium aufgebrochen, können die Proben mit Hilfe der Gefriersubstitution für die Dünnschnittechnik vorbereitet werden.

eine besonders wichtige Rolle als Kontrolltechnik bei der Ausarbeitung neuer Untersuchungsmethoden. Die Durchführung einer Gefrierätzung sowie der aktuelle Stand der Technik wurden anschaulich beschrieben von W. Niedermeier (1977).

Gefriersubstitution

Auf rein physikalische Art gefrierfixierte Proben können mit Hilfe der Gefriersubstitution zur Einbettung in Epoxidharze und damit zur Verarbeitung mit der Dünnschnitttechnik vorbereitet werden. Bei tiefen Temperaturen wird dabei das Eis unter gleichzeitiger chemischer Fixierung der unterkühlten Strukturen durch ein organisches Lösungsmittel aufgelöst, also entwässert und zur Einbettung in die hydrophoben Epoxidharze vorbereitet. Die Gefriersubstitution, eine alte, aus der Lichtmikroskopie stammende Technik, gewinnt seit dem Zurverfügungstehen verbesserter Gefrierfixationstechniken zunehmend an Bedeutung. Die erfolgreiche Durchführung einer Gefriersubstitution hängt vom Erfüllen folgender Bedingungen ab:

Die Substitutionstemperatur muss so tief sein, dass keine Rekristallisation, kein Eiskristallwachstum in der ursprünglich mikrokristallin gefrorenen Probe stattfindet. Diese kritische Temperatur (Rekristallisationstemperatur) liegt bei biologischen Objekten im allgemeinen bei −80°C bis −95°C (Moor et al. 1973).

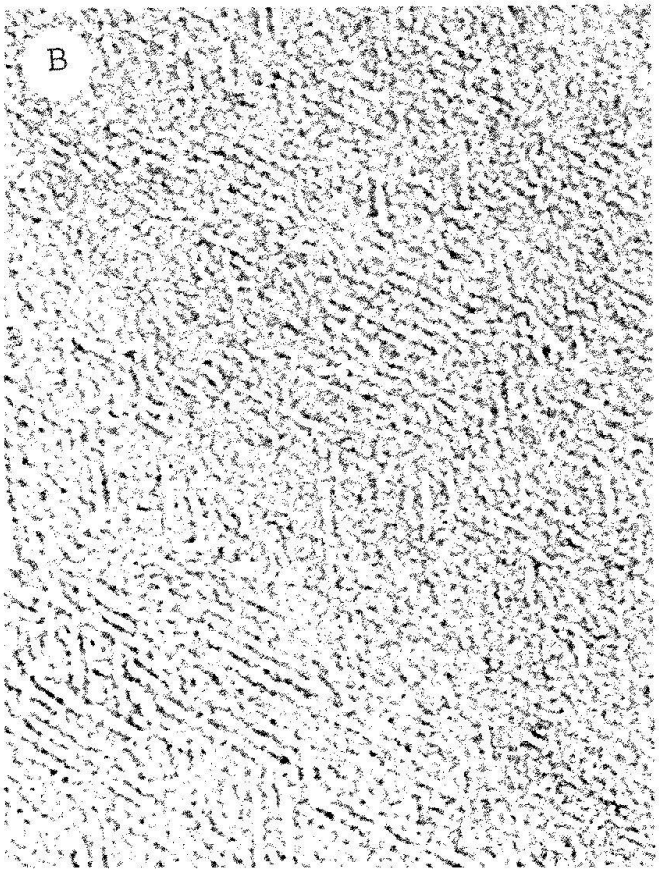
Das Substitutionsmedium muss als Basis ein organisches Lösungsmittel haben, das bei diesen tiefen Temperaturen Eis auflösen kann. Aceton, das meistens verwendet wird, kann bei −80°C innerhalb zwei Tagen etwa 2% Wasser aufnehmen (Van Harreveld et al. 1965). Die Substitution eines normalen Präparates kann 1–2 Wochen dauern, was bei der Verwendung von Methanol bei derselben Temperatur nur einige Stunden dauert. Die Substitution in Aceton kann praktisch nicht vollständig bei tiefen Temperaturen durchgeführt werden. Sie wird meistens vollendet durch Erwärmen der Proben auf Raumtemperatur. Bei dieser Temperatur löst Aceton etliche Membranlipide heraus. Im Gegensatz dazu kann die Substitution mit Methanol bei tiefsten Temperaturen vollständig durchgeführt werden, so dass die Proben mit Ausnahme des Einbettungsvorganges immer unter ca. −20°C bleiben.

Durch Zusätze von Aldehyden, Osmiumtetroxid und Uranylionen können die Strukturen weiter stabilisiert werden. Während die Uranylionen vermutlich schon bei tiefen Temperaturen wirksam sind, reagiert Osmiumtetroxid mit ungesättigten Lipiden bei −30°C erst langsam. Die Einbettung ist das momentan noch grösste Problem, da während der Infiltration des Plastiks und der Polymerisation Temperaturen über 0°C angewendet werden müssen. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch Möglichkeiten der Polymerisation bei −30°C (Carlemalm et al. 1980).

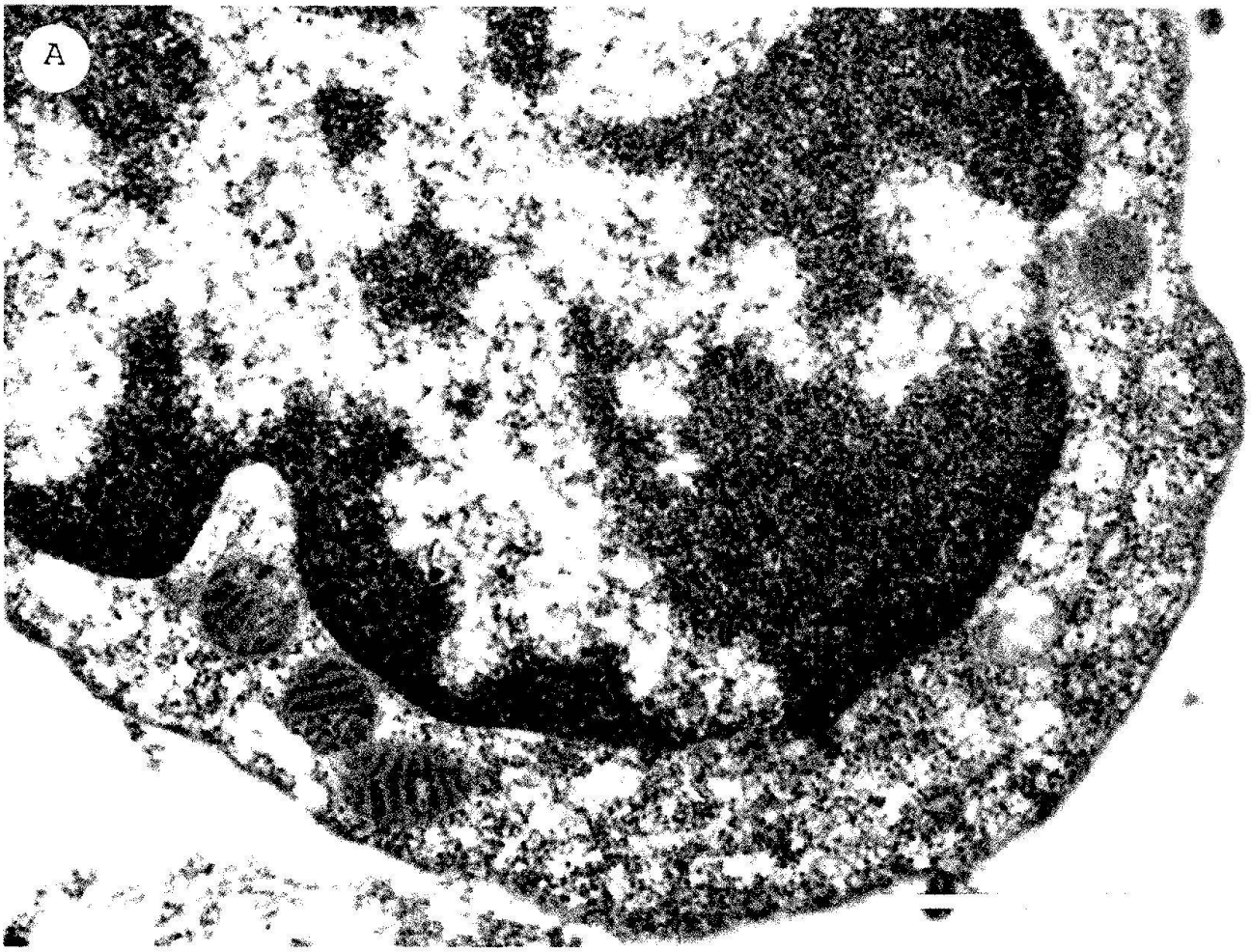
Seit zwei Jahren haben wir mit dem nachfolgenden Rezept gute Ergebnisse mit Geweben, Mikroorganismen, Liposomen und Zellorganellen erzielt. Das Substitutionsmedium

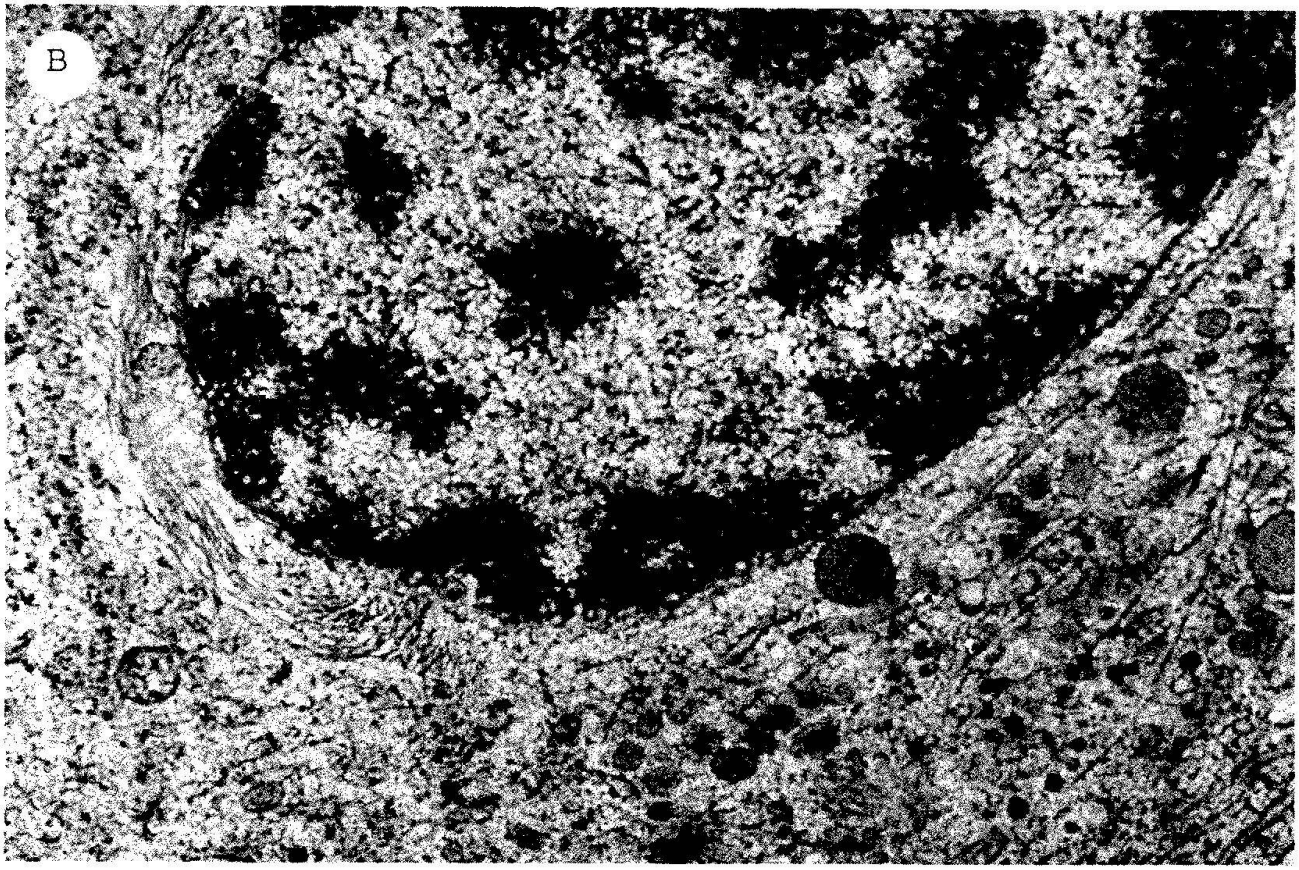
Fig. 3. A zeigt die Gefrierätzung einer Bacillusspore. Die Gefrierbruchaufnahme (1B) zeigt, dass die den Sporenkern umgebenden Membranen eine periodische Struktur aufweisen. Dank der Gefriersubstitution kann diese Periodizität auch im Querschnitt (1C) analysiert werden. Die Balken entsprechen 200 nm.

A


B

C


A


B

besteht aus Methanol (Merck, p.a.) enthaltend 0,5% Uranylacetat, 3% Glutaraldehyd und 1% Osmiumtetroxid. Die schnellgefrorenen Proben (~ 2 µl) wurden in 1 ml Substitutionsmedium bei −85°C bis −95°C gebracht und da 6 bis 8 Stunden inkubiert. Sodann wurde die Temperatur für 6 bis 8 Stunden auf −60°C erhöht. Nach weiteren 6 bis 8 Stunden bei −30°C wurde das Substitutionsmedium durch kaltes (−30°C) wasserfreies Aceton ersetzt. Das Aceton wurde bei −30°C durch 30% Araldit/Epon in Aceton ersetzt und zur Impregnation in den Kühlschrank (−4°C) gebracht. Die Polymerisation erfolgte bei 60°C. Um die Gefriersubstitution als Routinemethode einzusetzen, haben wir einen Substitutionsautomaten gebaut, der für drei frei wählbare Temperaturen während frei wählbaren Zeiten von 1–10000 Minuten vorprogrammiert werden kann.

Fig. 3 und 4 zeigen einige Ergebnisse auf der Basis der Gefrierfixation.

Der Vorteil der Gefriersubstitution liegt darin, dass jede Probe identisch verarbeitet werden kann. Auf der Basis der Gefrierfixation entfällt die Notwendigkeit, die Osmolarität des verwendeten Fixationsgemisches den individuellen Objekten anzupassen. Zudem können identisch fixierte Proben mit Gefrierätzung und Gefriersubstitution vergleichend analysiert werden.

Fig. 4 vergleicht konventionell chemisch fixierte Lymphocyten (A) mit Lymphocyten, die im Propanstrahl gefroren und anschliessend gefriersubstituiert (B) wurden. Auffallend ist die stark verbesserte Strukturerhaltung der Cytoplasmakomponenten im Falle der gefriersubstituierten Lymphocyten. Die Balken entsprechen 1 µm.

Literatur

Moor H. und Mühlethaler K. 1963: J. Cell. Biol. 17, 609–628.

Niedermeier W. und Moor H. 1976: 6th Europ. Congr. E.M., Jerusalem, P. 108.

Marti Th. 1977: Diplomarbeit ETH-Zürich, Inst. f. Zellbiologie.

Edelmann L. und Morgenstern E. 1979: Mikroskopie (Wien) 35.

Moor H. 1971: Phil. Trans. Roy. Soc. London 261. 121.

Müller M., Meister N. und Moor H. 1980: Balzers Report BB 800 011 DE.

Niedermeier W. 1977: Biologie in unserer Zeit 6. 178.

Moor H. 1973: In E.L. Benedetti und P. Favard Ed., Paris, 11.

Van Harreveld A., Crowell J. und Malhotra S.K. 1965: J. Cell. Biol. 25, 117.

Carlemalm E., Villiger W. und Acetarin J.D. 1980: USGEB-Tagung.

Anschrift des Verfassers:

Dr. M. Müller
Labor für Elektronenmikroskopie I ETH Zürich
Universitätsstrasse 2
CH-8092 Zürich

EMBLEM ou la microscopie électronique au Laboratoire européen de biologie moléculaire

Jacques Dubochet

Le laboratoire européen de Biologie Moléculaire (LEBM) a été inauguré à Heidelberg (RF) au printemps 1978. Conçu sur une base comparable à celle du CERN, il est financé par 10 pays européens; parmi eux, la Suisse, dont la participation au budget est d'un peu plus de 3%. Grâce au fait que, déjà pendant la construction du nouveau bâtiment plusieurs groupes ont commencé à travailler dans différents instituts de Heidelberg, la mise en service du nouveau laboratoire a été rapide. Aujourd'hui l'effectif total qui est prévu de 250 personnes, est environ atteint et la plupart des groupes de recherche ont dépassé le stade de l'installation.

Le but principal du laboratoire est double. Il s'agit d'une part d'être un centre stimulant la recherche en biologie moléculaire et, d'autre part, de développer et de mettre à la disposition des biologistes européens, les méthodes ou instruments impliquant des moyens qui dépassent les possibilités de la plupart des laboratoires nationaux.

Pour réaliser ces objectifs le laboratoire comprend deux divisions de recherche biologique: structure et biologie cellulaire. La troisième division, numériquement la plus importante, est l'instrumentation. Elle dispose de grands ateliers, d'un bureau d'ingénieurs, de physiciens de mathématiciens et bien sûr d'un centre de calcul. Le LEBM met aussi à la disposition des biologistes européens un laboratoire de sécurité pour les recombinaisons d'ADN. L'antenne de Grenoble donne accès aux méthodes de diffraction des structures et celle de Hambourg permet d'utiliser pour la diffraction des rayons X, l'intense faisceau que peut produire le synchrocyclotron DESY.

La microscopie électronique joue un rôle important au LEBM. Comme pour l'ensemble du laboratoire, son but est double: il s'agit d'une part de rendre accessible aux chercheurs (ceux de LEBM et les visiteurs) quelques instruments sophistiqués, et d'autre part, de développer de nouveaux instruments et de nouvelles méthodes. C'est en direction de la cryo-microscopie que nous dirigeons l'effort principal de notre recherche.

Depuis longtemps, les méthodes faisant appel à des spécimen congelés sont largement employées en microscopie électronique. Cryo-fracture, cryo-décapage, lyophilisation, cryomicrotomie – ces méthodes ont avec les méthodes classiques un point en commun: d'une manière ou d'une autre le specimen est déshydraté avant d'être introduit dans le microscope. On perd ainsi l'avantage qu'offre la conservation du milieu aqueux mais on surmonte la difficulté du transfert et de l'observation du specimen congelé. En particulier on limite les dégats que le faisceau d'électrons produit sur les spécimens hydratés et qui sont la cause de la disparition des structures dès que la dose dépasse quelques électrons par Å2.

Une découverte récente laisse prévoir que ces limitations pourront être bientôt surmontées. En effet, un groupe de Siemens A.G. à Munich a développé un cryomicroscope dans lequel les specimens sont effectivement refroidis à la température de l'hélium liquide. Contrairement à ce que suggéraient des résultats précédents, les dégats que le faisceau d'électrons fait subir aux spécimens organiques à très basse température, sont en général 2 – et peuvent être quelquefois 4 – ordres de grandeur plus petits que l'effet produit à temperature de chambre.

Grâce au support de la division d'instrumentation, l'EMBLEM est dans une bonne position pour mettre au point des cryomicroscopes utilisables efficacement pour le recherche en biologie et pour développer les méthodes de préparation qu'exigent l'observation du spécimen congelé. Nous prévoyons que l'EMBLEM pourra mettre un tel service

de cryomicroscopie à la disposition des biologistes européens dans un délai de deux ans. L'EMBLEM offre dès maintenant la possibilité de travailler sur le STEM ainsi que des moyens pour préparer et observer des spécimens congelés. Un comité international sélectionnera les projets des biologistes européens désireux d'utiliser les possibilités de l'EMBLEM. Les instruments seront mis gratuitement à leur disposition, étant entendu que, une fois familiarisés avec les appareils et méthodes, les visiteurs feront eux-mêmes le travail de leur recherche. Pour plus ample information, on s'adressera à l'auteur.

Adresse de l'auteur:

Jacques Dubochet
EMBL
Postfach 10.2209
D-6900 Heidelberg

Energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX) in der Zytologie

Max Albert Spycher

Die Mehrzahl der heute in der biologischen Routine und Forschung betriebenen Rasterelektronenmikroskope (REM) und Transmissionselektronenmikroskope (TEM) dienen dem Zweck, ein Objekt bezüglich seiner submikroskopischen Struktur und deren Veränderungen unter natürlichen oder experimentellen Bedingungen zu studieren.
Unabhängig von der Wahl des Mikroskoptyps (TEM oder REM) und der Präparationstechnik (Dünnschnitt, Sprühpräparat, Negativkontrast, Gefriertrockung, Gefrierätzung etc.) wird dabei die ultrastrukturelle Information von Elektronen geliefert, welche entweder vom Kathodenstrahl selbst stammen (TEM) oder aber sekundär aus der Probenoberfläche herausgelöst wurden (REM).
Voraussetzung für die Bildentstehung ist in jedem Fall das Vorhandensein von strukturgebundenen Atomen hoher Ordnungszahl (Schwermetallatome), welche, im Transmissionsbetrieb, die einfallenden Strahlelektronen genügend zu streuen vermögen oder welche – im Rasterbetrieb – die Grundlage für einen ausreichenden Sekundärelektronenertrag bilden.
Da native organische Strukturen nur sehr selten schwere Atome in der erforderlichen hohen Konzentration enthalten, müssen künstlich solche ‹Markeratome› in die Probe eingebracht werden, wo sie sich in charakteristischer Weise mit bestimmten Stoffgruppen (Lipide, Kohlenhydrate etc.) verbinden.
Das Prinzip der obligaten Markierung (= Kontrastierung) hat auch dann Gültigkeit, wenn nicht in erster Linie die Struktur des Objektes interessiert, sondern wenn deren chemische Eigenschaften aufgeklärt werden sollen.
Auch zytochemische oder immunologische Reaktionen können nämlich im TEM nur dann sichtbar gemacht werden, wenn es gelingt, irgendwo im Reaktionsprodukt ein Schwermetallatom als kontrastgebenden Marker zu verankern und zwar so, dass er das gesamte Objektpräparationsverfahren unbeschadet, d.h. ohne Verlust und ohne Lageveränderung übersteht.
In Anbetracht dieser Tatsache kann es nicht verwundern, dass aus Kreisen der Ultrastrukturforscher seit langem der Wunsch nach einer Möglichkeit laut wurde, den Chemismus der Strukturbausteine direkt erfassen zu können, ohne den Umweg über die wenig spezifische Markierung einschlagen zu müssen.
In den vergangenen Jahren hat die Weiterentwicklung von Mikroanalysentechniken die Wissenschaft diesem Ziel schon ein erhebliches Stück näher gebracht. Eine dieser Methoden, die energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX) (Castaing und Guinier 1949), soll im folgenden in ihren Grundzügen erläutert, ihre praktische Anwendung an einigen Beispielen aus dem Gebiet der Humanmedizin dargestellt und die sich daraus ergebenden Probleme kurz diskutiert werden.
Die EDX-Analyse ist eine spektroskopische Methode, welche es gestattet, im TEM oder REM (bzw. im Rastertransmissions-Elektronenmikroskop = STEM) eine qualitative und quantitative Analyse der in submikroskopisch kleinen Objektstrukturen enthaltenen chemischen Elemente vorzunehmen. Grundsätzlich können zur Zeit alle Elemente, deren Ordnungszahl grösser ist als 10, erfasst werden. Die Nachweisempfindlichkeit der Methode ist ausserordentlich hoch, sie liegt theoretisch bei 10^{-19} gr.

Das Prinzip der EDX-Analyse

Im Elektronenmikroskop interagieren die auf ein Präparat auftreffenden, hochbeschleunigten Strahlelektronen in verschiede-

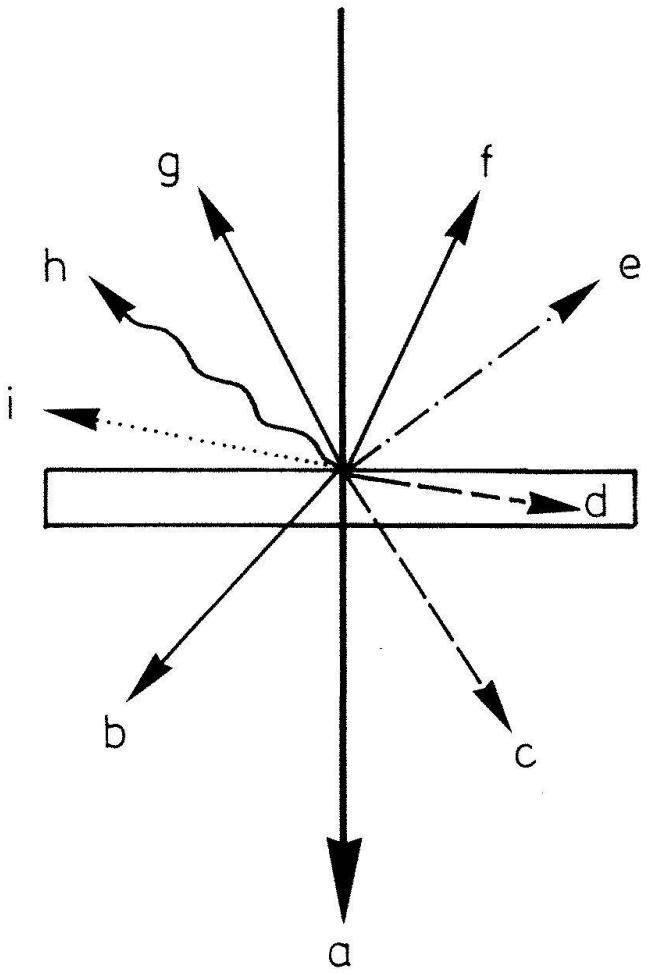


Fig. 1. Bei der Interaktion zwischen Strahlelektronen und Objekt können folgende Effekte auftreten:
Die Elektronen durchdringen das Objekt (a) geradlinig, ungestreut; (b) elastisch gestreut, ohne Energieverlust; (c) unelastisch gestreut, unter Energieverlust. Sie können (d) in der Probe absorbiert werden; (e) energieärmere Sekundärelektronen freisetzen; (f) selbst zurückgestreut werden oder (g) sichtbares Licht erzeugen. Schliesslich können sie (h) Röntgenstrahlung anregen oder (i) energiearme Auger-Elektronen erzeugen.

ner Weise mit der Objektmaterie (Fig. 1). Einmal können sie das Präparat geradlinig, d.h. ungestreut durchdringen. Werden sie hingegen gestreut, so kann dies elastisch, ohne Energieverlust oder unelastisch, d.h. unter Abgabe von Energie in Form von Licht, Wärme oder Röntgenstrahlen erfolgen. Ausserdem können die Strahlelektronen auch energieärmere Sekundärelektronen aus der Probenoberfläche freisetzen oder die Bildung von Auger-Elektronen anregen. In jedem Fall führt aber der Elektronenbeschuss zur Emission von Röntgenstrahlen.
Wird beim Zusammenstoss eines Strahlelektrons mit einem Objektatom ein Orbitalelektron aus seiner Bahn geworfen, so wird die entstehende Lücke sogleich von einem Elektron einer äusseren, energiereicheren Kreisbahn wieder ausgefüllt. Die hierbei freiwerdende Energiedifferenz verlässt das Atom in Form eines Röntgenphotons (Fig. 2). Der Energieinhalt eines Röntgenphotons ist für jedes chemische Element – und innerhalb eines Elementes für jeden möglichen Niveausprung – exakt definiert (in der Masseinheit Elektronenvolt, eV). Entsprechend des auslösenden Niveausprungs werden die Röntgenquanten mit einem Index (K_α, K_β, $L_{\alpha,\beta}$, M_α etc.) versehen.
Gelingt es nun, die Röntgenphotonen einzufangen und gemäss ihrem Energieinhalt zu sortieren, so muss es – nach geeigneter Verarbeitung der Signale – möglich sein, Rückschlüsse auf die elementare Zusammensetzung der vom Kathodenstrahl getroffenen Objektstelle zu ziehen.
Zur Bewältigung dieser Aufgabe wurden in den vergangenen Jahren Geräte entwickelt, welche Röntgenquanten-Energieanalysen in ausserordentlich kurzer Zeit ausführen und die, als Zusatzgeräte, an die meisten TEM,

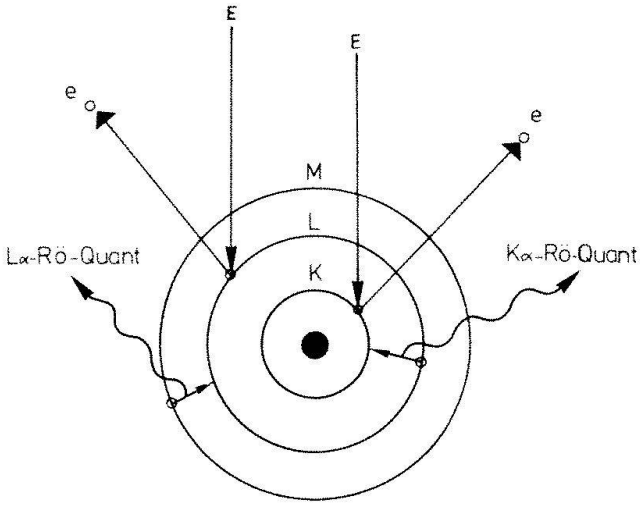


Fig. 2. Schematische Darstellung der Entstehung charakteristischer Röntgenstrahlen beim Beschuss eines Objektatoms mit Strahlelektronen.
Wird beim Zusammenstoss eines Strahlelektrons mit einem Objektatom ein Orbitalelektron aus seiner Bahn geworfen, so wird die entstehende Lücke sogleich von einem Elektron einer äusseren, energiereicheren Kreisbahn wieder ausgefüllt. Die hierbei freiwerdende Energiedifferenz verlässt das Atom in Form eines Röntgenphotons. Beim Fall eines Elektrons auf die K-Schale entsteht ein K-Photon, bei einem Niveausprung auf die L-Schale ein L-Photon usf.

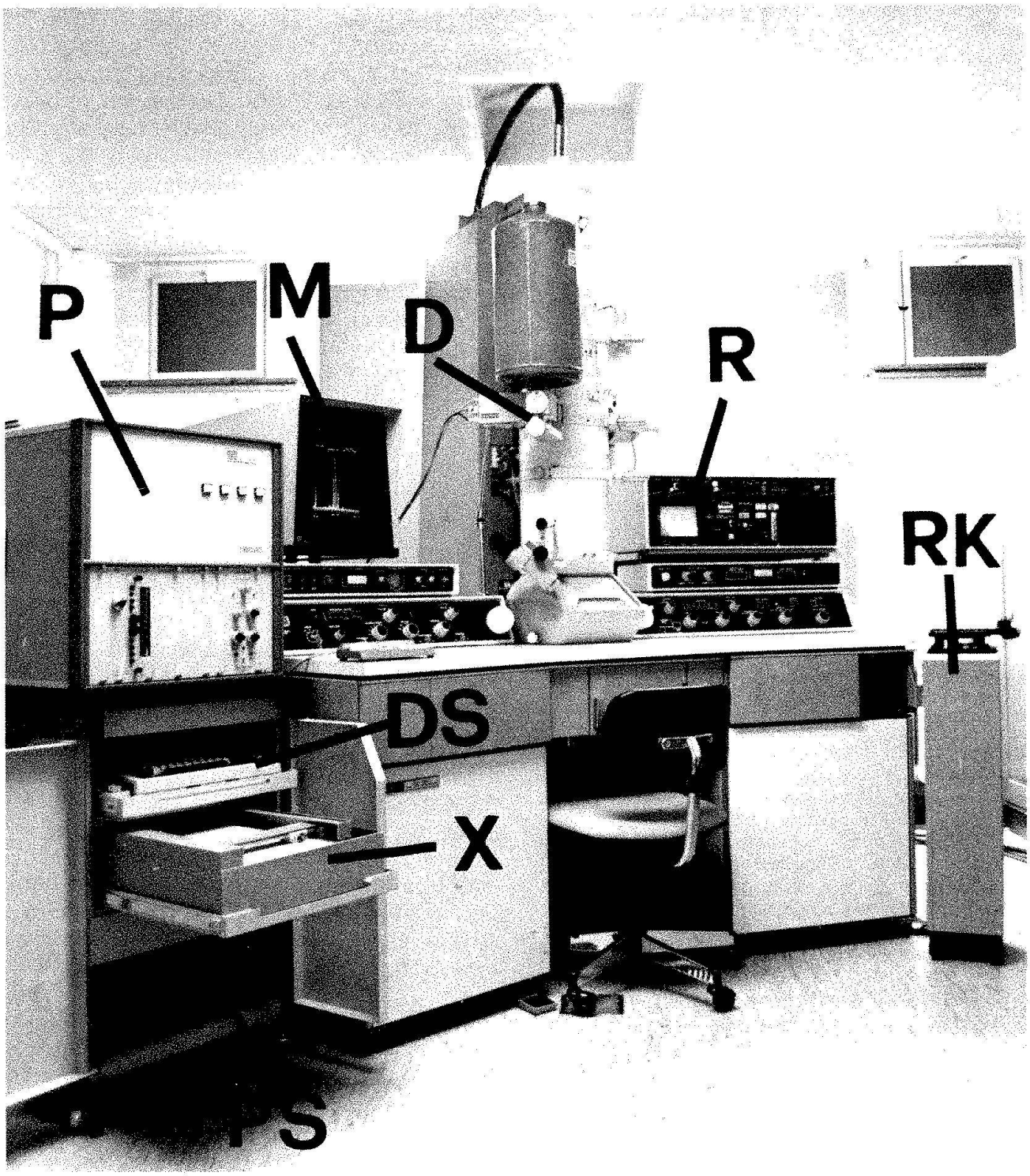


Fig. 3. JEOL 100-CX STEM – Mikroskop mit integrierter EDX-Analyseeinheit. D = Detektor mit Stickstoffspeichergefäss; P = Pulsprocessor; X = X-Y-Schreiber; DS = Digitalschreiber; M = Monitor; PS = Plattenspeicher; R = Rastereinheit; RK = Rasterkamera.

REM und STEM adaptiert werden können (Fig. 3).

Der funktionelle Aufbau einer solchen Analyseeinheit ist in Fig. 4 am Beispiel eines energiedispersiven Analysators mit sog. ‹solid state›-Detektor schematisiert dargestellt:

Die aus dem Objekt austretenden Röntgenquanten treffen im Hochvacuum auf einen mit flüssigem Stickstoff gekühlten lithiumdotierten Siliziumkristall. Durch Ionisation werden im Kristall Ladungsimpulse freigesetzt, deren Zahl proportional zur Energie

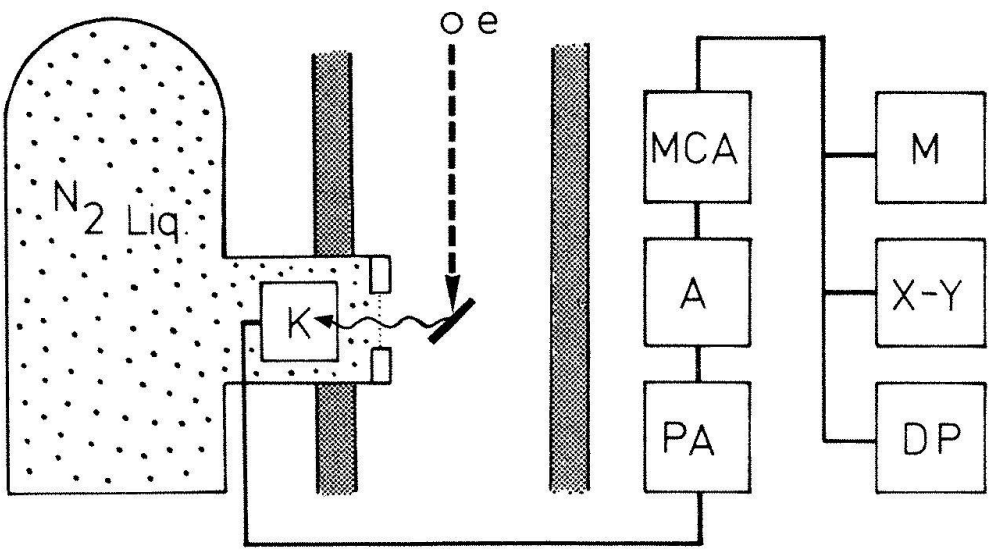


Fig. 4. Schematischer Aufbau einer EDX-Analyseeinheit. Der mit flüssigem Stickstoff gekühlte Detektor (K) empfängt die durch das Berylliumfenster (punktierte Linie) einfallende Röntgenstrahlung. Die freigesetzten Ladungsimpulse werden über einen Vorverstärker (PA) einem Verstärker (A) zugeführt. Im Vielkanalanalysator (MCA) werden die Impulse sortiert und aufaddiert. Das resultierende Spektrum kann auf dem Monitor (M) betrachtet oder über einen X-Y-Schreiber (X-Y) bzw. einen Digitalschreiber (DP) ausgedruckt werden.

der ionisierenden Röntgenquanten ist. Nach mehrfacher Verstärkung werden die abgeleiteten Ladungsimpulse einem Vielkanalanalysator, dem Pulsprozessor zugeführt, welcher sie entsprechend ihrer Amplitude in einen mehr als 2000 Kanäle umfassenden Speicher einordnet. Der Füllungsstand der einzelnen Kanäle kann nach Ablauf einer vorbestimmbaren Analysedauer über einen X-Y-Schreiber, einen Digitalschreiber oder einen Fernsehmonitor als Spektrum zur Darstellung gebracht werden. Eine Magnetplatteneinheit gestattet es zudem, sämtliche Analysedaten für spätere Verwendungszwecke zu speichern.

Anwendungsbeispiele

Anhand von drei Beispielen aus dem Gebiet der Humanmedizin soll, stellvertretend für viele weitere Anwendungsmöglichkeiten, der unmittelbar praktische Nutzen dargelegt werden, welcher die EDX-Mikroanalyse im Routinebetrieb erbringen kann. Die Beispiele gestatten es ausserdem, auf einige Hauptprobleme der speziellen Objektpräparation und der Spektrenauswertung hinzuweisen.

1. Beispiel
Ein älterer Mann stirbt, nachdem er während Jahren an zunehmenden Atembeschwerden gelitten hat. Die Hinterbliebenen erheben bei der zuständigen Versicherung des verstorbenen Fabrikarbeiters Anspruch auf eine Rente, sind sie doch überzeugt davon, dass der Tod ihres Familienangehörigen direkte Folge einer Berufskrankheit ist. Obwohl der Mann während zweier, längst zurückliegender Jahre in einer Asbest verarbeitenden Fabrik tätig gewesen war, und obwohl der Hausarzt den Patienten bis zum Tode wegen einer diagnostizierten Staublunge behandelt hatte, macht die Versicherungsgesellschaft die Ausbezahlung der geforderten Rente vom Nachweis abhängig, dass es sich in diesem Falle tatsächlich um ein beruflich erworbenes Leiden handelte. Zur Klärung dieser Frage wird daher ein kleines Stück Lungengewebe des Verstorbenen histologisch und elektronenmikroskopisch untersucht. Bereits im Lichtmikroskop fallen in den Alveolarsepten zahlreiche Makrophagen auf, deren offensichtlich mineralische, doppelbrechende Einschlüsse zum Teil eine faserförmige Gestalt aufweisen. Das Elektronenmikroskop bestätigt den lichtoptischen Befund: Im Gewebe lassen sich nadelförmige, meist ganz oder teilweise von einer kontrastreichen granulären Hülle umschlossene Strukturen beobachten (Fig. 5). Die Vermutung, dass es sich bei den Kristallen um die erwarteten Asbestnadeln handelt, liegt zwar auf der Hand, lässt sich aber nur morphologisch nicht beweisen. Hier drängt sich eine EDX-Analyse als Methode der Wahl auf. Um die Röntgenmikroanalyse der in Frage

Fig. 5. Elektronenmikroskopische Aufnahme einer grossen Asbestnadel in menschlichem Lungengewebe. Die Kristallnadel (Pfeil) ist von einer elektronendichten, eisenhaltigen, granulären Hülle umgeben (sog. Asbestosekörperchen).

stehenden Fasern vorzunehmen, wird das Elektronenmikroskop durch Knopfdruck auf Raster-Transmissionsbetrieb umgeschaltet. Der feinfokussierte Elektronenstrahl rastert nun das Objekt – hier ein Gewebedünnschnitt – Zeile um Zeile ab und erzeugt auf dem Monitor der Rastereinheit ein Fernsehbild, welches mit dem zuvor erhaltenen Transmissionsbild auf dem Mikroskopleuchtschirm identisch ist. Allein im Rasterbetrieb kann der feine Kathodenstrahl an jeder beliebigen Objektstelle angehalten und somit die Vorbedingung für eine Röntgenmikroanalyse geschaffen werden.

Auf einen nadelförmigen Kristall fokussiert, setzen die hochbeschleunigten Strahlelektronen aus diesem die Röntgenstrahlung frei, welche, in der beschriebenen Art ausgewertet, vom X-Y-Schreiber als Spektrum auf vorgedrucktes Papier übertragen wird. Die Figur 6 zeigt das repräsentative Spektrum einer Kristallanalyse unseres Beispiels. Auffällige Peaks erscheinen für die Elemente Magnesium (K_α-Strahlung), Silizium (K_α), Kupfer (K_α, K_β) sowie für Gold (L_α, M_α).

Es ist nun Aufgabe des Untersuchers, die Peaks richtig zu interpretieren. Allfällige Artefakte, ‹Störpeaks›, muss er erkennen und von dem charakteristischen Teil des Spektrums subtrahieren können.

Im vorgegebenen Beispiel wird Asbest vermutet. Asbeste sind Magnesium- und/oder Eisensilikate. Gold und Kupfer dagegen enthalten sie nicht. Dies lässt den Schluss zu, dass der analysierte Kristall entweder Magnesium, Silizium, Gold und Kupfer enthält und somit kein Asbest ist, oder aber, dass es sich wirklich um Asbest handelt, dann aber das Kupfer und das Gold als Artefakte von anderswoher stammen müssen. Tatsächlich entspringen die Kupfer- und die Goldstrahlung nicht dem Kristall selbst, sondern stellen Artefakte dar, Streustrahlung, welche durch den Objekthalterstab aus Kupfer und das Objektträgernetz aus reinem Gold hervorgerufen wurde.

Als charakteristisch können also lediglich der Magnesium- und der Silizium-Peak gelten. Beim analysierten Kristall handelt es sich demnach um ein Magnesiumsilikat. Chrysotilasbest ist ein Magnesiumsilikat. Er ist der einzige, weltweit industriell verwendete Asbest, welcher Magnesium in beträchtlicher Menge, jedoch kein Eisen enthält.

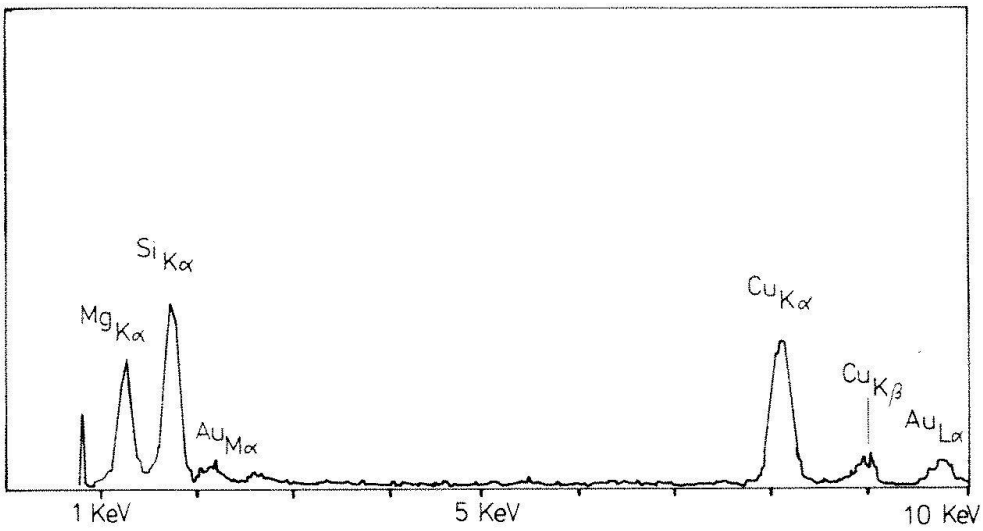


Fig. 6. Röntgenspektrogramm einer Chrysotilasbestnadel.
Die Peaks für Silizium und Magnesium sind objektspezifsich. Kupfer und Gold stellen Streustrahlung dar, hervorgerufen durch Mikroskopteile einerseits und das Objektträgernetz andererseits.

Im untersuchten Lungengewebe erwiesen sich sämtliche analysierten Fasern als Magnesiumsilikat, als Chrysotilasbest und tatsächlich wird in der Firma, bei welcher der Patient vor Jahren beschäftigt war, ausschliesslich Chrysotilasbest verarbeitet.
Gestützt auf diesen Analysenbefund konnte die Diagnose einer Asbestose bestätigt werden. Da die Asbestose zudem als beruflich erworben anerkannt wurde, stand der Ausbezahlung einer Rente nichts mehr im Wege.

2. Beispiel
Ein Photoreprograph im mittleren Lebensalter sucht den Arzt wegen sich verschlimmernden Atembeschwerden auf. Die klinische Untersuchung und die Röntgenbefunde führen zur Diagnose einer diffusen Lungenfibrose unbekannter Ursache. Zur weiteren Abklärung entschliesst man sich, eine Lungenbiopsie durchzuführen. Vom excidierten Gewebe wird ein kleines Stückchen auch für die elektronenmikroskopische Untersuchung sowie die EDX-Analyse aufbereitet.
Im transmissionselektronenoptischen Bild sind in den Alveolarsepten zahlreiche Makrophagen zu erkennen, welche mit grossen, elektronendichten Einschlüssen beladen sind. Bei starker Vergrösserung erweisen sich die Einschlüsse als Anhäufungen kleinster, nur 8–10 nm breiter Kriställchen, die sich morphologisch nicht identifizieren lassen (Fig. 7). Das Analysespektrum eines solchen Einschlusses deckt hingegen eine erstaunliche elementare Zusammensetzung der Kristalle auf (Fig. 8).
Neben den beiden höchsten Peaks für Cu

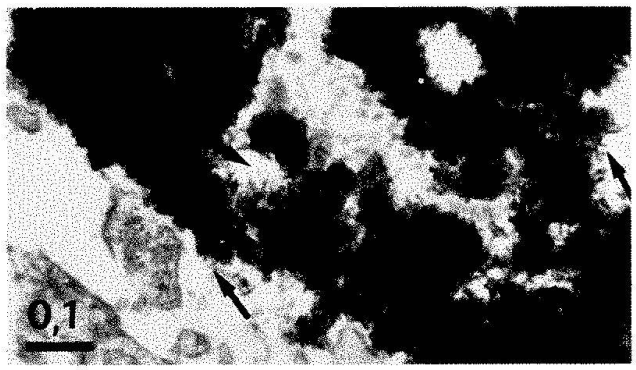


Fig. 7. Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Teils eines Rhabdophaneinschlusses aus der menschlichen Lunge.
Am Rande des Einschlusses sind die äusserst feinen Einzelkristalle deutlich zu erkennen (Pfeile).

(K_α und K_β) – hier Störstrahlung, hervorgerufen durch das Kupfer-Objektträgernetz – finden sich charakteristische Peaks für Thorium, Cerium, Lanthan, Neodym und Phosphor. Das Ergebnis der Elementaranalyse lautet demzufolge: Bei den vorliegenden Kristalleinschlüssen handelt es sich mit grösster Wahrscheinlichkeit um Seltene-Erden-Phosphate. Seltene-Erden-Phosphate in menschlichen Lungen sind jedoch unseres Wissens noch nie zuvor beschrieben und also noch kaum je beobachtet worden. Anamnestische Nachforschungen haben aber ergeben, dass der Patient während einiger Jahre mit den damals noch gebräuchlichen Lichtbogen-Projektoren gearbeitet hatte. Diese Lampen verbrannten sogenannte Docht-Kohlestäbe. Um den Lichtbogen aufzuhellen, wurden die Kohlestäbe mit einem zentralen ‹Docht› aus Cerium- und Thorium-

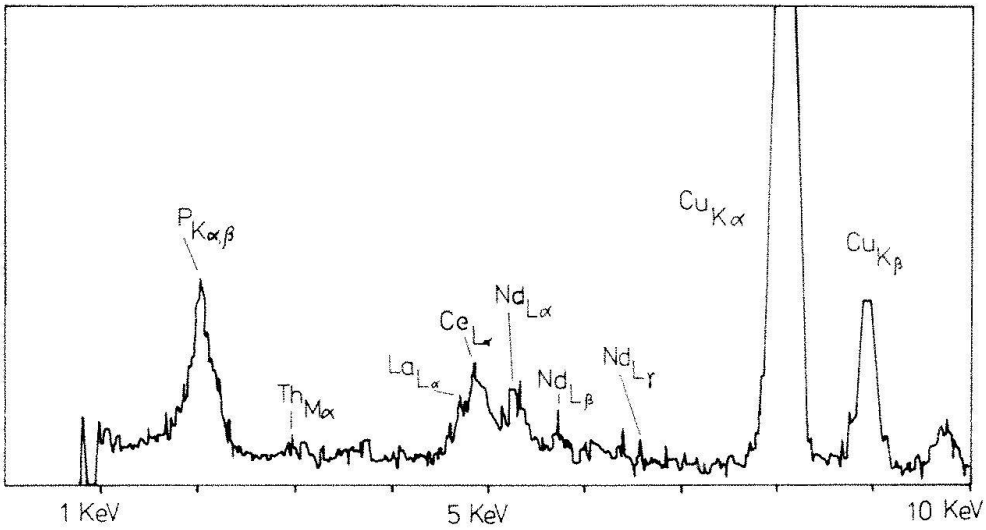


Fig. 8. Röntgenspektrogramm von Rhabdophan. Die charakteristischen Peaks für die Seltenen Erden Cerium, Thorium, Lanthan und Neodym sind ebenso wie der Phosphorpeak deutlich zu erkennen.

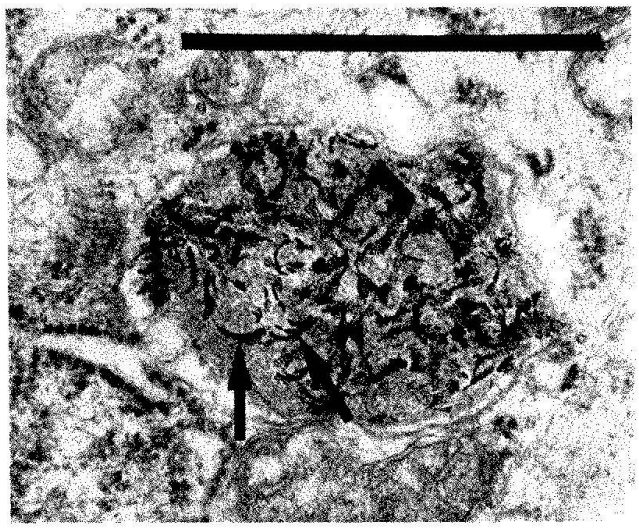


Fig. 9. Elektronenmikroskopische Aufnahme eines goldhaltigen Einschlusses (Aurosoms) aus der menschlichen Niere. In einer granulären Matrix liegen federförmige, elektronendichte, kristallähnliche Strukturen, in welchen das Gold nachgewiesen werden kann.

oxid versehen. Bei der sehr hohen Lichtbogentemperatur verdampften diese Beimengungen, um anschliessend in der Raumluft wieder zu feinsten Kriställchen zu kondensieren. Mit der Atemluft gelangte das Kondensat in die Lungen des Reprophotographen, wo die Mineralien im Verlaufe der Jahre zu Phosphaten und zu Carbonaten umgewandelt wurden (Sticher et al. 1973).
Auch in diesem Fall ist es also gelungen, dank der EDX-Analyse den Zusammenhang zwischen beruflicher Tätigkeit und organischem Leiden zweifelsfrei nachzuweisen.

3. Beispiel
Eine 65jährige, an chronischer Polyarthritis leidende Frau wird während mehrerer Wochen mit Antirheumatica und einem Goldpräparat behandelt. Komplikationen in Form eines plötzlich auftretenden Nierenversagens zwingen zum Unterbruch der Therapie und machen eine Nierenbiopsie erforderlich. Eine routinemässig für die Elektronenmikroskopie aufgearbeitete Gewebeprobe wird auch der EDX-Analyse zugeführt. Aufgrund der klinischen und der histopathologischen Befunde ist der Defekt im primären Ausscheidungsapparat, den Glomerula zu suchen. Die transmissionselektronenoptische Untersuchung der Gefässkapillaren zeigt, dass die Epithelzellen bisweilen kleine, meist unscheinbare, elektronendichte Einschlüsse enthalten, welche sich bei stärkerer Vergrösserung als federförmige Strukturen, eingebettet in einer granulären Matrix, erweisen (Fig. 9).
Das EDX-Analysespektrum solcher Einschlusskörper lässt eine Vielzahl von Elementpeaks erkennen (Fig. 10).
Mehrheitlich stellen die zur Darstellung gebrachten Peaks Artefakte dar, stammen sie doch nicht aus der Probe selbst, sondern sind das Resultat der Fixation mit Osmiumtetroxid, der Schnittkontrastierung mit Bleihydroxid und Uranylacetat oder des nun schon bekannten Trägernetzes. Von ausschlaggebender Bedeutung sind hingegen die Peaks für Gold L_α und M_α. Sie erbringen den Beweis dafür, dass es sich bei den untersuchten federförmigen Strukturen um goldhaltige Einschlüsse handelt. Gold enthaltende Inclusionen in Epithelien der Glomerula werden als ‹Aurosomen› bezeichnet. Sie stellen zwei-

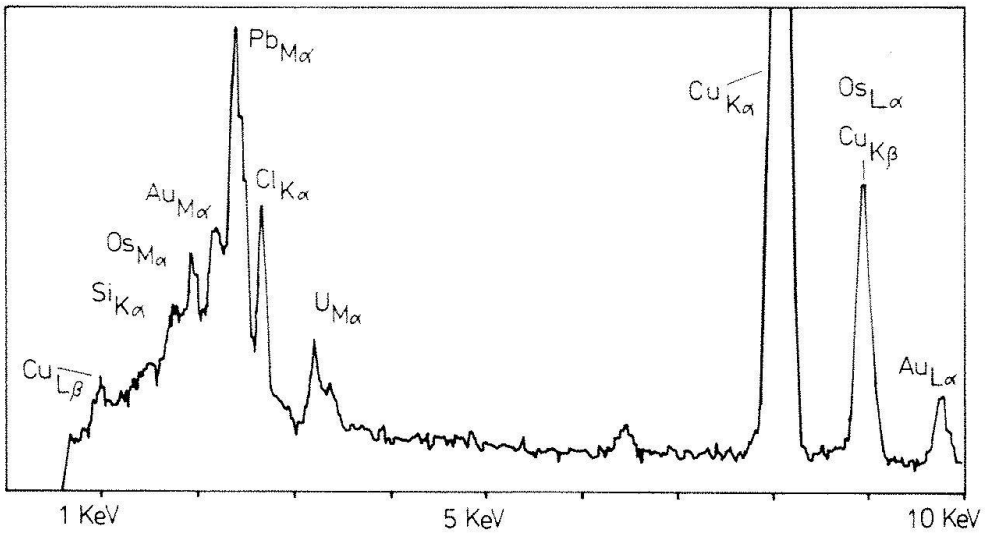


Fig. 10. Röntgenspektrogramm eines Aurosoms. Neben den charakteristischen Peaks für Gold (L_α und M_α) treten noch die präparationsbedingten Peaks für Osmium, Blei und Uran auf. Der Silizium- und der Chlorpeak werden durch das Einbettungsmittel hervorgerufen.

fellos Ausscheidungsprodukte des in der Therapie verwendeten Goldpräparates dar, und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie als Ausdruck einer durch Gold verursachten Nierenerkrankung zu gelten haben.

Probleme der Objektpräparation

Das Spektrum des letzten Beispiels, mit seiner Vielzahl von unspezifischen Peaks macht deutlich, wie stark offensichtlich objektfremde Faktoren das Resultat einer Analyse beeinträchtigen können. Im Vordergrund stehen dabei die durch Fixation und Schnittkontrastierung eingeführten Artefakte. Die in der Routinepräparation verbreitete Glutaraldehyd-Osmiumtetroxyd-Doppelfixation eignet sich nur bedingt für die EDX-Analyse, weil die im Spektrum auftretenden unvermeidbaren Os-Peaks mit benachbarten Peaks anderer Elemente interferieren. So überlappen sich z. B. der Osmium-M-Peak mit dem K_β-Peak von Silizium und dem K_α-Peak von Phosphor, da sie sich in ihren Energiebeträgen nur wenig unterscheiden. Als reine Kohlewasserstoffe, die keinerlei Peaks ergeben, können Glutaraldehyd und Formaldehyd dagegen bedenkenlos zur Fixation verwendet werden. Eine dem Detektorkristall vorgesetzte Folie aus Beryllium (s. Fig. 4), deren Aufgabe darin besteht, das Detektorsystem vom Hochvacuumsystem des Mikroskopes abzuschliessen, hat zur Folge, dass die energiearme charakteristische Röntgenstrahlung (weniger als 1 keV) der Elemente mit Ordnungszahlen von 1–10, also der biologisch bedeutungsvollen Atome wie Wasserstoff, Kohlestoff, Stickstoff und Sauerstoff, schon vor dem Erreichen des Detektorkristalls absorbiert wird.
Auch die für eine einwandfreie Strukturerhaltung unerlässlichen Einbettungsmittel, die Epoxyde (Araldit, Epon, Spurr etc.) erzeugen bei der EDX-Analyse Störpeaks. So treten z. B. bei der Analyse von Epon-Dünnschnitten regelmässig kleine Peaks für Silizium und Chlor auf (vgl. Fig. 10). Seit kurzem sind aber Epoxyde im Handel, welche diesen Nachteil nicht mehr aufweisen sollen.
Die Kenntnis des räumlichen Auflösungsvermögens der energiedispersiven Röntgenspektralanalyse ist für jeden EDX-Untersucher von grundlegender Bedeutung. Das räumliche Auflösungsvermögen besagt, wie nahe zwei benachbarte Objektstellen beieinander liegen dürfen, um noch getrennt, ohne störende gegenseitige Beeinflussung, analysiert werden zu können.
Der erste, das Auflösungsvermögen begrenzende Faktor ist der Kathodenstrahl selbst. Je feiner der Strahl, desto höher grundsätzlich die Auflösung. Es wäre indessen falsch zu glauben, der heute erreichbare Strahldurchmesser von 2 nm erlaube eine Auflösung in derselben Grössenordnung. Durch die Streuung der Elektronen im Objekt, welche von der Beschleunigungsspannung einerseits (= Energie der Strahlelektronen) und von der Objektdicke andererseits abhängig ist, wird die praktisch erreichbare Auflösung zusätzlich beeinträchtigt. Ideal für die Analyse wären ultradünne Schnitte (dünner als 100 nm). Zumal aber in tierischen und pflanzlichen Geweben die Dichte analysierbarer Elemente erheblich geringer ist als beispielsweise in mineralogischen Proben, muss man, um trotzdem genügend Atome anzuregen, dem Elektronenstrahl mehr Masse exponieren. Mehr Masse ist aber gleichbedeutend mit einem dickeren Schnitt, und da werden wiederum Phänomene wirksam, welche die Messresultate verschlechtern anstatt sie zu verbessern:
Mit zunehmender Eindringtiefe werden die Strahlelektronen im Objekt zunehmend gestreut. Der Interaktionsraum weicht von der Zylinderform ab und erhält Tropfenform. Dadurch geraten jetzt auch Strukturen in den Einflussbereich der Elektronen, die vom Untersucher gar nicht anvisiert wurden. Das Resultat ist die erwähnte Verschlechterung der räumlichen Auflösung. Grundsätzlich böte sich die Möglichkeit, durch Anheben der Beschleunigungsspannung den Interaktionsraum – die ‹Birne› – bei gleichbleibender Schnittdicke zu verschmälern. Der Nachteil eines zusätzlich verminderten Bildkontrastes (unkontrastierte, oft auch unosmifizierte Schnitte!) muss aber in Kauf genommen werden.
Für die Schnittkontrastierung biologischer Dünnschnitte gelten dieselben Regeln wie für die Fixation und die Einbettung: Die starke charakteristische Strahlung der Elemente mit hoher Ordnungszahl führt zu Peaks, welche andere, objektspezifische

Peaks leicht überdecken können. Es empfiehlt sich in jedem Falle, vorgängig der Analyse zu prüfen, ob ein kontrastgebendes Element – gewöhnlich Uran, Blei, Wolfram oder Mangan – nicht mit dem Peak eines gesuchten Elementes interferieren könnte.
Schliesslich darf auch die Wahl des Objektträgernetzes nicht dem Zufall überlassen werden. Reinmetallnetze geben selbst dann starke Röntgensignale, wenn der Primärstrahl in einiger Entfernung an den Metallstegen vorbeiführt. Die durch gestreute Elektronen hervorgerufenen Röntgenstrahlen genügen immer noch zur Erzeugung hoher Peaks. Objektträger aus Nylongewebe haben sich als sehr nützlich erwiesen, da sie praktisch keine charakteristischen Röntgenstrahlung emittieren. Gewisse minimale Verunreinigungen von Titan im Kunststoff können sich aber gelegentlich auch hier noch störend auswirken. Vom spektroskopischen Standpunkt aus gesehen ‹rein› und unbedenklich sind die Objektträgernetze aus Beryllium oder die reinen Kohlefolien. Wegen des hohen Preises und der Toxizität im einen und der extremen mechanischen Fragilität im anderen Fall eignen sich beide Objektträger nur beschränkt für Routinearbeiten.
Alle bisher erwähnten Parameter sind durch den Präparator beeinflussbar. Ein erheblicher Teil der in Spektren auftretenden Störstrahlung kann aber vom Mikroskop selbst beigesteuert sein und ist dann vom Untersucher nur mit grösserem Aufwand zu mindern. Sämtliche, dem Strahlengang exponierte Mikroskopoberflächen werden in unterschiedlichem Masse zur Emission von Röntgenstrahlung angeregt. Störend für die Analyse wirken sich indessen nur die strahlnächsten Metallteile wie Polschuhe (Eisen), Blenden (Platin, Gold etc.) und Objekthalter (z. B. Kupfer) aus. Durch Einsetzen geeigneter Blenden kann die harte Röntgenstrahlung aus dem oberen Säulenbereich weitestgehend eliminiert werden, und durch Ausstreichen der objektnahen Mikroskopteile mit Graphit gelingt es, deren störenden Einfluss auf ein Minimum zu reduzieren.
Bei der noch verbleibenden mikroskopbedingten Störstrahlung handelt es sich um eine relativ konstante Strahlung mit sehr geringer Intensität. Sie wird an jeder Objektstelle in ähnlichen Verhältniswerten wirksam und es besteht die Möglichkeit, diese im Bedarfsfalle elektronisch von den objektspezifischen Peaks zu subtrahieren.
Die EDX-Analyse ist aber nicht – wie das bisher dargestellt wurde – nur eine Methode zum qualitativen Nachweis von chemischen Elementen. Wie eingangs erwähnt, lassen sich mit ihrer Hilfe auch Angaben über die relative Konzentration und die absolute Menge der einzelnen Elemente in der gewählten Probenstelle gewinnen. Dies erfordert allerdings einen erheblich höheren zeitlichen und materiellen Aufwand. So müssen unter anderem zur Ermittlung der absoluten Werte Standarde verwendet werden, d. h. Vergleichspräparate mit genau bekannter Konzentration des zu messenden Elementes. Darüber hinaus ist die Beachtung einer Reihe von zusätzlichen präparatorischen und instrumentellen Faktoren erforderlich, auf deren Darlegung hier nicht näher eingegangen werden kann. Der interessierte Leser sei an dieser Stelle auf die ausgezeichnete einführende Fachliteratur von Hren et al. (1979) oder von Chandler (1977) verwiesen.
Wenn auch die Präsentation der Methode auf so eng bemessenem Raum der äusserst komplexen EDX-Analysentechnik in keiner Weise gerecht werden konnte, so haben die vorgestellten Beispiele doch gezeigt, dass in der biologischen Diagnostik und Forschung die energiedispersive Röntgenmikroanalyse überall dort routinemässig und mit Erfolg eingesetzt werden kann, wo es gilt, kleinste Elementspuren in kleinsten Proben in situ nachzuweisen.

Literatur

Castaing R. und Guinier A. 1949: Sur l'exploration et l'analyse élémentaire d'un échantillon par une sonde électronique. Proc. 1st Int. Congr. Electron Microscopy. Delft. 60.

Sticher H., Spacher M.A. und Rüttner J.R. 1973: Crystallization in vivo of Rhabdophane in Human Lungs. Nature 241, No. 5384. 49.

Hren J.J., Goldstein J.I. und Joy D.C. 1979: Introduction to Analytical Electron Microscopy; Press, New York and London.

Chandler J.A. 1977: X-ray Microanalysis in the Electron Microscope. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Max Albert Spycher
Institut für Pathologie der Universität Zürich
Schmelzbergstrasse 12
CH-8091 Zürich

Méthodologie et politique des sciences

Comment peut-on définir la qualité de la recherche fondamentale?
Symposium organisé par la Société suisse de Logique et de Philosophie des sciences du 5 et 6 octobre 1979

G. Huber (Zürich)
Forschung: Qualität und institutionelle Förderung 52

P. Döme (Bienne)
La notion de qualité appliquée à la recherche industrielle 60

A. Müller-Marzohl (Luzern)
Die Schweizerische Wissenschaftspolitik 59

Forschung: Qualität und institutionelle Förderung

Gerhard Huber

Die Frage: Wie bestimmt sich jene Qualität, welche die wissenschaftliche Forschung einer Förderung mit öffentlichen Mitteln würdig macht? stellt vor eine Fülle von Problemen, die im folgenden nicht angemessen diskutiert werden können. Einige davon sollen in einer Perspektive der Philosophie, welcher die Forschungspolitik nicht fremd ist, kurz erörtert werden. Dabei ist zunächst etwas zum Wesen der wissenschaftlichen Forschung zu sagen. Auf dieser Grundlage soll dann das Problem der Qualität im Zusammenhang der institutionalisierten Förderung der Forschung näher beleuchtet werden.

Zum Wesen der Wissenschaft

Wertfreiheit?

Seit *Max Weber* und im Gefolge seiner neukantisch-positivistischen Wissenschaftslehre gibt es das Gerücht von der Wertfreiheit der wissenschaftlichen Forschung. Danach ist die Wertproblematik etwas, was ausserhalb eigentlicher Wissenschaft steht. Wissenschaft ist objektive Erkenntnis, die durch Anwendung bestimmter Methoden zustande kommt. Objektivität meint: Wissenschaft hat es mit Gegenständen zu tun, über die sich allgemeingültige Erkenntnisse, d.h. solche, die für alle verbindlich sind, gewinnen lassen. Demgegenüber sind Werte und Werturteile etwas Subjektives, was ausserhalb des Erkenntnisbereiches der Wissenschaften liegt. Obwohl aber Werte nicht wissenschaftlich objektiv erkannt werden können, sind sie doch für die Wissenschaften selbst von Bedeutung. Werturteile liegen der Auswahl der wissenschaftlich interessierenden Objekte zugrunde, die durch den Entscheid für bestimmte Methoden zustande kommt. Werturteile bestimmen aber auch die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnis in der Praxis durch Technik und Politik. Davon abgesehen aber – d.h. nachdem sie als Disziplin konstituiert ist und in der Weise der Forschung und der Wissensmitteilung funktioniert und bevor sie zur Anwendung in der technischen und politischen Praxis kommt – ist Wissenschaft wertfrei.

Angenommen diese Theorie sei richtig, so würde daraus folgen, dass die *Beurteilung der Qualität* wissenschaftlicher Forschung selbst kein wissenschaftlicher, nämlich wertfreier Vorgang sein kann. Vielmehr handelt es sich dabei um ein Werturteil im eminenten Sinn, das zwar vielleicht wegen der erforderlichen Sachkenntnis nur von Wissenschaftern gefällt werden kann, aber nicht in der Anwendung ihrer wertfreien wissenschaftlichen Methoden gefällt wird, sondern in Handlungen und Erkenntnisakten, die über das wissenschaftliche Erkennen im strengen Sinne weit hinausgreifen. Wir müssen also sagen: wenn wissenschaftliches Erkennen einen Akt wertfreier, objektiver Erkenntnis darstellt, dann ist die Beurteilung wissenschaftlicher Leistungen im Stadium des Projektes oder nach ihrer Durchführung kein Akt wissenschaftlicher Erkenntnis, sondern ein darauf bezogenes Werturteil.

Diese Überlegung hat *hypothetischen* Charakter. Ich möchte ihre Voraussetzung nicht bejahen. Zwar besitzt die These von der Wertfreiheit der Wissenschaft einen Wahrheitskern, aber sie scheint mir als solche nicht akzeptierbar, schon weil ihre philosophische Basis, die Werttheorie, von Grund aus problematisch ist. Vielmehr möchte ich meinen Ansatz für die weitern Überlegungen anders wählen.

‹Objektivität› des wissenschaftlichen Erkennens

Wir wollen uns kurz davon Rechenschaft geben, was mit der Objektivität des wissen-

schaftlichen Erkennens gemeint sein kann. Sagen wir zunächst, was sie *nicht* ist. Die Objektivität der Wissenschaft bedeutet nicht Wertfreiheit oder Wertneutralität. Sie kann auch nicht, wie eine naiv-unkritische Auffassung meint, besagen, dieses Erkennen sei in der Weise objektiv, dass es seine Gegenstände so erfasst, wie sie an sich sind, nämlich unabhängig vom Bezug zum erkennenden Subjekt. Ein wissenschaftliches Objekt ist das, was dem Menschen gegenübertritt, wenn er wissenschaftliche Erkenntnis vollzieht. Und als solches ist es offensichtlich bedingt durch die Methoden, die dabei zur Anwendung kommen.

Mindestens seit Heinrich Hertz (1894) spricht man vom Modellcharakter der wissenschaftlichen Erkenntnis. Nach der Theorie dieses bedeutenden Physikers zielt die Physik zwar auf die Wirklichkeit der Natur, aber was sie erkennt, ist nicht einfach diese Wirklichkeit selbst, sondern ein Modell, das gewissen Zügen der Naturwirklichkeit entspricht. Das *Modell* bringt aufgrund einer theoretischen Konstruktion gesetzmässige Zusammenhänge in den Naturerscheinungen zur Darstellung, der sich die Tatsachenfeststellungen (letztlich Messresultate) einfügen. Dies bedeutet nichts anderes, als dass ein in der Physik erkanntes Objekt erst durch das methodische Verfahren konstituiert wird. Das Modell bleibt grundsätzlich hypothetisch: es ist nur solange und insofern gültig, als in der Theorie keine Widersprüche und in der Erfahrung keine erheblichen Abweichungen von den aufgrund der Theorie zu erwartenden Messergebnissen eintreten. Objektivität bedeutet das Sein des im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess Erkannten: die durch das methodische Verfahren selbst konstituierte Gegenständlichkeit.

Was wir Objektivität nennen, beruht also auf einem Vorgang der Objektivierung, der *Vergegenständlichung* des Wirklichen zu modellhafter Realität im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess selber. Dabei ist wichtig, dass diese Vergegenständlichung nicht in allen Wissenschaften in gleicher Weise geschieht und im selben Grade möglich ist. Hier zeigen sich wesentliche Unterschiede zwischen den (exakten) Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften. Das neuzeitliche Wissenschaftsverständnis ist exemplarisch ausgebildet worden an der Physik in Gestalt der Galilei-Newtonschen Mechanik. Gegenläufig dazu haben sich seit dem 18. Jahrhundert die *historischen Wissenschaften* ausgebildet. Diese haben es nicht mit einer vom menschlichen Erleben möglichst distanzierten physikalischen Realität zu tun, sondern mit der Wirklichkeit des Menschen selbst und den Dingen, die von ihm im kulturellen Prozess hervorgebracht werden: Sprachen, handwerkliche und technische Gebilde, Kunstwerke, geschichtliche Handlungszusammenhänge, gesellschaftliche Institutionen usf. Diese gesellschaftlich-geschichtliche Wirklichkeit des Menschen ist Gegenstand der Geistes- und der Sozialwissenschaft. Auch in ihren Erkenntniszusammenhängen vollzieht sich ein Objektivierungsprozess. Da aber die menschliche Wirklichkeit selbst hier zum Gegenstand wird, ist gegenüber den Naturwissenschaften nur ein geringerer Grad an Vergegenständlichung und an Objektivität erreichbar. Der Mensch ist am Erkenntnisprozess als erkennendes Subjekt selbst unmittelbarer beteiligt und geht in gewisser Weise in das erkannte Objekt mit ein – je nach Beschaffenheit und Bedingtheit in einer anderen wissenschaftlichen Erkenntnisperspektive. Deshalb sind auch allgemeingültige Erkenntnisse weniger leicht zu erreichen als in den Naturwissenschaften. Denn der Konsens steht unter komplexeren Bedingungen als bei der menschenferneren Realität naturwissenschaftlicher Objekte und Modelle.

Blickt man von den Geisteswissenschaften auf die *Naturwissenschaften* zurück, so ist auch dort die Objektivität weniger eindeutig, als es zunächst scheinen möchte. In der Tat muss sie auch im naturwissenschaftlichen Erkenntniszusammenhang durchaus relativiert werden. Auch das naturwissenschaftliche Erkennen ist ein menschlicher Handlungsprozess und darum eine geschichtlich sich wandelnde Grösse. Zwar mag der Konsens unter den Beteiligten innerhalb einer Epoche und im Bereich dessen, was Thomas S. Kuhn ‹normale Wissenschaft› nennt, leicht erreichbar sein. Aber in den epochal wichtigen, umbruchartigen Entwicklungsphasen kommt es im Bereich des naturwissenschaftlichen Erkennens zu einer Sonderung von Revolutionären und Traditionalisten mit der Folge, dass der objektive Konsens erst durch das Aussterben der Anhänger

der alten, nun überholten Objektivität wieder herstellbar ist. Auch die Objektivität der naturwissenschaftlichen Erkenntnis unterliegt dem geschichtlichen Wandel, wenn auch die Allgemeingültigkeit, verstanden als Gültigkeit erkannter Gesetzmässigkeiten und als deren Verbindlichkeit für alle Erkennenden, nur in längeren Perioden sich verändert.

Institutionalisierung

Damit ist unsere Überlegung an den Punkt geführt, wo die Bedeutung der *gesellschaftlichen Verankerung* von Wissenschaft deutlich werden kann. Seit es sie gibt, war Wissenschaft stets gesellschaftlich in irgend einer Weise institutionalisiert. Man denke an die antiken Philosophenschulen, die Kultvereine mit Stiftungsvermögen waren, oder an die mittelalterlichen Klöster und Universitäten, die als geistliche und weltliche Stiftungen mit Beteiligung des Gemeinwesens bestanden. In der neueren Zeit ist die Wissenschaft in hohem Mass durch den Staat übernommen worden, und die Lehr- und Forschungseinrichtungen haben sich in Dimensionen und teilweise auch Formen der Grossindustrie entwickelt. Dazu kommt, dass für die staatliche und auch die private Forschungsförderung eigene Institutionen geschaffen worden sind, womit erst der volle Begriff der *institutionellen Förderung* erreicht ist. Bedeutsam an dieser Entwicklung insgesamt ist, dass der Prozess der wissenschaftlichen Forschung nicht einfach Sache der einzelnen Forscher geblieben ist, sondern sich im Rahmen von Kollektivinstanzen entwickelt, welche die Forscher heranbilden, promovieren, ihnen Aufgaben zuweisen, sie gruppenweise auf vorgängig gesetzte Ziele hin arbeiten lassen, kurz: die institutionelle Lenkung und Aufrechterhaltung des Forschungsprozesses insgesamt.

Diese Institutionalisierung hat sich freilich in den verschiedenen Bereichen in unterschiedlichem Grade durchgesetzt, mehr bei den techniknahen Naturwissenschaften und den gesellschaftsnahen Sozialwissenschaften, weniger bei den traditionellen Geisteswissenschaften, wiewohl auch hier eine gewisse Tendenz zu methodischer Angleichung an das Vorbild der empirischen Naturwissenschaft festzustellen ist. Dieser Institutionalisierung der Forschung wirkt vorläufig noch das Prinzip der *Forschungsfreiheit* entgegen. Seine Geltung ist freilich in der Realität der Dinge auf einen bestimmten Personenkreis beschränkt, insbesondere auf die Professoren in selbständiger Stellung, während es für die Wissenschafter in abhängiger Position, und d.h. für die Mehrzahl derer, die Forschungsarbeiten in den institutionalisierten Bereichen durchführen, kaum wirksam wird. Und auch für die selbständigen Forscher ist die Forschungsfreiheit durch die Funktionsweise der Institutionen beträchtlich eingeschränkt, denn schliesslich kann nur jene Forschung durchgeführt werden, für welche Geld verfügbar ist.

So zeigt sich nun auch die *politische Dimension* der Forschung und der Forschungsförderung. Die politischen Implikationen sind nicht eine sekundäre Folge der Institutionalisierung von Wissenschaft. Vielmehr gilt umgekehrt, dass die Wissenschaften einem fortschreitenden Institutionalisierungsprozess unterworfen werden, weil sie wesentlich im gesellschaftlichen Kontext, zumal im technisch-wirtschaftlichen, stehen. Diese Feststellung sollte nicht missverstanden werden. Ich möchte das theoretische Motiv des wissenschaftlichen Erkenntnisstrebens keineswegs herabmindern, sondern im Gegenteil es betonen. Erkennen zu wollen, was ist, und die Wahrheit um ihrer selbst willen suchen, gehört zum Wesen des Menschen. Aber nicht darum, sondern weil von der wissenschaftlichen Forschung ein Beitrag zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse, zur besseren Lebensgestaltung erwartet wird, deshalb ist die so weit gehende Institutionalisierung der Forschung und die institutionalisierte Forschungsförderung möglich geworden. Wenn man die bessere Lebensgestaltung vor allem von der technischen Entwicklung erwartet, wird man die entsprechenden Wissenschaften fördern, und zwar nicht nur die angewandte Forschung, sondern auch die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung, weil aus zweckfreiem Suchen oft Brauchbareres als aus der anwendungsorientierten Forschung resultiert hat. Wenn man die bessere Lebensgestaltung vor allem von wirtschaftlichen Fortschritten erwartet, werden insofern die Sozialwissenschaften vorrangig sein. Wenn man sie mit aussertechnischen und ausserwirtschaftlichen, ‹humanen› Faktoren

verknüpft sieht, werden allenfalls die Geisteswissenschaften bedeutsam. Auf alle Fälle ist der heutige Stand der Wissenschaft, die Verteilung der Mittel und die Intensität der Förderungsanstrengungen in den verschiedenen Bereichen nicht einfach das Resultat wissenschaftsimmanenter Vorgänge und, darüber hinaus, von Zufällen, sondern wesentlich durch politische Faktoren mitbestimmt: durch die Weise, wie von aussen an den Wissenschaften Interesse genommen wird, wie man aufgrund von gesellschaftlichen Bedürfnissen und wirtschaftlichen Interessen die Mittel zu verteilen gewillt ist und wie innerhalb bestehender Machtverhältnisse widerstreitende Bestrebungen durchgesetzt oder eben nicht durchgesetzt werden können. Diese Bestimmtheit der Wissenschaftsentwicklung durch politische Faktoren ist eine soziologische Tatsache. Ich möchte sie die ‹primäre Politisierung› (Politikbestimmtheit) der Wissenschaften nennen.

Davon ist zu unterscheiden, was man die ‹sekundäre Politisierung› der Wissenschaften nennen kann. Wissenschaft wird nicht nur durch gesellschaftliche und um politische Macht konkurrierende Kräfte mitbestimmt. Sie kann darüber hinaus direkt zum Instrument in der politischen Auseinandersetzung gemacht werden, etwa im Zusammenhang mit der Expertenfunktion des Wissenschafters. Von da aus besteht die Gefahr einer *sekundären Politisierung*. Sie realisiert sich dann, wenn politische Zielsetzungen der Forschung in gewissem Mass die ‹richtigen› Ergebnisse vorzeichnen wollen (etwa in der Frage nach dem Gewicht von Anlage und Umwelt für das Lebensschicksal und deren Rolle in der Erziehung) oder wenn mit dem wechselnden Einfluss politischer Zielsetzungen das Pendel des wissenschaftlich Richtigen nach der einen oder andern Richtung ausschlägt (im Extremfall die Korruption der Wissenschaft durch das politische Diktat: man denke an Lyssenko). Solche Phänomene sekundärer Politisierung zeigen sich besonders in den *Sozialwissenschaften*. Hier ist das Mass möglicher Objektivität nicht nur geringer als in den Naturwissenschaften, die es mit der aussermenschlichen Wirklichkeit zu tun haben, sondern darüber hinaus zusätzlich noch gefährdet durch das mehr oder weniger bewusste Einfliessen politischer Tendenzen, welche die erreichbare Objektivität verfälschen. Das kann in der Folge zur Diskreditierung des Ansehens ganzer Disziplinen führen (etwa der Soziologie oder der Psychologie) und nachteilige Auswirkungen auf die nötige Förderung dieser Disziplinen haben.

Qualität und Förderung

Damit ist der Grund gelegt, auf dem die Frage nach der Qualität von Forschungsunternehmungen diskutiert werden kann. Was macht Forschung zu guter Forschung? Wie kann man Qualität erkennen, um sie zu fördern? Nach dem Gesagten ist die Qualität von Forschung ein hochkomplexes Phänomen, das sich in unterschiedlicher Weise in den verschiedenen Wissenschaftsbereichen ausprägt. Gleichwohl sind gewisse allgemeine Charakteristiken gesucht, welche die forschungspolitischen und die konkreten Forschungsförderungsentscheide zu leiten vermögen.

Forschungsqualität: Kriterien

Forschung selbst ist der Prozess, worin Wissenschaft voranschreitet. Die entsprechende Bemühung zielt auf die Mehrung wissenschaftlicher Erkenntnis in einer Disziplin oder im Zusammenhang mehrerer: auf die Vertiefung solcher Erkenntnis und auf ihre Revision in der ständigen kritischen Überprüfung, die zur Erneuerung und vielleicht (seltenerweise) zu Umbrüchen führt, welche die wissenschaftliche Erkenntnis von Grund aus zu erneuern vermögen. Dieser ganze Forschungsprozess steht in den umfassenden Zusammenhängen, von denen die Rede war.

Wenn Forschung die Suche nach neuer wissenschaftlicher Erkenntnis ist, dann sind von da aus die Merkmale der Qualität, die Kriterien, im Hinblick auf die gute von weniger guter, hervorragende von gewöhnlicher Forschung unterschieden werden kann, zu gewinnen, so schwierig die Anwendung solcher Gesichtspunkte im Einzelfall jeweils sein mag. Ich möchte zunächst drei *interne Kriterien der Qualität* in den Vordergrund stellen.

Wenn es um die Suche nach neuer Erkenntnis geht, dann steht an erster Stelle die im Wortsinn verstandene *Originalität* eines solchen Unternehmens, seine Beziehung zu den

Ursprüngen, zum Grundsätzlichen, von dem her möglicherweise Neues entdeckt werden kann. Den Gegenbegriff zur Originalität stellt die Routine dar, das Konventionelle. Originell ist eine Forschung in dem Masse, als sie in fruchtbarer Weise das Übliche zu durchbrechen vermag – das, was man schon weiss, die blosse Applikation bekannter Prinzipien. Gewiss, auch die Forschung bedarf der Routine. Aber gute Forschung ist dort, wo darüber hinausgegangen wird, im Vollzug einer originalen Leistung, die Neues entdeckt.

Originalität bedeutet freilich nicht Ausgefallenheit. Daher bildet die *Methodik* das zweite wesentliche Qualitätskriterium. Die neuzeitliche Wissenschaft ist durch einen hohen Grad vom Methodenbewusstsein charakterisiert. Sie verdankt ihre Erfolge in einem beträchtlichen Mass der methodischen Verfahrensweise, welche die Erkenntnisgewinnung zu einem disziplinierten und systematischen Unternehmen werden lässt. Freilich ist die eigentliche Entdeckung nicht methodisch verfügbar zu machen; sie verdankt sich dem Einfall, der Phantasie, die nicht ungezügelt ausschweift, sondern durch wissenschaftliche Erfahrung diszipliniert und belehrt ist. Das methodische Vorgehen hat sein volles Gewicht in der Phase der Begründung und Sicherung neuer Erkenntnisse. Argumentation und Beweis bedürfen der Stringenz empirischer und logischer Verfahrensweisen, durch die die Gefahr des Irrtums verringert wird. Auch in Hinsicht auf die Methode hat die Originalität ihre Bedeutung. Es ist gerade die Kühnheit methodischer Neuerung im Hinausgehen über die blosse Anwendung vorgegebener Verfahrensweisen, die zu entscheidenden Durchbrüchen führen kann. Wenn es um die Beurteilung von Forschungsprojekten geht, dann gehört die Abschätzung der Erfolgschancen aufgrund einer Einschätzung des geplanten Verfahrens mit zu den methodisch wesentlichen Gesichtspunkten. Bei solcher Beurteilung ist die Irrtumsgefahr freilich beträchtlich, zumal wenn ein Neuerer auf einen konventionell orientierten Beurteiler stösst.

Das dritte die Forschungstätigkeit direkt betreffende Beurteilungskriterium ist die *Persönlichkeit* des Forschers. Wenn gute Forschung in einer möglichst originalen, zugleich methodisch gesicherten oder kühnen Leistung, durch die Neues entdeckt wird, besteht, dann ist eine solche Leistung nichts anderes als eine ausgezeichnete Aktualisierung des persönlichen Seins des Wissenschafters. Die Persönlichkeit entscheidet in hohem Mass über die Qualität der Forschung. Auch wenn hier die personale Wirklichkeit des Menschen nicht in das erkannte Objekt eingeht, so ist die Erkenntnisleistung doch ganz und gar getragen von der Person des Forschers und davon nicht ablösbar. Umso schwieriger ist es, die Persönlichkeit zu erkennen. Sie manifestiert sich allenfalls in früheren Leistungen, vielleicht auch in der Formulierung des Forschungsplanes. Am deutlichsten (und zugleich am meisten durch Irrtum gefährdet) zeigt sie sich wohl in der direkten geistigen Wahrnehmung des andern Menschen, wenn der Urteilende solche Wahrnehmungsfähigkeit besitzt. Doch muss der Umgang gerade mit dem Persönlichkeitskriterium von zurückhaltendem Respekt vor der stets auch verborgenen Wirklichkeit der anderen Person geprägt sein und darf nicht leichthin zu negativer Beurteilung führen.

Zumal wenn es sich um die Beurteilung von Forschungsprojekten handelt, kann das Qualitätsurteil sich nicht auf die genannten internen Kriterien beschränken. Da die Mittel stets knapp sind und die Forschung in weiten wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Zusammenhängen steht, sind noch weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen, die man als *externe* oder übergreifende *Kriterien* bezeichnen kann.

Noch nahe bei der internen Qualität steht die *Anwendungsrelevanz* der Forschung: die praktische Nutzbarkeit der von ihr erhofften Resultate. Die Frage, was denn ein Forschungsunternehmen im Falle des Erfolgs über die direkt gesuchte Erkenntnis hinaus an Anwendungsmöglichkeiten bringe, sollte nicht nur verschämt gestellt werden: sie zielt auf ein qualitätssteigerndes Moment. Wissenschaftliche Forschung ist als theoretische Wahrheitssuche zwar an sich sinnvoll, aber immer auch schon in die gesellschaftliche Wirklichkeit integriert. Daher stellt sich stets auch die Frage nach dem möglichen Nutzen. Nur muss diese Frage richtig gestellt werden: nicht im Horizont eines kurzfristigen Utilitarismus und Pragmatismus, sondern im Hinblick auf die langfristige Förderung des

menschlichen Lebens durch die Erkenntnis der Zusammenhänge, in denen es steht. Deshalb darf die Praxisrelevanz nicht zu einer einseitigen Begünstigung der angewandten Forschung zulasten der Grundlagenforschung führen (wie denn überhaupt diese Unterscheidung durchaus problematisch ist). Die ‹zweckfreie› Grundlagenforschung kann auch praktisch viel nützlicher sein als eine Anwendungsorientierung, die sich in einem engen methodischen Horizont hält. In diesem weiten Sinne verstanden, wo nicht nur die Technik, sondern vielleicht sogar die Philosophie lebensrelevant sein könnte, ist die Relevanz für die Praxis ein bedeutsames Kriterium bei der Qualitätsbeurteilung und als solches mitzuberücksichtigen.

Zu den externen Qualitätskriterien gehört auch die *ausserdisziplinäre Bedeutung* eines Forschungsprojektes, die, wenn ein Unternehmen für andere Disziplinen oder unter interdisziplinärem Gesichtspunkt allgemein wichtig ist, unter Umständen zu einer von der bloss internen Betrachtung abweichenden Beurteilung führen kann: Forschungsqualität hat auch einen disziplinübergreifenden Aspekt. Sodann können *Kostenüberlegungen*, insbesondere das Verhältnis von finanziellem Aufwand und Forschungsertrag, wichtig sein. Schliesslich kann sich die Frage nach absehbaren *externen Folgen* eines Forschungsunternehmens stellen, etwa seine Gefährlichkeit für Leben und Gesundheit Beteiligter oder Aussenstehender oder ethische Konsequenzen problematischer Art (man denke an die Genmanipulation). Auch dieses externe Qualitätskriterium muss, wiewohl es höchst komplex ist, ernst genommen werden.

Beurteilung und Förderung

Es mag verhältnismässig einfach sein, sich über Kriterien der Qualität im Abstrakten zu einigen. Schwierig wird ihre *Anwendung im Einzelfall*, bei der es sich nicht um wissenschaftliche Erkenntnis, sondern um praktische Klugheit, die prudentia der Alten, handelt. Was die Qualitätsbeurteilung im Einzelfalle erschwert, hat seinen Ursprung einerseits im individuellen Beurteiler, anderseits in den institutionellen Gegebenheiten. Dazu noch einige Hinweise.

Qualitätsbeurteilung in der Forschung muss grundsätzlich durch Wissenschafter erfolgen, denn nur sie haben die nötigen Sachkenntnisse: Der Fachmann ist angesprochen – aber nicht nur als Fachmann, sondern auch als Träger der praktischen Vernunft. Hier aber kann sich die *fachwissenschaftliche Befangenheit* als ein Hemmnis erweisen, wenn das Urteil nur aus der Perspektive der betreffenden Disziplin unter Vernachlässigung übergreifender Qualitätskriterien gefällt wird. Würden Forschungs- und forschungspolitische Entscheide nur durch Summierung blosser Fachurteile gewonnen, so müsste sich im ganzen eine einseitige Entwicklung der wissenschaftlichen Forschung ergeben, und es würde daraus das Phänomen des ‹generalisierten Elfenbeinturms› resultieren. Dieser Gefahr kann nur begegnet werden, wenn der Fachmann eine bewusste Anstrengung unternimmt, über die Fachgrenzen hinauszudenken und die zu beurteilende Forschung in den grösseren Zusammenhängen zu sehen, in denen sie tatsächlich steht.

Ein anderes subjektives Hemmnis ergibt sich aus der *Konkurrenzsituation* innerhalb der jeweiligen Disziplin. Die egoistische Bevorzugung eigener Interessen gegenüber dem sachlich Gebotenen spielt nicht nur bei Berufungsentscheiden, wo man dem bequemen Kollegen gegenüber dem höher qualifizierten den Vorrang gibt, manchmal eine verhängnisvolle Rolle. Dies ist ein ethisches Problem, aber darum nicht weniger wichtig.

Beurteilungsschwierigkeiten ergeben sich sodann aus Befangenheiten, welche ausserhalb der Forschungssituation wurzeln: *politische Befangenheit* im weitesten Sinn. Dazu gehört schon der Bezug einseitig *universitärer* Positionen bei der Beurteilung von Forschungsvorgängen. Wohl jeder Hochschulforscher steht in der Gefahr, sich in seinem Verhalten von den Automatismen der etablierten Institute bestimmen zu lassen, die auf ein expansives Eigenleben drängen und bei durchaus positiver Entwicklung dennoch über jene Grenzen hinausführen können, welche im grösseren Ganzen der Gesellschaft sinnvollerweise einzuhalten wären. Dies ist eine politische Befangenheit, nämlich die Unfähigkeit, das eigene Tun in den politischen Kontext einzuordnen.

Freilich gibt es noch handgreiflichere politische Befangenheiten. Man kann vermuten, dass an den Hochschulen Abweichungen von der Normalverteilung nicht nur bezüglich

des Intelligenzquotienten, sondern auch der *politischen Affinität* bestehen, wobei es zunächst unwichtig ist, in welcher Richtung diese Abweichungen gehen. Wichtig aber ist das Bewusstsein der hier lauernden Gefahr: dass nämlich die Anwendung von Qualitätskriterien im Einzelfall dadurch verfälscht wird, besonders in Disziplinen, welche direkt die gesellschaftliche Realität zu erforschen haben. Es bedarf in jedem Falle einer besonderen Anstrengung, gegen die politische Verfälschung des Qualitätsurteils anzugehen.

Was die *institutionell bedingten Schwierigkeiten* betrifft, so können wir davon ausgehen, dass sich die Qualitätsbeurteilung im Forschungsbereich vor allem durch die Auseinandersetzung zwischen den Forschern selbst vollzieht. Publikation, Kritik und Gegenkritik entscheiden schliesslich über die Aufnahme und die Veränderung von neuen Verfahren und Resultaten. Dieser Konkurrenzmechanismus der Qualitätskontrolle führt langfristig zu guten Ergebnissen: das brauchbare Gute überlebt, das Schlechte und Unbrauchbare wird eliminiert. Indessen muss betont werden, dass dieses Vertrauen nur langfristig gerechtfertigt ist. Kurzfristig kann die *Qualitätskontrolle durch Konkurrenz* im Einzelfall zu durchaus unbefriedigenden Resultaten führen. Modische Tendenzen können begünstigt, kühne Neuerungen zurückgedrängt werden.

Im Bereich der Forschungsförderung haben diese Selektionsmechanismen ihre institutionelle Form in der sogenannten *peer review*, der Beurteilung durch möglichst hochqualifizierte Fachgenossen. Dieses System funktioniert offenbar recht gut im naturwissenschaftlichen Bereich, wo ein relativ hoher Grad an Objektivität möglich ist. In den Bereichen der Geistes- und Sozialwissenschaften ist diese Sache nicht so sicher, vielmehr kommt es entscheidend darauf an, wer jeweils als Gutachter gewählt wird. Insbesondere ist in Disziplinen mit gegensätzlichen Schulrichtungen, wie etwa der Psychologie oder der Soziologie, keine Gewähr für die mögliche Objektivität gegeben. Je nachdem, wer in den Forschungsförderungsinstitutionen Schlüsselpositionen einnimmt, sind einseitige Bevorzugungen zugunsten von Schultraditionen oder modischen Richtungen mit Monopolanspruch möglich. Der Ausweg aus diesen Schwierigkeiten kann nur in der grundsätzlichen Anerkennung eines gewissen *Methodenpluralismus* bestehen, die auch jene Richtungen zu fördern bereit ist, mit denen der Beurteiler sich selber nicht identifiziert, ohne dass dabei natürlich die Qualitätsmaßstäbe preisgegeben werden dürfen.

Überhaupt bilden die *Machtmechanismen* die zweite institutionelle Grundschwierigkeit der Qualitätsbeurteilung. Sie gehören zum Wesen sozialer Institutionen und sind deshalb auch in der Forschungsförderung unvermeidlich. Grober Machtmissbrauch durch einzelne ist vermutlich selten, da institutionelle Entscheidungen grundsätzlich kollektiv getroffen werden, also eine Mehrheit nötig haben. Wie aber kommt diese Mehrheit zustande? Da in den Entscheidungsgremien die eigentliche Fachkompetenz stets nur bei einer Minderzahl der Mitglieder vorhanden sein kann, muss dieser Kompetenzmangel irgendwie ausgeglichen werden. Dies kann in mannigfaltiger Form geschehen, etwa dadurch, dass man mehr oder weniger unbesehen dem Urteil des Fachvertreters jeweils vertraut, oder dass kompensatorische Machtmechanismen zugunsten wechselnder Interessenbevorzugung ins Spiel gesetzt werden: einmal gibt die eine Interessengruppe nach, damit sie sich ein andermal durchsetzen kann, und so gewinnt jedesmal ein Sonderinteresse die Oberhand. Dies alles birgt die Gefahr unsachlicher Entscheide in sich. Ihr ist dadurch zu begegnen, dass man in jedem Falle auf sachliche Begründung auch ausserhalb der eigenen Fachkompetenz drängt, und vor allem dadurch, dass generell Urteilsfähige, die in keinem Fachbereich Eigeninteressen zu vertreten haben, in diese Entscheidungsgremien aufgenommen werden.

Auch hier liegt die Wurzel der Schwierigkeiten beim Konflikt zwischen *Eigen- und Gesamtinteressen*, und hier wie überall genügt die blosse Auseinandersetzung zwischen den verschiedenen Eigeninteressen nicht für eine Optimierung des Gesamtinteresses. Vielmehr bedarf es stets einer besonderen und intensiven Anstrengung, bei der Einzelentscheidung den Gesamtzusammenhang, innerhalb dessen die Eigeninteressen beurteilt werden müssen, so deutlich wie möglich wahrzunehmen und in der Entscheidungsfindung zur Geltung zu bringen.

Konkrete Folgerungen

Was sind aus all dem für Folgerungen zu ziehen? Ich möchte mich zum Schluss auf vier beschränken.

Wissenschaftliche Forschung hat ihre Eigengesetzlichkeit und deshalb Anspruch auf Autonomie, die aber nur eine relative sein kann. Die Forschung muss sich unter den heutigen institutionellen Bedingungen den Erfordernissen einer Gesamtpolitik einordnen. In diesem Sinn sollte die *Politik als ein Prius der Forschungsförderung* von den Wissenschaftern grundsätzlich anerkannt werden. Dann sind sie aber auch berechtigt zu verlangen, dass die Politik die *relative Autonomie der Forschung* anerkenne.

Angesichts der primär fachwissenschaftlichen Orientierung der Wissenschafter und ihrer Neigung zur Verabsolutierung der eigenen Forschungsinteressen, oder mindestens zur Ignorierung der Forschungsinteressen anderer, ist es ein wichtiger Schritt, dass der *Pluralismus der Methoden und Fragestellungen* in der jeweils eigenen Disziplin anerkannt wird. Dies bedeutet das grundsätzliche Abrücken von allen Monopolansprüchen und das Bekenntnis zur Toleranz für abweichende Bestrebungen. Diese Haltung sollte in der Förderungspolitik noch grösseres Gewicht bekommen.

Solche Schritte zur Offenheit sind aber auch auf der institutionellen Ebene nötig. Die Entscheidungsgremien der Forschungsförderung müssen auch für *Vertreter der nichtwissenschaftlichen Öffentlichkeit* offen sein. Es ist nicht gut, wenn in Forschungskommissionen und ähnlichen Gruppen, welche Qualitätsurteile zu fällen haben, die Wissenschafter ausschliesslich unter sich sind. Sie sollten vielmehr kraftvolle Persönlichkeiten neben sich dulden, welche mit praktischer Vernunft die geldgebende Öffentlichkeit vertreten und die Integrität der geldkonsumierenden Wissenschafter bei ihren Entscheidungen beobachten können.

Insgesamt, und für all dies, wird schliesslich eine *Wandlung im Selbstverständnis des Forschers* nötig sein. Angesichts der Bedeutung, die den Wissenschaften im Ganzen des geschichtlichen Prozesses der Menschheit zukommt, darf sich der Forscher nicht nur als Fachmann einer Einzeldisziplin verstehen, deren Interessen es zu fördern gilt, sondern er muss geistig wach an den Veränderungen der Welt, die nicht zuletzt durch die Wissenschaften bedingt sind, teilnehmen. Er hat sich der politischen Verantwortung bewusst zu werden, die eben deshalb mit allen wissenschaftlichen Aktivitäten verknüpft ist, und diese Verantwortung zu seinem Teil wahrzunehmen. Dadurch wird er in die Lage kommen, das Gesamtinteresse neu und anders zu sehen, dem sich die Sonderinteressen von Wissenschaft und Forschung einordnen müssen.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Gerhard Huber
Präsident des Schweizerischen Wissenschaftsrates
Kürbergstr. 8
CH-8049 Zürich

La notion de qualité appliquée à la recherche industrielle

Peter Döme

L'intérêt du sujet réside dans le fait qu'il n'est généralement pas discuté dans ces termes: la question qui se pose est plutôt celle de l'opportunité de la recherche, souvent pour éviter d'être appelé à se prononcer au sujet de sa qualité. Pourtant les partisans désireux de disposer d'un outil qui leur permettrait de se faire une idée de la valeur qualitative des travaux scientifiques en cours sont nombreux et ne sont pas de moindre importance: ce sont ceux qui décident de la mise à disposition des moyens financiers à la communauté scientifique. Le dilemme dans lequel se trouve le décideur a été exprimé par un vice-président du Standford Research Institute, qui aurait dit que «nous sommes les experts dans la dépense de l'argent pour la recherche; la question de la contre-valeur qui en résulte n'a pas encore reçu de réponse». Et le Professeur Guy Kirsch de l'Université de Fribourg (1975) souligne, en écrivant au sujet du même problème, que «la conviction des hommes de science de leur importance, en tant qu'élite intellectuelle, n'a pas d'effet tant qu'ils ne réussissent pas à entrer dans les calculs de décision de ceux qui les financent avec leurs infrastructures, non seulement sous forme de centre de pertes, mais aussi à titre de facteur d'utilité».

En effet, la justification des dépenses consacrées à la science est inégalement répartie entre les utilisateurs des fonds et ceux qui en décident l'allocation: l'argumentation de l'homme (ou de la femme) de science possède beaucoup plus de facettes pour justifier son travail que ce dont les corporations, appelées à promouvoir les sciences, puissent tenir compte. La forme de justification la plus répandue est certainement celle des publications. Il est reconnu que l'activité scientifique doit se manifester par la publication des résultats dans les média appropriés. Le chercheur éprouve le besoin légitime de communiquer avec la collectivité par le language qui lui est propre et la communauté visée est attentive à tout signe porteur de nouvelle connaissance. Il s'est donc forcément développé une mesure pour l'appréciation de la créativité, de la qualité proprement dite du chercheur, mesure qui d'ailleurs peut lui être profitable dans sa carrière. La quantité des publications est devenue un facteur important dans l'appréciation scientifique de l'auteur, donc le nombre de publications par auteur, d'où le dicton anglais «publish or perish». Permettez-moi de vous citer ici une curiosité: on trouve aussi une tendance inverse à savoir le nombre d'auteurs par publication. On sait combien l'expérimentation devient compliquée dans les «big sciences». Cela explique le fait qu'on tombe sur des publications, dans le domaine de la physique des particules élémentaires, qui portent jusqu'à 56 noms d'auteurs, p. ex. pour un article s'étendant sur quatre pages seulement dans les Physical Review Letters!

Le nombre des communications est non seulement devenu un facteur promotionnel pour l'individu, mais il est également une notion de renom pour les instituts universitaires ou scientifiques qui se sentent responsables de la fertilité engendrée dans leurs murs. Il y a mieux encore: j'ai trouvé par exemple une statistique faisant apparaître l'appartenance des prix Nobel à des universités américaines (Zuckermann 1967). La comparaison porte sur l'affiliation des lauréats des prix Nobel à l'université pour leur thèse de doctorat, l'affiliation pour le travail qui leur a valu la distinction, l'appartenance à l'université lors de l'attribution de la distinction et finalement l'appartenance du lauréat au «research staff» tout court. La comparaison arrêtée en 1967 fait ressortir Harvard University, Columbia et l'Université de Californie comme les écoles les plus prestigeuses de la nation américaine.

Il se peut bien que le language exprimé dans

les publications, ainsi que les manifestations de prestige scientifique, sont ceux que les confrères apprécient le mieux pour juger la qualité des travaux et les compétences scientifiques du chercheur individuel ou des institutions. En revanche, ce type de message n'est que très partiellement apprécié par les bailleurs de fonds. Peuvent-ils alors utiliser d'autres facteurs à leur profit, plus facilement exploitables par le profane bienveillant? Ce qu'ils peuvent faire, c'est de s'adresser à un expert. L'un des meilleurs connaisseurs de la recherche en Suisse, le Professeur Ambros Speiser (1978) de BBC, pourrait leur dire quelles sont selon lui les conditions qui doivent être remplies pour qu'un projet de recherche puisse être considéré comme bon, donc de bonne qualité. Je le cite: «D'abord, il faut qu'à l'origine du projet se trouve une idée originale; cette idée doit être basée sur la compréhension solide du domaine dans lequel elle se cantonne et sur la créativité véritable. L'idée ne peut consister seulement en la désignation générale du champ d'activité, avec indication de la littérature à étudier et de l'expérimentation à faire. L'idée ne doit pas avoir ses origines dans l'organisation qui en supportera les frais, mais doit être issue du chercheur ou de son entourage immédiat, chargé de la promouvoir ou, autrement dit, elle doit être enracinée dans le terreau dans lequel elle doit pousser, se développer; et finalement l'idée ne doit pas être déjà poursuivie de la même manière à un autre endroit.»

La vertu de ces conditions formulées par le Professeur Speiser est qu'elles sont à priori applicables, donc avant que le travail ne soit entamé et l'argent dépensé, et, en plus, qu'elles sont valables pour toute recherche indépendamment du lieu de son exécution, indépendamment des motifs qui l'animent, donc valables aussi bien pour la recherche universitaire ou industrielle, c.à d. pour la recherche à but académique ou pratique. Pour les considérations qui vont suivre, je mets l'accent sur la nécessité de l'identification du chercheur avec l'idée dont le développement doit apporter une réponse à la question posée à l'origine du projet.

Après vous avoir présenté une opinion concise d'expert, la démarche que je vous propose maintenant d'entamer, c'est l'établissement d'un jeu d'informations supplémentaires nécessaires pour juger la qualité d'une recherche. Je m'y prends par la voie qui est de rigueur pour une approche systématique; c'est celle qui commence par la définition de la qualité.

Vous savez que l'industrie s'efforce d'institutionnaliser une discipline relativement récente qui s'appelle l'assurance de la qualité. Il s'agit de surveiller la qualité des produits fabriqués vendus, depuis de leur création jusqu'à la fin de leur fonctionnement chez l'utilisateur, par des méthodes statistiques et par une organisation adéquate. Cette discipline est bâtie sur la notion de la qualité, dont je propose de me servir ici.

Il serait légitime de votre part de me demander de justifier la connexion que je fais entre la qualité d'un bien industriel et celle de la recherche. Je devrais vous répondre que «c'est de l'empirisme», mais la définition dont je me sers me fournit des conclusions sensées. Au cas où l'on fait la connexion avec la recherche industrielle, elle est bien évidemment légitime parce que la recherche est un maillon de la chaine caractérisant des activités industrielles.

Formulons donc la définition de la qualité que j'aimerais employer pour la suite de mes démonstrations. Par qualité, on entend l'aptitude à un service - permettez-moi de ranger l'activité de recherche parmi les services - donc l'aptitude d'un service à satisfaire un besoin, conformément aux performances qui sont attendues; en d'autres termes, on parle d'un service de qualité si ses performances concordent avec celles éxigées par son bénéficiaire. Par le biais de cette définition prosaïque, je peux continuer le développement du sujet par la discussion des performances en rapport avec la recherche.

Vous avez pu le remarquer, la définition dont je me sers met très clairement en évidence la propriété fondamentale de la notion de qualité, à savoir celle d'un rapport de deux performances. Au cas où la prestation satisfait les exigences, le rapport atteint l'unité et la qualité est censée bonne. Si la performance offerte reste inférieure à la performance exigée, le rapport devient plus petit que l'unité et la qualité diminue. Etant donné qu'on a affaire à un rapport, la notion de qualité est relative et adaptable à l'exigence. Je me suis permis cet aparté pour dissiper d'emblée un malentendu qui pour-

rait nous gêner: à savoir la notion «performance» seule, selon l'usage courant du mot performant, ne suffit pas à décrire une recherche de qualité!

Je vous prie maintenant de m'accorder une limitation volontaire de l'étendue de la discussion au domaine de la recherche industrielle seulement; en cela je me conforme au titre choisi pour cet exposé, mais surtout je pourrai parler du sujet que je connais le mieux.

Pour reprendre le fil de la démarche proposée, je m'efforcerai d'esquisser quelques considérations relatives à la performance exigée de la recherche ou, tout simplement, relative à son utilité vue par la société (j'entends la société humaine). Dans un exposé intitulé «l'importance de la recherche inutile», le Professeur Casimir (1978) de Philips, définissait trois niveaux d'inutilité de la recherche fondamentale pour l'industrie:

Le premier est celui de la recherche à utilité retardée; les exemples sont nombreux: prenez par exemple les travaux d'Ampère et d'Oersted, qui n'ont certainement pas été fait dans le but de l'électrification des chemins de fer.

Le deuxième niveau est occupé par la recherche à utilité indirecte. Là, le Professeur Casimir cite l'exemple d'une théorie de Gauss qui démontre la construction d'un polygone de 257 angles (d'un heptakaipentakontakaidiakosioigone) au moyen de la règle et du compas, théorie sans application pratique évidente; mais comment le même Gauss aurait-il pu mettre au point le plan du relevé géodésique en Allemagne sans ses connaissances profondes de la mathématique, plus particulièrement de la géométrie?

Le troisième niveau est représenté par la recherche à importance culturelle, visant l'enrichissement de l'expérience humaine et de la pensée.

J'aimerais retenir pour nos considérations en particulier l'effet du deuxième niveau, donc de la recherche à utilité indirecte, que nous retrouvons plus loin dans nos réflexions.

Penchons-nous maintenant sur la recherche utile. Puisque je me suis proposé de développer quelques idées au sujet de la recherche industrielle, j'aimerais tout d'abord faire quelques réflexions au sujet du rôle qu'on pense que l'industrie doit jouer. En simplifiant très fortement l'étendue du problème, je vous propose de mettre en valeur les quatre facettes suivantes, capables de caractériser ce rôle; je vous les présente dans un ordre arbitraire:

1. L'industrie doit assurer sa propre pérennité, permettant à son propriétaire la continuité de l'exploitation.
2. Elle doit par conséquent satisfaire le consommateur de ses produits.
3. Elle doit offrir des emplois dans les meilleures conditions.
4. Finalement en ce faisant, elle doit tenir compte de la communauté dont elle fait partie. Il vous intéressera certainement d'apprendre dans ce contexte comment l'industrie européenne a répondu à une enquête (EIRMA 1978) concernant les responsabilités de l'industrie.

Les réponses, qui sont parvenues de 145 entreprises industrielles de 14 pays, de taille plutôt moyenne et grande, portent un jugement différencié sur l'importance relative des responsabilités, telles qu'elles sont ressenties maintenant et qu'elles évolueront au cours de la prochaine décennie.

On en retient les opinions suivantes, en convenant que la somme des responsabilités vis-à-vis des quatre groupes mentionnés totalise 100%:

L'importance de la responsabilité à l'égard:	à présent	dans les années 80
de la communauté	15%	20%
des employés	27%	31%
du consommateur	27%	27%
du propriétaire (actionnaire)	31%	22%

Si je stipule alors, en simplifiant la complexité de la question, que l'utilité de la recherche industrielle dépendra de sa contribution aux solutions des problèmes liés aux quatre types de responsabilités citées, j'arrive au schéma suivant, en me conformant aux importances telles qu'elles sont prévues pour les années 80:

C'est l'employé qui atteint le score le plus élevé; j'en déduis que la recherche utile devrait permettre de créer des conditions de travail optimales au point de vue physique et psychique.

Ensuite c'est le consommateur qui méritera un effort particulier; cela signifie que la

recherche utile devrait fournir des produits et des services qui assurent une satisfaction croissante (c'est d'ailleurs le seul des objectifs de la recherche industrielle dont on tienne compte en général).
Au troisième rang en importance figure le propriétaire. Il doit pouvoir disposer d'un potentiel innovatif suffisant pour assurer la sécurité des investissements. C'est aussi un élément que doit fournir la recherche utile.
Finalement, c'est la communauté qui attend de pouvoir tirer profit de la recherche. Les tâches sont nombreuses. Le but peut être résumé par le désir de créer une qualité de vie accrue pour tous.
Voilà un choix de facteurs qui pourrait servir d'échelle qualitative pour juger la performance exigée de la recherche. Il peut être compris comme cadre pour la trame tissée par la multitude d'objectifs et de programmes de recherche de l'industrie. Cela signifie que le message, qui suggère l'orientation des objectifs de la recherche vers les buts reconnus de l'industrie, est perçu par l'entreprise individuelle chaque fois à travers la finalité qu'elle s'est donnée et qu'elle applique selon ses moyens. Comment procède-t-elle?
Par souci de clarté, j'aimerais d'abord formuler plus précisement le problème qui nous occupe:
Les responsables d'une entreprise, y compris la personne en charge de la recherche, doivent agir de sorte qu'ils assurent la performance des travaux de recherche par rapport aux objectifs de la société, objectifs qui sont censés traduire la finalité en actions planifiées. Vu que la finalité d'une entreprise se confond avec son utilité, la gestion pour une recherche qui satisfait les objectifs visés équivaut à la maximisation de sa qualité selon notre définition de tout à l'heure.
La difficulté de la tâche ainsi circonscrite se manifeste dans l'existence d'un nombre respectable de méthodes de complexité et de sophistication diverses, proposées à choix aux responsables d'entreprises pour évaluer, sélectionner et suivre leurs programmes et projets de recherche. Ces méthodes utilisent des paramètres, souvent quantifiables, émanant d'hypothèses stipulant des corrélations significatives entre les dits paramètres et le résultat escompté. A titre d'exemple, j'aimerais illustrer les résultats de telles démarches par la présentation succinte d'un travail effectué par un groupe de chercheurs du Battelle Memorial Institute à Columbus (Globe 1973), qui a essayé de mettre en évidence les paramètres les plus significatifs caractérisant quelques innovations importantes du 20è siècle, telles que les ferrites à propriétés magnétiques, les pilules anticonceptionnelles, l'électrophotographie, les insecticides organophosphoriques, etc. Les paramètres identifiables pour tous les exemples analysés étaient
1. la reconnaissance de l'utilité, c.à d. existence d'un besoin,
2. l'existence d'un esprit entrepreneur, et
3. l'existence d'inventions.
En outre, la disponsibilité de moyens financiers figure également parmi les paramètres les plus décisifs. Entre parenthèses, je vous signale que les facteurs politiques et sociaux semblaient jouer de loin le moindre rôle parmi la vingtaine de facteurs considérés.
Ces trouvailles nous prouvent que la reconnaissance de l'utilité potentielle des travaux dans la recherche industrielle revêt une importance capitale. Elles nous suggèrent aussi qu'il est décisif de mener la recherche elle-même comme une entreprise. Finalement, elles nous montrent combien précieux est le caractère innovatif matérialisé par des inventions dans le paysage technologique où nous nous mouvons.
Pour reprendre la discussion de la procédure de gestion visant une maximisation de la qualité, je me propose de citer les éléments qui, dans mon esprit (Dusseiller 1979), devraient en tout cas être considérés par les responsables de l'entreprise:
Pour le faire, je vais définir les quatre jeux de questions grâce auxquelles, en y répondant, on pourra caractériser les projets de recherche industrielle:
Il y a d'abord les questions qui relèvent de la technique, telles que l'innovation recherchée, les moyens en R & D requis, l'originalité et les inventions, en cas d'exploitation, les moyens de production.
Ensuite viennent les questions d'ordre commercial qui interviendront en cas de succès: volume du marché visé, position de la concurrence, part du marché escomptée, organisation de vente.
Le troisième jeu de questions concerne les stratégies qui seraient applicables: étapes de

recherche, étapes d'industrialisation, développement des ventes, position dans les marchés.
Finalement, on pose des questions en relation avec les conséquences de la réalisation d'un projet telles que les conséquences financières, les conséquences sociales, les conséquences juridiques, les conséquences sur l'environnement.
Pour juger les performances escomptées de la recherche, les jeux de réponses à ces questions caractérisant le projet, doivent être confrontés selon notre schéma général expliqué plus haut, avec les objectifs de l'entreprise. Cela peut se matérialiser par une sorte d'intersection entre les caractéristiques du projet alors défini, avec les réponses aux quatre questions-clefs qui contiennent le message de ces objectifs: Comment les forces de l'entreprise sont-elles sollicitées par le projet? Quelles sont les critères les plus importants du succès? Quelles sont les facteurs de risque les plus lourds? Dans quelle mesure les buts recherchés par le projet sont-ils compatibles avec la finalité de l'entreprise?
Une application systématique de telles démarches devrait aboutir aux choix des projets de recherche assurant une bonne concordance entre la performance rendue et la performance exigée.
J'ai essayé de vous montrer comment, par une gestion appropriée, les problèmes de la qualité de la recherche sont en principe maîtrisables. Il serait légitime de votre part de me demander d'administrer la preuve de la validité de cette démonstration.
Dans notre exemple, tout comme dans les sciences exactes, c'est l'expérience qui doit apporter la réponse à la validité d'un modèle. Animé par le même souci que nous ressentons maintenant, l'Association Européenne pour l'Administration de la Recherche Industrielle (EIRMA) a organisé une rencontre, il y a quelques années, consacrée au thème «Measurement of research output». Les conclusions étaient à peu près les suivantes:
La difficulté fondamentale du «measurement of research output» réside dans le fait que, pour obtenir une valeur quantifiable dans des termes économiques, des interrelations intimes avec d'autres fonctions de l'entreprise sont nécessaires; cela veut dire que la corrélation entre certaines grandeurs révélatrices, telles que le nombre de produits nouveaux ou le pourcentage de l'élargissement de la part du marché, par exemple, et la recherche est bien évidemment affectée par la qualité du savoir faire dans la production ou par la compétence commerciale des ventes.
Un autre témoignage, celui de l'«American Institute of Certified Public Accountants» est encore plus formel: «Une évidence d'interrelation causale entre les dépenses R & D et un bénéfice futur subséquent n'a pas été établie!»
Tout cela nous rend attentifs au fait qu'une argumentation simpliste à l'égard du directeur des finances d'une entreprise telle que: «Doublons notre budget de recherche, il va doubler nos bénéfices! ...» est démunie de tout fondement.
Ce raisonnement a été d'ailleurs analysé plus en profondeur par le Professeur Carl von Weizsäcker (1967). Il s'est posé la question quant à l'opportunité économique de l'augmentation des budgets destinés à la recherche. Il arrive à la conclusion – et ceci même dans le contexte national – qu'il existe un montant optimum à consacrer à la recherche. Sa démonstration tient à quatre facteurs qui tendent tous à une saturation de l'effet de l'augmentation du budget sur le résultat correspondant, vu que
1. à partir d'un certain point, l'augmentation du nombre de chercheurs doit amener une décroissance de la qualification moyenne;
2. l'augmentation du nombre de chercheurs demande une augmentation des heures d'enseignements, ce qui résulte en une diminution du temps que les enseignants peuvent consacrer à la recherche;
3. l'augmentation du besoin en chercheurs augmenterait aussi les salaires des chercheurs qualifiés, à cause de la diminution de l'offre et l'augmentation de la demande – il en résulterait un renchérissement graduel de la recherche qui, à lui seul, consommerait une partie croissante du budget augmenté;
4. l'augmentation du nombre des chercheurs actifs interromprait la croissance organique de la science, puisqu'on serait tenté, grâce aux moyens accrus, de faire démarrer des recherches nouvelles avant que les résultats utilisables des travaux antérieurs soient acquis.
Je retourne à la constatation précédente:

nous avons vu que l'utilité de la recherche n'est guère quantifiable. Il en résulte que le sort de la recherche industrielle dépend davantage de la capacité visionnaire des dirigeants d'entreprises et de la confiance qu'ils lui accordent que des calculs de rentabilité.

La tâche des responsables de la recherche dans l'entreprise, qui découle de cet état de fait, est celle de la création et du maintien d'une atmosphère favorable à l'innovation, aussi bien à l'égard du personnel de recherche que vis-à-vis des dirigeants de l'entreprise. C'est l'une de leurs plus importantes contributions en faveur de la recherche de qualité. Quel est le champ de leurs interventions et comment doivent-ils agir? Nous pouvons distinguer les actions qui se situent dans deux secteurs: la direction motivante, la communication efficace.

Dans le premier secteur, nous rangeons les actions spécifiques (je ne cite que les facteurs dans l'instrumentarium de direction qui nous intéressent ici): Encourager les bons rapports personnels; composer des groupes de recherche pour lesquels le renforcement des compétences devient effectif; apprécier les résultats; déléguer les décisions au niveau adéquat de responsabilité; donner suite aux manifestations d'interêt au sujet de développements personnels et professionnels.

Le deuxième secteur d'actions touchant la communication efficace réunit des actions telle que faire connaître les objectifs de l'entreprise aussi dans les laboratoires; faire connaître les accomplissements et le potentiel de la recherche aussi à l'échelon de la direction; encourager le transfert de savoir-faire dans l'entreprise; assurer la mise à disposition des moyens que nécessite la performance exigée de la recherche; entretenir de bonnes relations avec les autres fonctions de l'entreprise.

En guisse de résumé, j'aimerais encore passer en revue les éléments principaux de mon exposé qui ont un rapport direct avec la notion de qualité appliquée à la recherche et qui, dans mon esprit, devraient être inscrits au tableau de bord - vous me passerez l'expression - de chaque responsable de R & D industrielle.

1. Il faut que l'organisation (je pense par exemple à l'entreprise industrielle) puisse garder dans ses rangs des personnalités qui ont la force créative pour des idées nouvelles et la persévérance pour les faire progresser (rappelons-nous les conditions du Professeur Speiser).
2. On ne peut pas se laisser guider uniquement par un standard qui prévoit l'utilité directe des investissements en recherche. Il faut donc réserver une part des moyens destinés à des travaux à «utilité indirecte», comme disait le Prof. Casimir.
3. Les recherches menées doivent avoir quelque part une relation avec la finalité de l'organisation, qui supporte les frais qu'elles occasionnent.
4. Il n'est pas possible de se former une idée sur la qualité de la recherche de l'entreprise sans se munir d'un instrument d'évaluation, de sélection et de contrôle du programme exécuté dans les laboratoires, assorti de la volonté de l'appliquer pendant une période prolongée.
5. Pour que les laboratoires de recherches fassent partie des outils décisifs dans l'accomplissement des objectifs fixés de l'entreprise, une direction motivante et communicative est requise.

Telles sont donc les réflexions que je souhaitais développer pour contribuer à l'éclaircissement des problèmes posés par la qualité lorsqu'ils s'agit de décider de l'opportunité d'investir dans la recherche. J'aimerais terminer avec quelques considérations empruntées au Professeur Hugo Aebi (1978), qu'il a faites comme président du Conseil Suisse de la Science, en se référant à la recherche en général, et qui sont consacrées à notre sujet. Il estime que la recherche de qualité n'est pas possible sans compétition et sélection. C'est par le choix des priorités que l'on trouvera un bon équilibre entre les aspirations du scientifique et les besoins de la communauté (là, nous retrouvons la concordance des performances utilisée dans la définition de la qualité). En plus, il recommande un dialogue continu entre les hommes politiques et les scientifiques: pour le succès de ce dialogue, il faut que le bon chercheur soit aussi un vendeur efficace de ses idées.

Références

Kirsch G. 1975: Wissenschaft zwischen Spiel und Verpflichtung; Universitätsverlag Freiburg/Schweiz.

Zuckermann M. 1967: The Sociology of the Nobel Prices; Scientific American, Nov. 1967.

Speiser A. 1978: Changing relations between Science & Industry; EIRMA Conference Paper, Florence.
Casimir H.G.B. 1978: The importance of 'useless' research; EIRMA Conference Paper, Florence.
EIRMA 1978: The responsability of industrial research towards industry; Enquête.
Globe S. et al. 1973: Key Factors & Events in the Innovation Process; Research Management, July 1973.
Dusseiller B. 1969: ICEPS - ein Verfahren zum Bewerten und Beurteilen von Innovationen; Technische Rundschau Sulzer, Bd 61.
von Weizsäcker C.C. 1967: Industrial Research and its Effects upon Society EIRMA Conference Paper, Paris.
Aebi H.E. 1978: Research; Modern Switzerland Copyright 1978 by Society for the Promotion of Science & Scholarship.

Adresse de l'auteur:

Peter Döme
Société Générale de l'horlogerie Suisse S.A.
Faubourg du Lac 6
CH-2501 Bienne

Die Schweizerische Wissenschaftspolitik

Alfons Müller-Marzohl

Herr Lauener hat mich gebeten, Ihnen so praktisch und konkret wie nur möglich den Alltag unserer Wissenschaftspolitik darzulegen. Ich komme diesem Wunsch nach, obschon ich fürchte, dabei in Banalitäten stekken zu bleiben.

Die Milliarde des Bundes

Kennzeichnendes Merkmal der Schweizerischen Bildungspolitik ist das Faktum, dass es eine Fülle von Strukturen, aber nirgends ein mit wirklichen Kompetenzen ausgestattetes führendes Organ gibt. Beim Versuch, diese Strukturen etwas sichtbar zu machen, gehen wir vielleicht am geschicktesten zunächst von den einzelnen Hochschulen aus, denn sie sind jedem, der mit Wissenschaft zu tun hat, am vertrautesten. Die Hochschulen werden, wie Sie wissen, durch irgendein Gremium (Hochschulrat, Fakultätsversammlungen, Senat usw.) regiert, aber dieses Regieren besteht an vielen Orten nur darin, Lehrstühle allgemein zu umschreiben, Wahlen zu treffen usf. In bezug auf Lehre und Forschung herrscht allseits die berühmte Freiheit und Autonomie: Lust, Neigung (und oft auch die Begabung) bestimmen die Ziele der Forschung an den einzelnen Hochschulen. Der Umfang der Forschung wird durch die zur Verfügung stehenden Ressourcen bestimmt und nur selten durch irgend einen bestimmten Plan.
Das scheint soweit alles in bester Ordnung zu sein. Aber der Schein trügt, denn der Friede wird dadurch gestört, dass die Hochschulen längst nicht mehr in der Lage sind, sich mit den milden Gaben, die ihnen das kantonale Parlament stiftet, zu finanzieren. Seit Beginn der sechziger Jahre bezahlt ja der Bund den Hochschulkantonen an Bau und Betrieb der Hochschulen Subventionen. Gegenwärtig übernimmt der Bund fast die Hälfte der Betriebskosten. Die Ausgaben der Eidgenossenschaft für die Förderung der sogenannten Grundlagenforschung belaufen sich zur Zeit jährlich auf rund hundert Millionen Franken, und zwar fliessen sie zum grössten Teil über den Nationalfonds. Beizufügen ist, dass die schweizerische Wirtschaft – im Gegensatz zur ausländischen – ihre Forschungskosten fast ganz aus eigenen Mitteln bestreitet. Sie wendet dafür rund zwei Milliarden auf, worin die Kosten für die Entwicklung inbegriffen sind. Dazu kommt rund eine Milliarde Bundesmittel für Forschung und Entwicklung, die nicht nur an den kantonalen Hochschulen und an der ETH, sondern auch an den bundeseigenen Forschungsstätten eingesetzt werden.
Die Aufwendungen des Staates für die ETH und für die Subventionen an die Hochschulen machen jährlich einige hundert Millionen Franken aus. Alles in allem ist also der Bund mit Milliardenbeträgen in die Verantwortung für das Gebilde mit einbezogen, das wir gerne als «Hochschule Schweiz» bezeichnen möchten.

Organe ohne Kompetenzen

Um nun diese Verantwortung tragen zu können, hat sich der Bund mit dem ersten (und bisher letzten) Hochschulförderungsgesetz (HFG) ein Konsultativorgan gegeben: den Schweizerischen Wissenschaftsrat (SWR). Dieses Gremium ist mit einem Sekretariat ausgerüstet, aber – wie alles hierzulande – ist dessen Ausstattung reichlich karg. Dabei hat der SWR einen imposanten Aufgabenkatalog zu bewältigen. So arbeitet er zu Handen des Bundesrates für folgende Fragen Empfehlungen und Stellungnahmen aus: für die allgemeine Bildungs- und Wissenschaftspolitik, für die Ziele der Forschung, die Festsetzung von forschungspolitischen Schwerge-

wichten, für die ETH-Politik, die Ressortforschung, für die Gesuche der Hochschulen, für internationale Beteiligungen usw.
Alle diese Aufgaben können freilich wegen der knappen personellen Ausstattung des «Apparates» nur teilweise erfüllt werden. Seit der Bund Verantwortung in der Wissenschaftspolitik übernehmen musste, hat er das Eidg. Departement des Innern (EDI) beauftragt, in all diesen Fragen federführend tätig zu werden. So hat das Amt für Wissenschaft und Forschung (AWF), das im Zuge der Neuorganisation zum Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW) geworden ist, allmählich eine gewisse minimale Ausdehnung erhalten. Aber wir sind weit davon entfernt, wirksame Instrumente der Wissenschafts-Politik zu besitzen. Das ist unter anderem aus folgenden Gründen bedauerlich: Die Hochschulkonferenz, in der die Hochschulkantone und eine Delegation der Nichthochschulkantone versammelt sind, verfügt über keine Entscheidungskompetenz. Sie hat lediglich die Kompetenz, Empfehlungen an die Mitglieder zu verabschieden. Auch der Wissenschaftsrat besitzt nur bei Begutachtung der Gesuche um Hochschulbeiträge eine gewisse Kompetenz. Ähnlich ergeht es dem BBW. Sein einziges «Machtmittel» sind die Subventionen, die aber keine wirkliche Mitentscheidung gewährleisten. All das erschwert den Überblick und die Kontrolle.

Die Ressortforschung

Aber nicht nur das EDI hat sich mit Forschung und Wissenschaft zu befassen, sondern jedes der sechs andern Departemente sowie die Bundeskanzlei finanziert Forschung oder betreibt sie in eigener Regie. Die folgenden bunten Stichworte mögen andeuten, was gemeint ist: Landwirtschaft, Gutachten aller Art, Rüstungsdienst, SBB, PTT, politologische Studien, internationale Beteiligungen usw.
Die Koordination dieser wissenschaftlichen Aktivitäten ist erst in jüngster Zeit an die Hand genommen worden. Während langer Zeit gedieh all das sozusagen im Halbschatten. Es ist dabei zwar ohne Zweifel gute Arbeit geleistet worden, aber von Transparenz war keine Spur vorhanden.

Der Nationalfonds

Es gibt im Bereich der Forschung eigentlich nur eine wirkliche Macht: den Schweizerischen Nationalfonds. Er ist seinerzeit von Bundesrat Etter bewusst als Stiftung gegründet worden, um ihn vom direkten staatlichen Einfluss unabhängig zu machen. Im Gegensatz etwa zur Filmförderung oder zur Kulturpflege muss sich der Bundesrat in der Forschungspolitik nicht durch Entscheide exponieren. Der Nationalfonds ist im ursprünglichen Bereich, von dem gleich die Rede sein wird, wirklich autonom, aber er hängt natürlich finanziell völlig vom Parlament ab und ist ihm auch Rechenschaft schuldig.
Bei der Gründung des Nationalfonds waren folgende Überlegungen massgebend: In der Schweiz kommt die Grundlagenforschung zu kurz, weil die Wirtschaft begreiflicherweise die Forschung für ihre eigenen Zwecke einrichtet. Der Begriff Grundlagenforschung ist freilich in den letzten Jahren immer häufiger kritisiert worden, weil zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung kein klarer Unterschied zu machen ist. Gemeint war von Anfang an eine Forschung, die nicht direkt auf wirtschaftliche Auswertung ausgerichtet ist, die keinen vorbestimmten Zweck anstrebt. Nach Ansicht erfahrener Wissenschafter und Wirtschaftsleute führt die sogenannte Grundlagenforschung zu wichtigeren konkreten Fortschritten als die angewandte, da stets «Zufallsprodukte» der Grundlagenforschung zu den grossen wissenschaftlichen Durchbrüchen und Innovationen geführt haben.
Bei der Gründung des Nationalfonds ist festgelegt worden, dass er keine langdauernden Forschungsprojekte finanzieren dürfe. Dieser Grundsatz ist freilich zum ersten Mal durchbrochen worden, als die Finanzierung der Dialekt-Wörterbücher dem Nationalfonds anvertraut wurde. Derartige neue Aufgaben schränken jeweils die verfügbaren Mittel des Nationalfonds ein, weshalb die Wachstumsstatistiken stets eines Kommentars bedürfen. Ein Ziel des Nationalfonds bestand und besteht immer noch darin, den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern, und der Nationalfonds hat auch indirekt die Errichtung zusätzlicher Dozenturen und Institute an kantonalen Hochschulen ermöglicht.

Der Nationalfonds ist bewusst als ein reaktives Instrument geschaffen worden. Er sollte nicht eigentlich die Forschung in der Schweiz planen, sondern wichtige Forschungsprojekte finanzieren und dadurch allgemein die Forschung fördern. Eine Planung war ihm immerhin in beschränktem Masse möglich: durch die Auswahl der Projekte und durch Zuteilungsquoten an die einzelnen Wissenschaftsdisziplinen. So hat der Nationalfonds stets dafür gesorgt, dass nicht nur die Physik und die Medizin, sondern auch Geisteswissenschaften zum Zuge kommen. Im Prinzip hat sich aber der Nationalfonds in erster Linie von einem einzigen Kriterium leiten lassen, nämlich von der Qualität der Gesuche.

Die politischen Reaktionen auf das Wachstum der Wissenschaften

Bevor ich nun auf die neueste Entwicklung des Nationalfonds eingehe, möchte ich zunächst erwähnen, dass bekanntlich in den letzten fünfzehn Jahren die Ausgaben für Wissenschaft und Forschung ständig zugenommen haben, und es soll kurz beleuchtet werden, wie die Politik auf dieses Wachstum reagiert hat. Um aber die heutige Politik überhaupt verständlich machen zu können, muss ich nochmals kurz zusammenfassen: Die Basis der schweizerischen Wissenschafts- und Forschungspolitik bilden die kantonalen und eidgenössischen Hochschulen mit ihrem sehr entwickelten Autonomiegefühl. Sie werden, wie erwähnt, durch Organe ohne Kompetenzen koordiniert: durch die Hochschulkonferenz, durch die Hochschulrektorenkonferenz und neuerdings durch die Erziehungsdirektorenkonferenz, die freilich trotz ihrer Bereitschaft, die Hochschulen mitzufinanzieren, wenig mitzureden haben wird. Der Bund ist nur dort direkt agierend, wo er die Forschung oder die Lehre völlig aus eigenen Mitteln finanziert: in der Ressortforschung und an den eigenen Hochschulen mit ihren Annexanstalten. Die ETH wird freilich von einem Schulrat geleitet, der sich völlig autonom fühlt, und sowohl das BBW wie auch die parlamentarische Rolle auf möglichst grosse Distanz halten will. Das Bundesamt für Bildung und Wissenschaft hat sich aber doch trotz mangelnder Kompetenz mit gesamtschweizerischen wissenschaftspolitischen Fragen, mit dem Nationalfonds, mit dem Numerus clausus usw. zu befassen. Unabhängig davon arbeitet die Kommission für Wissenschaft und Forschung (KWF, Kommission Jucker), welche den Zweck hat, durch gezielte Forschungsmassnahmen der Rezession entgegen zu wirken. Im Prinzip hat der Bund nur die Kompetenz, Geld zu verteilen, und es gibt Hochschulprofessoren und Rektoren, die das Hochschulförderungs- und Forschungsgesetz mit dem Argument bekämpft haben: Der Bund soll uns das Geld zur Verfügung stellen, wir setzen es dann schon selber richtig ein.

Das Parlament sah sich mit dem Wachsen des Bundesengagements im Gebiet von Wissenschaft und Forschung allmählich mit diesen Problemen konfrontiert und ist sich dieser Strukturmängel bewusst geworden. In den sechziger Jahren haben die Räte im allgemeinen auf wissenschaftspolitische Vorlagen positiv reagiert, jedoch spielten stets föderalistische Bedenken eine gewisse Rolle, und es ist nicht zu übersehen, dass sich das Parlament von Anfang an in einem gewissen Sinne ohnmächtig gefühlt hat. Die Parlamentarier sahen die Eidgenössischen Technischen Hochschulen wachsen. Und die Forschungsaufgaben und die Subventionen nahmen derartige Dimensionen an, dass sich all das dem Urteil und der Kontrolle des Parlaments zu entziehen drohte. Man sah verdutzt und mit wachsendem Misstrauen eigene Strukturen und Gesetzmässigkeiten entstehen, die nur schwer zu erfassen sind.

Eine erste Reaktion auf dieses Phänomen bestand darin, dass das Parlament vor etwa zwölf bis fünfzehn Jahren – ich war bei den Initianten – eine ständige Kommission für Wissenschaft und Forschung gründete. Man wollte damit die parlamentarische Erfahrung im weiteren Ausbau der ETH sicherstellen: Es sollte nicht mehr für jede Ausbauvorlage eine neue Kommission bestellt werden, die von früheren Überlegungen keine Ahnung hatte, wie dies der Fall war, sondern man wollte den Gang der Dinge etwas aus der Nähe verfolgen. Die Kommission nahm sich auch einiger Spezialfragen besonders an, wie etwa des EIR.

Parlamente planen nicht, sie reagieren

Hier ist vielleicht ein Hinweis auf die Haupt-

aufgaben des Parlaments von Nutzen: Ihm obliegen erstens die Gesetzgebung und zweitens die Verwaltungskontrolle. In der Gesetzgebung wirkt das Parlament zwar durch Postulate, Motionen und Initiativen aktiv, setzt also Projekte in Bewegung. Das Schwergewicht liegt aber darauf, dass es auf Vorlagen des Bundesrates reagiert. Es berät Gesetzestexte, welche von der Verwaltung vorbereitet und vom Bundesrat verabschiedet worden sind.

Zur Kontrolle der Verwaltung hat das Parlament eine Geschäftsprüfungskommission eingesetzt, der auch ein Sekretariat zur Verfügung steht. Jeder Beamte ist dieser Kommission gegenüber auskunftspflichtig. Die Kontrolle wird aber auch durch andere ständige Kommissionen, wie z. B. die Finanzkommission oder eben die Kommission für Wissenschaft und Forschung ausgeübt.

Daraus wird ersichtlich, dass das Parlament nicht plant, nicht planen kann. Es kann nur fordern und reagieren, und oft genug versteht sich der Parlamentarier einfach als einen Forderer. Aber die Forderungen sind nicht kohärent, sondern es wird durch parlamentarische Vorstösse ganz punktuell und wirr durcheinander gefordert. Die ständigen Kommissionen können sich zwar im voraus über Pläne des Bundesrates orientieren lassen, um sie in ihre Überlegungen einzubeziehen und um zu erfahren, was auf das Parlament zukommt. Sie können auch kritische Probleme diskutieren, ohne durch eine konkrete Gesetzesvorlage dazu gezwungen zu sein. (So wird sich z. B. die Kommission für Wissenschaft und Forschung mit dem Problem der Mediziner-Ausbildung und den Reformen an der ETH befassen.) Aber das dient weniger der Planung als vielmehr der Verwaltungskontrolle.

Ein Parlamentarier kann freilich nur während sechs Jahren einer ständigen Kommission angehören: Parlamentarier kommen also und gehen, Bundesräte kommen und gehen, und was bleibt, ist stets die Verwaltung. Ich erwähne das, um noch deutlicher zu machen, dass die parlamentarischen Kommissionen nicht planen können, sondern dass sie auf die Planung der Verwaltung angewiesen sind.

Es ist übrigens noch zu erwähnen, dass die ständige Kommission für Wissenschaft und Forschung nicht allein für das Gebiet Wissenschaft und Forschung zuständig ist, denn das Budget wird ja nicht von ihr, sondern von der Finanzkommission beraten. Die wiederkehrenden Ausgaben sind im Budget enthalten, und hier kann die Finanzkommission Kürzungen vornehmen, z. B. am Jahresbudget des Nationalfonds. Konkret heisst das: Das Parlament hat zwar auf Antrag der Kommission für Wissenschaft und Forschung einen Rahmenkredit für den Nationalfonds beschlossen, ob aber dieser Rahmen ausgeschöpft wird, hängt von der Finanzkommission bzw. von der Budgetdebatte ab. Die Schlacht um den Nationalfonds kann sich also bei jeder Budgetdebatte wiederholen.

Das gescheiterte HFG

Die Situation, die ich eben dargelegt habe, ruft zwangsläufig Unbehagen hervor: Auf der einen Seite wachsen die Ausgaben, auf der anderen gibt es keine Planungsmöglichkeit, keinen Überblick, keine Zuständigkeit. Milliarden werden ausgegeben, ohne dass das Parlament die Gewissheit hat, das Problem einigermassen zu überblicken oder es in den Griff zu bekommen. Um diesem Unbehagen der Politiker zu begegnen, sind zwei Massnahmen getroffen worden: Man hat erstens ein neues Förderungs- und Forschungsgesetz beschlossen und zweitens die Einführung nationaler Forschungsprogramme. Das neue HFG sollte klarere Strukturen schaffen, mehr Kontrolle ermöglichen, aber auch das Geld gezielter zur Verfügung stellen. Man hätte nun meinen müssen, die Politiker würden sich mit Begeisterung dieses neuen Instrumentes bemächtigen, aber auch die Wege der Politik sind unerforschlich, insbesondere derjenigen, die am lautesten nach Spar- und Kontrollmassnahmen rufen. Nun, wir kennen das Schicksal des neuen HFG: Durch den geschickt manipulierten Willen des Volkes ist es ausmanövriert worden, und nun leben wir bildungspolitisch erst recht von der Hand in den Mund. Angesichts der wirklich ernsten Lage an den Hochschulen, die durch die geburtenstarken Jahrgänge verursacht wird, ist es beunruhigend zu wissen, dass eigentlich niemand eine gesamtschweizerische Verantwortung für Notmassnahmen wahrzunehmen hat. Der Schweizeri-

sche Wissenschaftsrat bemüht sich in dieser Lage, die Entwicklung zu überwachen und beständig Warnungen nach allen Richtungen zu übermitteln. Er kann aber nur indirekten Einfluss auf die Politik ausüben. Das Referendum gegen das Hochschulförderungsgesetz hat dem Bund nicht nur das wichtigste bildungspolitische Instrument entrissen, sondern, was noch bedeutend schlimmer ist, das latente Misstrauen gegen Hochschulen und gegen die Forschung politisch virulent werden lassen. Im Parlament äussert sich dies in Kürzungs- und Streichungsanträgen, vor allem aber auch darin, dass häufig Forschungsthemen lächerlich gemacht werden.

Die Nationalen Forschungsprogramme

Und nun noch einmal zum Nationalfonds: Eine Folge des Unbehagens gegenüber der Forschungspolitik war der Ruf nach nationalen Forschungsprogrammen. Die Politiker verlangten nun auf einmal vom Nationalfonds, dass er nicht bloss reagiere, sondern selber Themen von nationaler Bedeutung definiere und interdisziplinäre Projekte in Gang bringe; denn sie fürchteten, dass die schweizerische Forschung zuwenig auf die wirtschaftlichen Gegebenheiten des Landes Rücksicht nehme. Deshalb ist nun ein Teil der bisherigen Mittel für die nationalen Programme abgezweigt worden. Aber – das scheint mir wiederum typisch für unser Land – der Nationalfonds darf die Projekte nicht selbst auswählen. Er schlägt sie lediglich dem Bundesrat zur Auswahl vor und betreut deren Organisation, wenn sie einmal ausgewählt sind. Dadurch hat nun die Verwaltung plötzlich einen entscheidenden Einfluss auf die Forschungspolitik erhalten. Sie wählt die nationalen Forschungsprogramme aus, aber der Nationalfonds hat die Vorwürfe auszubaden, welche durch die unvermeidlichen Anfangsschwierigkeiten dieser Programme hervorgerufen werden. So sind in der Debatte des Nationalrates über den Rahmenkredit des Nationalfonds folgende Forderungen an den Nationalfonds vorgetragen worden: Mehr Transparenz, mehr Schwerpunkte, mehr Prioritäten, mehr Sparsamkeit. Kürzungen sind in Aussicht gestellt und auch beantragt worden.

Prioritäten

Und nun stellt sich unter dem Titel «Alltag der Wissenschaftspolitik» die Frage: Wer kann denn eigentlich in der Forschungspolitik Prioritäten setzen? Darauf lässt sich zunächst eine pragmatische Antwort geben. Heute setzt sie der Bundesrat durch die definitive Wahl der nationalen Programme. Auch die Kommission Jucker (KWF) setzt Schwerpunkte durch jeden ihrer Entscheide. Aber in Wirklichkeit lässt sich der Wunsch nach Prioritäten nicht so erfüllen, wie er gemeint ist. Unterschwellig bedeutet die Forderung nach forschungspolitischen Schwerpunkten ja stets eine Bevorzugung profitbringender oder medizinischer Projekte. Es darf jedoch letztlich nur eine Priorität massgebend sein: das Menschliche. Aber das Menschliche ist nicht operationabel.

Kampf um Einsicht und Verständnis

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen: Die Wissenschaftspolitik befindet sich in einer schwierigen Lage, weil die Demagogie heute leichtes Spiel hat, weil sich der Politiker über diese komplexen Fragen gar nicht fundiert informieren kann und weil auch letztlich die Wissenschaftspolitik Interessenpolitik ist. Es ist aber auch nicht zu übersehen, dass die Wissenschafter weitgehend das Vertrauen des Volkes verloren haben. Sie können sich dem Volk und der Politik häufig nicht mehr verständlich machen, und oft wollen sie es wahrscheinlich auch gar nicht. Für die direkte Demokratie ergeben sich daraus aber beinahe unüberwindliche Schwierigkeiten. Das ist freilich nicht in erster Linie ein Problem der Politik, sondern der Wissenschaften selbst. Die Politik ihrerseits ist gezwungen, sich immer wieder selbst zu widerlegen: Nach jedem negativen Volksentscheid muss sie alles unternehmen, damit die Schäden nicht eintreten, die sie im Abstimmungskampf für den Fall des Scheiterns vorausgesagt hat. Das gelingt aber stets nur teilweise, und meistens lassen sich Schäden nur indirekt nachweisen. Die Politik wird nun einfach pragmatisch vorgehen müssen, um die grossen Nachteile zu vermeiden. Es wird auf jeden Fall sofort ein Forschungsgesetz zu schaffen sein.

Wissenschaftspolitik ist letztlich ein Kampf um Geld, ein Kampf um Einsicht und Verständnis. Es stellt sich ihr die unendlich schwierige Aufgabe, nationale Ziele zu definieren, verständlich zu machen und durchzusetzen.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Alfons Müller-Marzohl
Nationalrat
Obergütschhalde 15
CH-6003 Luzern

Méthodologie géographique

Symposium organisé par la Société suisse de Géographie du 6 octobre 1979

V. Ruffy (Lausanne)
Réflexion autour et à propos d'un transfert de modèle d'une discipline à l'autre ou de l'essence du crabe à celle du réseau urbain vaudois 74

M. Boesch (St. Gallen)
Geographie zwischen Choristik und Orthochorie – Ansätze einer methodologischen Standortbestimmung 86

Ch. Hussy (Genève)
Recherche d'une structure explicative en géographie 98

Réflexion autour et à propos d'un transfert de modèle d'une discipline à l'autre ou de l'essence du crabe à celle du réseau urbain vaudois

Victor Ruffy

Nous avons bénéficié dans cette recherche du concours précieux de Marc Diserens, économiste, chef de l'Office de statistique de l'Etat de Vaud. Ses conseils furent plus d'une fois déterminants. Qu'il en soit remercié. Notre reconnaissance va également à Mlle Gilliéron qui a fait les recherches statistiques et dessiné les graphiques.

Introduction

Comme de nombreuses disciplines, plus que toute autre peut-être, la géographie et notamment la géographie française s'est trouvée confrontée depuis une dizaine d'années, parfois d'une façon cruelle, aux courants modernes tels que le structuralisme, l'analyse systémique ou encore récemment la réflexion épistémologique. De ces passages au crible entrepris par les géographes les plus réceptifs et les mieux initiés à la pensée critique scientifique il ressort deux remarques majeures qui sont des coups sérieux portés à cette citadelle inexpugnable que semblait être la géographie classique.

La première a trait à son caractère idiographique limitatif, à sa façon de privilégier l'unique, l'original au détriment du général, du répétitif sélectionné pourtant indispensable à l'accession d'un raisonnement déductif. C'est J.-B. Racine (1973) qui, chez nous, a été l'un des premiers à présenter l'ouverture faite à notre discipline par les quantativistes anglo-saxons et à relever le défi lancé. Parlant des perspectives offertes par leurs nouvelles méthodes, il écrit: «Permettre ainsi à la géographie d'orienter son approche sur la généralisation en terme d'hypothèses et de théories dont il conviendrait de tester la validité, plutôt que sur la particularisation en terme d'accumulation répétitive d'une information descriptive de laquelle on chercherait à induire une explication».

Le même auteur ajoutait un peu plus loin que l'analyse quantitative excitait l'imagination créatrice du savant, provoquait la recherche qualitative et facilitait surtout l'élaboration d'un système conceptuel explicatif des faits observés.

C'était en quelque sorte annoncer à la géographie la nouvelle épreuve qu'elle allait subir, au prise désormais avec sa pauvreté conceptuelle et peut-être aussi, en même temps, avertir qu'elle ne pourrait pas échapper à un paradigme critique.

«Il est aujourd'hui tout à fait évident que la grande majorité des concepts de la psychologie, de la psychiatrie, de l'anthropologie, de la sociologie et de l'économie, sont complètement détachés du réseau des fondamentaux scientifiques» (Bateson 1977).

Il est hors de doute que si Gregory Bateson avait consacré quelque attention à la géographie, cette dernière aurait figuré dans son énumération.

L'arrachement de la géographie à sa rente de situation descriptive et, par la suite son aspiration à rejoindre le corps des sciences expliquent sa difficulté de se forger ses propres concepts et la nécessité dans laquelle elle se trouve d'emprunter faute de mieux ses modèles à d'autres disciplines. La démarche, qui va suivre, pose donc non seulement les problèmes méthodologiques mais encore philosophiques liés au transfert d'un modèle.

L'emprunt particulier contracté auprès de la biologie a deux raisons de nature très différente.

La première est d'ordre historique, comme Anne Perroud (1978) l'a déjà souligné l'assimilation de la ville à un organe et celle du réseau urbain à un organisme plus ou moins complexe remonte loin dans le temps et le recours à cette catégorie de métaphores reste encore très courant. L'énumération des divers stades de l'évolution d'une ville, décrite notamment par Lewis Mumford, après Ged-

des, reste un des emprunts méthaphoriques les plus fréquents et le dernier en date, que nous ayons rencontré, se trouve dans un commentaire de la bibliographie Iula à propos du livre de Leven ‹The Mature Metropolis›.
«Since the end of world war II, the anatomy of metropolis has undergone more rapid change than at any time since the spurt in growth in the late nineteenth century».
La seconde relève du rôle attribué aux pôles urbains et aux modalités de l'action régionale fréquemment associée à l'aménagement du territoire. A l'intérieur d'une entité politico-administrative, qu'elle soit nationale ou cantonale, une politique de l'organisation de l'espace se fonde le plus souvent sur la hiérarchie urbaine et plus spécialement sur l'aide à apporter à l'un de ses niveaux. En France, le privilège accordé durant les années 1960 aux métropoles d'équilibre et plus récemment les contrats passés avec les villes moyennes sont des opérations qui relèvent très précisément de cette optique. Même la Suisse n'échappe pas à cette tendance et la stratégie préconisée par la loi sur l'aide aux investissements dans les régions de montagne ou celle de feu la conception directrice CK 73 est ou était directement inspirée par ces orientations.
Dès lors, il va presque de soi que tout instrument d'analyses permettant de sonder le comportement des centres urbains et même d'un réseau sera considéré avec le plus grand intérêt surtout s'il permet une projection dans le futur. C'est aussi à cette fin que les géographes ont recouru à l'allométrie.

La signification du coefficient d'allométrie et l'intérêt général du transfert.

S'inspirant de travaux antérieurs notamment de ceux d'Arcie Thompson, J. Huxley (1932) a publié en 1932 le résultat de ses expériences sur la croissance de certains organismes vivants notamment sur celle du crabe violoniste.
J. Huxley a mis en évidence l'existence de propriétés particulières dans les rapports de croissance entre un organisme et ses différentes parties.
Formulée

$$y = ax^b$$

«l'équation allométrique signifie ainsi qu'une certaine caractéristique y peut s'exprimer comme une fonction-puissance d'une autre caractéristique x. Dans le cas de la morphogénèse – c'est dans ce domaine que la loi a été formulée –, la longueur ou le poids d'un organe y est en général fonction allométrique du format d'un autre organe ou de l'organisme en question, x. L'équation $y = ax^b$ établit que le taux de croissance relative des parties reste dans un rapport constant au cours de la vie ou durant un cycle de vie. Cette relation surprenante s'exprime par les équations différentielles suivantes:

$$\frac{\frac{dx}{dt}\frac{1}{x}}{\frac{dy}{dt}\frac{1}{y}} = b \quad \text{ou} \quad \frac{dx}{dt} = b\,\frac{x}{y}\,\frac{dy}{dt}$$

Prenons x comme l'organisme entier, selon la seconde équation, l'organe y prend, dans l'accroissement résultant du métabolisme de tout organisme, une part qui est proportionnelle à sa taille actuelle dans l'ensemble. b est un coefficient de distribution, indiquant la capacité de l'organe à s'emparer de sa part. Ce paramètre b porte généralement le nom de coefficient allométrique, et mesure le taux d'allométrie. L'importance de l'allométrie pour la compréhension de la forme de l'organisation provient donc du fait que fondamentalement toute forme résulte d'une croissance différentielle. Les changements de forme sont l'expression de taux de croissance différents des composants durant la croissance, de façon à ce qu'ils prennent des proportions variables du système.
La forme la plus simple de l'équation allométrique $y = ax^b$ se traduit en coordonnées logarithmiques par une droite de la forme

$$\log y = b \log x + \log a$$

log y est la variable dépendante, log x la variable indépendante
b la pente de la droite d'ajustement
log a l'interception de l'axe des ordonnées par la droite.
On peut distinguer, sur la base du coefficient allométrique, trois catégories d'allométrie simple:
– si b = 1, y croît à la même vitesse qu'x et la forme reste inchangée durant l'accroissement en taille du système. L'équation prend alors la forme simple d'une droite en coordonnées

ordinaires, décrite par la formule $y = a x^1$. On parle alors d'*isométrie*.

- si $b > 1$, l'intensité de croissance de y est plus grande que celle de x. L'organe s'empare d'une plus grande quantité que l'organisme, il croît plus vite que celui-ci. C'est le cas de l'allométrie *positive*, que l'on dit aussi majorante.
- si $b < 1$, l'organe y croît plus lenetement, il y a régression relative de y, allométrie minorante et s'il est négatif, il y a régression en valeur absolue ou énantiométrie.

Il faut d'emblée remarquer que pour que l'allométrie soit vérifiée certaines conditions de linéarité doivent être remplies. Pour plus de sécurité, nous avons fixé le coefficient de détermination à 0.8, limite au-dessous de laquelle l'hypothèse d'allométrie n'a pas été jugée réellement significative.

Avant d'opérer le transfert, il convient de revenir sur la spécificité biologique d'une loi vérifiée sur la croissance d'un crabe car, le biologiste anglais n'a pas rencontré de problèmes au sujet de la régularité de la croissance. C'est pourtant déjà lors de l'examen de la pertinence de l'allométrie que le transfert présente un premier intérêt. Car quand bien même au cours des décennies voire des siècles, les éléments d'un réseau urbain ont trouvé de manière quasi certaine des intégrations à des niveaux plus élevés en raison notamment de la révolution des transports, il vaut la peine de mesurer si l'échelle que constitue l'entité politico-administrative, en l'occurrence le canton, sans même lui associer inconsciemment ou insidieusement une finalité quelconque, conserve dans la situation actuelle les traces d'une structure solidaire. Plus on peut même envisager de mesurer sur la base de comparaisons avec des travaux faits sur d'autres entités selon des axes horizontaux (cantons voisins), verticaux (Confédération), l'étroitesse des liens de solidarité et finalement voir si à l'intérieur du

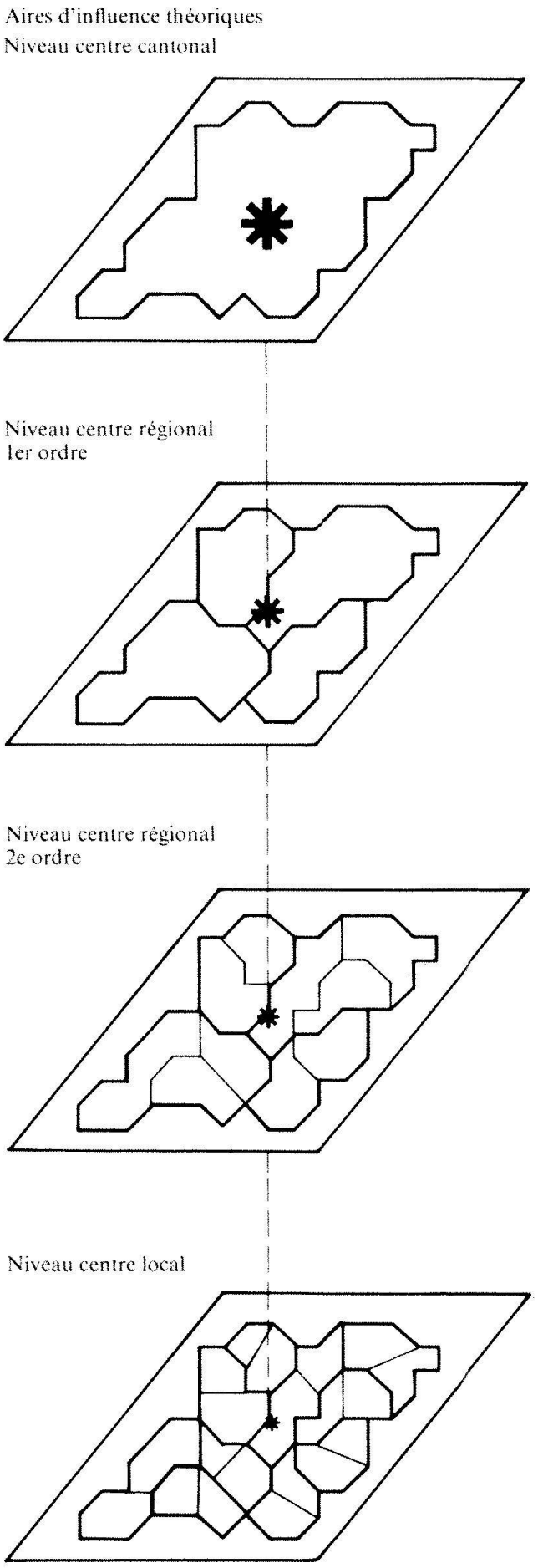
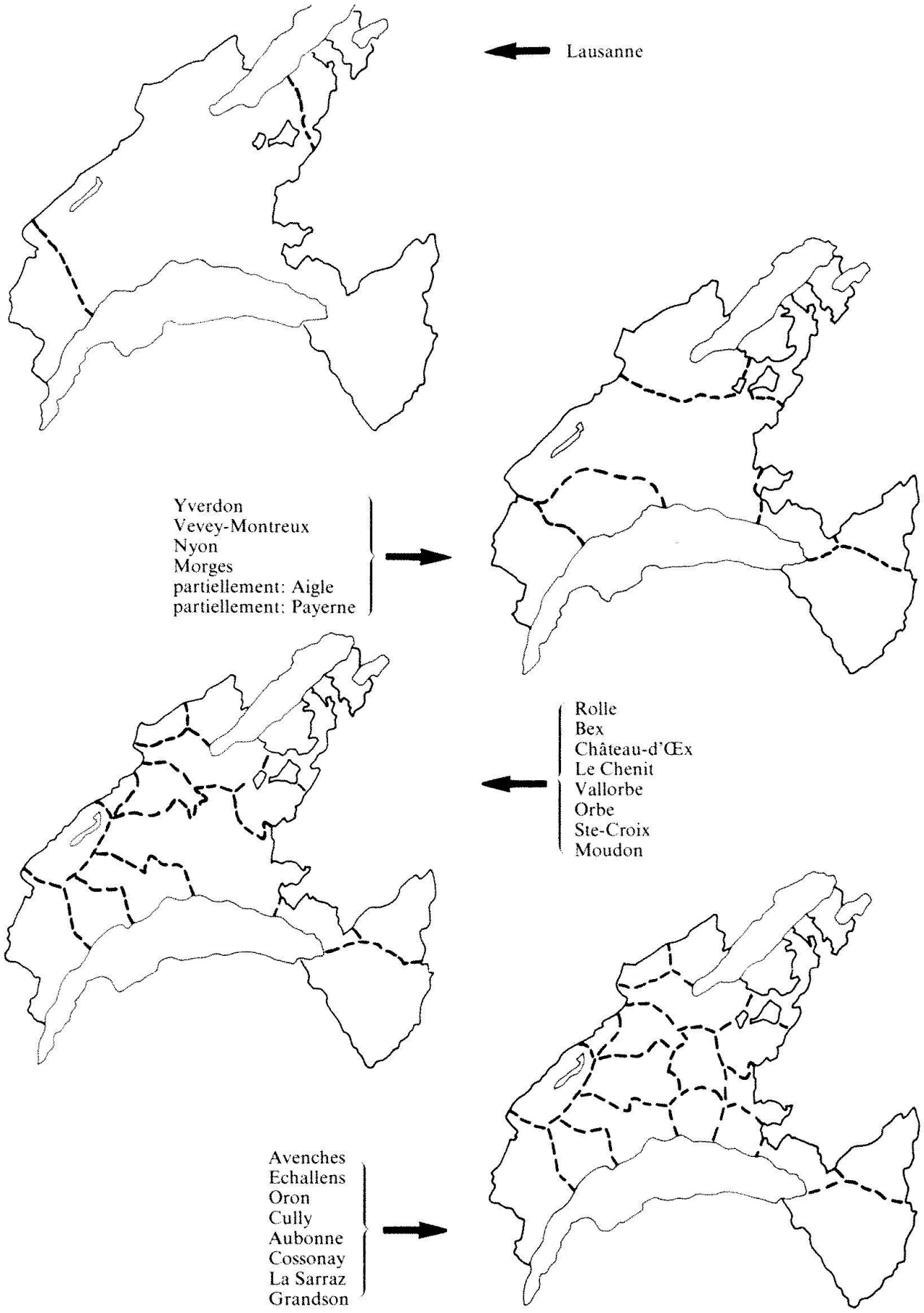


Fig. 1. La structure hierarchisée à quatre niveaux a été mise en évidence par un inventaire des équipements collectifs, privés et publics, portant sur 100 rubriques et rassemblés sous 8 groupes énumérés ci-après:
1. commerces alimentaires (quotidien); 2. commerces et services de détail (hebdomadaire); 3. services d'entreprises (liés à la construction et aux véhicules); 4. services auxiliaires (agences, banques, bureau, etc.); 5. équipements culturels; 6. équipements sportifs; 7. équipements de la santé; 8. équipements scolaires.

Aires d'influence approximatives

Liste des centres



canton ces derniers se trouvent être aujourd'hui encore plus forts qu'avec aucune autre partie extérieure ou englobante.
Cette analyse n'est par ailleurs pas sans intérêt au moment où le fédéralisme gêné par l'échelle des faits économiques essaie dans un mouvement de restauration de renforcer ses assises idéologiques.
Mais plus que vers l'extérieur, c'est vers l'intérieur et en prévision d'une politique volontariste en aménagement du territoire que le calcul de l'allométrie se révèle intéressant.
Que postule, en effet, la notion de développement équilibré appliqué à un réseau urbain?
C'est par la mise en demeure de répondre à de telles questions par exemple en précisant

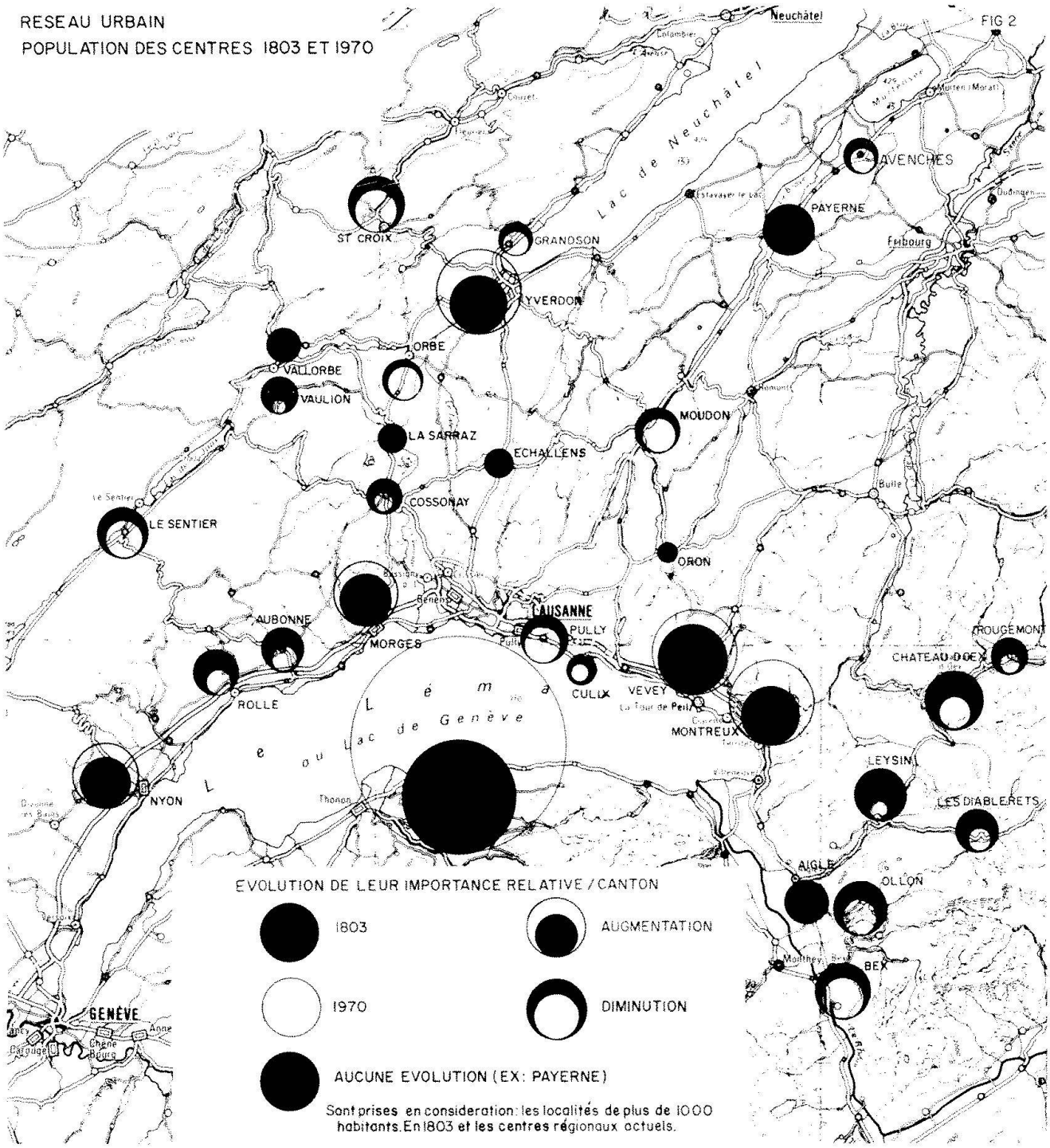


Fig. 2. Evolution de leur importance relative/canton.

que chaque élément du réseau urbain doit garder au cours des temps un poids démographique relatif constant par rapport à l'ensemble dont il relève (isométrie) que le recours à l'allométrie se révèle le plus intéressant.
En permettant de mesurer sur une période choisie le degré de solidarité entre les éléments du réseau urbain, leur évolution respective et les tendances des déformations, le calcul du coefficient d'allométrie provoque une réflexion indispensable sur le concept d'équilibre.

Le réseau urbain vaudois de 1803 à nos jours

Les centres urbains vaudois ont fait l'objet d'une typologie qui a permis de les hiérarchiser en fonction de leur équipement en services. Leur classification se présente de la manière suivante (fig. 1).
Tous les centres, excepté Villeneuve, ont été pris en considération. Des mesures ont été effectuées sur longue (1803–1977; 14 mesures) moyenne (1950–1977; 28 mesures) et courte périodes (1970–1977 au moyen d'un taux d'élasticité ou, si l'on préfère, du rapport utilisé par la schift-analyse).
Le choix de 1803 s'explique par la confiance que l'on peut accorder aux chiffres statistiques dès ce moment-là. Historiquement la date coïncide avec l'entrée du canton de Vaud dans la Confédération et les nouvelles structures administratives pas plus que les modes de production industrielle n'ont encore déployé leurs effets sur l'espace vaudois. Encore épargné par les techno-structures, les caractéristiques spatiales et notamment le réseau urbain s'inscrivent dans le prolongement du Moyen-Age. Géographiquement, les villes et les bourgs de plus de 1000 habitants se répartissent de manière très régulière sur l'ensemble du canton y compris dans le Jura et les préalpes (voir fig. 2 et tab. 1).

Tab. 1. Communes de plus de 1000 habitants en 1803 et leur évolution

	1803	1850	1900	1950	1970
Lausanne	9965	17108	46732	106807	137383
Vevey	3786	5201	11781	14264	17957
Yverdon	2501	3619	7985	12266	20538
Ste-Croix	2455	3541	5914	6575	6240
Montreux	2356	3006	13519	16730	20421
Château-d'Œx	2301	2054	3025	3381	3203
Bex	2298	3091	4561	4762	5069
Ollon	2148	2875	3428	4006	4470
Nyon	2116	2471	4882	6064	11424
Morges	2059	3241	4421	6456	11931
Le Chenit	2027	2766	3796	4604	5465
Payerne	2002	3078	5224	5649	6899
Ormont-Dessous	1941	1574	1746	1237	884
Lutry	1773	2011	2243	2916	4994
Aigle	1653	2296	3897	4271	6532
Aubonne	1549	1730	1736	1682	1983
Moudon	1400	2443	2683	2476	3773
Rolle	1323	1398	2025	2677	3658
Orbe	1300	1923	2080	3565	4522
Rougemont	1280	1190	1189	922	824
Ormont-Dessus	1253	935	1092	994	997
Vallorbe	1148	1491	3279	3896	4028
Vaulion	1145	994	958	689	403

Examen de la pertinence de l'allométrie

Les calculs du coefficient de détermination montrent que l'allométrie ne se vérifie pas pour une certain nombre de centres, pas plus sur une longue que sur une moyenne période. Ceux-ci sont Bex, Château d'Œx, Grandson, Ste-Croix, Vallorbe (voir fig. 3 et tab. 2). Ils se trouvent sans exception sur les marges du canton. On peut donc supposer dans ce cas particulier que la marginalité géographique induise une marginalité démographique. A l'opposé, 12 centres ont un coefficient de détermination permettant de dire que l'allométrie se vérifie sur une longue comme sur une moyenne période. Ce sont Aigle, Montreux, Vevey, Cully, Lausanne, Morges, Nyon, Payerne, Yverdon, Orbe, Rolle, Cossonay, Echallens. Tous les centres appartenant aux deux niveaux supérieurs de la hiérarchie urbaine figurent dans cette première catégorie qui n'est par ailleurs constituée que de chefs-lieux de districts.
Les autres chefs-lieux de districts se répartissent en deux catégories, la première regroupe ceux pour lesquels le coefficient de détermination est satisfaisant pour la moyenne période mais pas pour la longue, ce sont Aubonne, Avenches, Moudon; la seconde rassemble ceux pour lesquels le coefficient de détermination est satisfaisant pour la longue mais pas pour la moyenne période et ce sont Le Chenit, La Sarraz, Oron. Cette première distinction faite entre les centres en fonction de leur rapport avec le tout, en l'occurrence

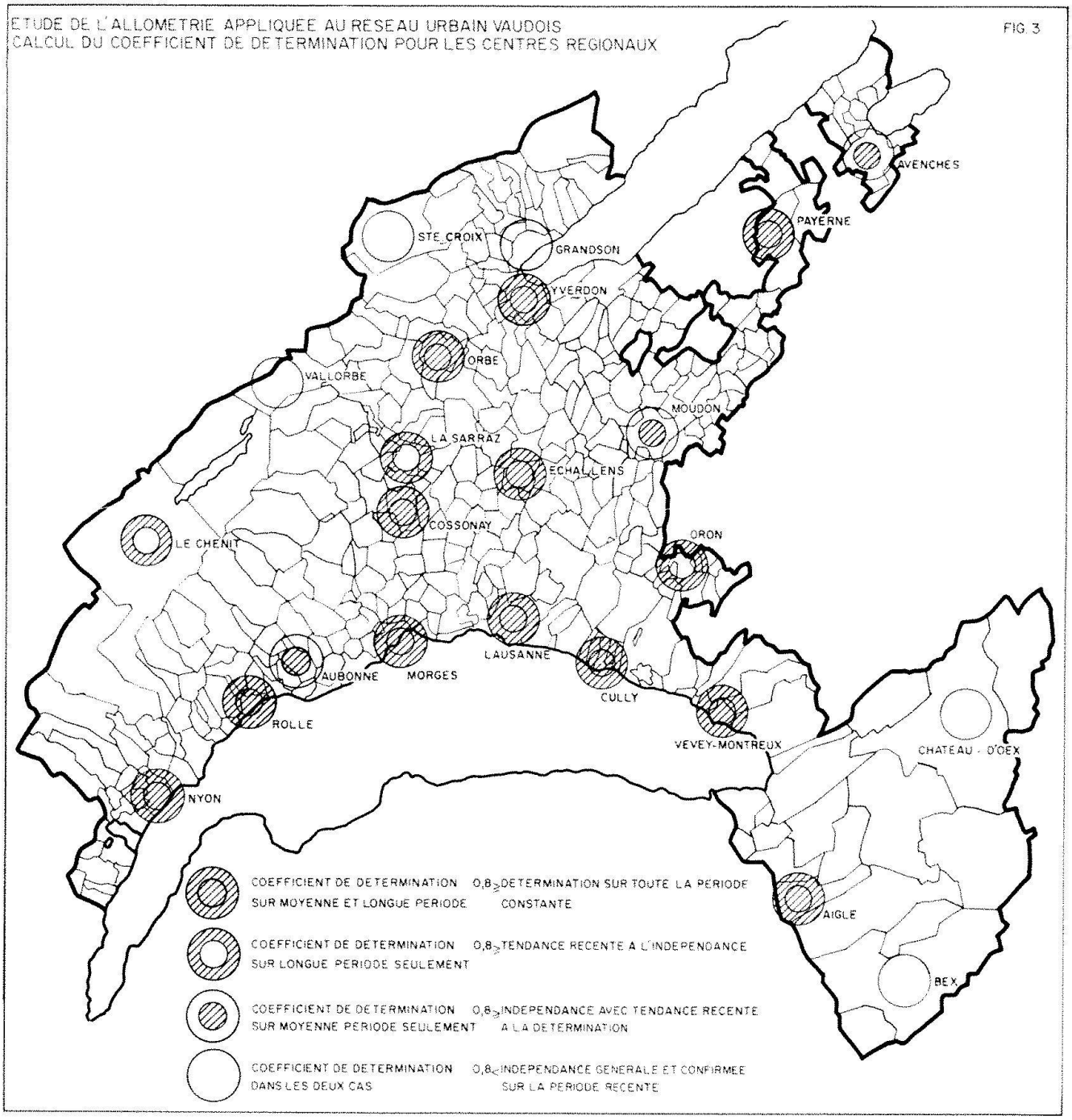


Fig. 3. Etude de l'allométrie appliquée au réseau urbain vaudois; calcul du coefficient de détermination pour les centres réginaux.

la population du canton, n'exprime pas encore le sens de leur évolution, mais révèle simplement quels sont ceux qui, statistiquement, sont dépendants ou non du tout sur une plus ou moins longue période.

On constatera d'une manière générale que l'hypothèse de l'allométrie est vérifiée pour la majorité des éléments du réseau urbain, ce qui tendrait à confirmer l'hypothèse d'une structure organique évolutive avec un processus régulier de déformation. Par ailleurs, les centres où l'allométrie ne se trouve pas vérifiée occupent des positions périphériques par rapport au canton et se trouvent au bas de la hiérarchie urbaine (centres locaux).

Evolution des centres pour lesquels l'allométrie est vérifiée.

Le coefficient d'allométrie, coefficient de proportionnalité des taux de croissance relative, exprime pour chaque centre son aptitude à

Tab. 2. Coefficient d'allometrie calculée pour les centres urbains du canton de Vaud

1803–1977 14 mesures			1950–1977 mesures annuelles		1968–1977 Taux d'elasticité	
Centres	B		Centres	B	Centres	
Aggl. Lausanne	2,231		Nyon	2,086	Echallens	+ 4,992
Yverdon	1,671		Morges	1,926	Cully	+ 3,351
Aggl. Vevey-Montreux	1,409		Aigle	1,489	Nyon	+ 2,720
Nyon	1,365		Yverdon	1,475	Morges	+ 2,212
Morges	1,332		Aggl. Lausanne	1,449	Avenches	+ 1,472
Payerne	0,932	$R^2 > 0,9$	Moudon	1,215	La Sarraz	+ 1,414
Aigle	0,923		Avenches	0,893	Oron	+ 1,375
Rolle	0,831		Aggl. Vevey-Montreux	0,854	Aggl. Lausanne	+ 0,736
Echallens	0,761		Rolle	0,854	Moudon	+ 0,330
Le Chenit	0,681		Aubonne	0,729	Aigle	+ 0,113
Cully	0,558				Aubonne	+ 0
Cossonay	0,524				Aggl. Vevey-Montreux	– 0,173
Orbe	1,011		Echallens	0,967	Yverdon	– 0,326
Oron	0,987	0,8	Cossonay	0,809	Cossonay	– 0,435
La Sarraz	0,680	R^2	Orbe	0,791	Payerne	– 0,635
		0,9	Cully	0,537	Bex	– 0,771
					Rolle	– 1,184
					Orbe	– 1,394
Bex	(*)		Bex	(*)	Château-d'Œx	– 1,513
Aubonne			La Sarraz		Grandson	– 2,722
Avenches			Grandson		Vallorbe	– 2,955
Grandson		$R^2 < 0,8$	Sainte-Croix		Le Chenit	– 3,660
Sainte-Croix			Vallorbe		Sainte-Croix	– 4,588
Moudon			Oron			
Château-d'Œx			Château-d'Œx			
Vallorbe			Le Chenit			

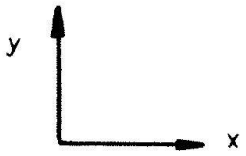
R^2: coefficient de détermination.
B : coefficient d'allométrie.
Référence: canton

obtenir ou à fournir régulièrement une certaine part de la croissance du tout au cours d'une période choisie. Alors que le premier terme de l'alternative impliquerait que l'apport est dû à des forces extérieures, le second en revanche traduit une dynamique interne aux différents éléments par rapport à l'ensemble. Le canton de Vaud ayant toujours assuré son développement grâce à l'appel à des immigrés, il paraît prudent dans un premier temps de choisir la première expression plutôt que la seconde. Il est utile à une politique d'aménagement du territoire de connaître les centres qui, à partir de 1803 et d'une façon régulière, présentent une évolution supérieure voire très supérieure à celle de l'ensemble du canton. Nœuds du réseau tirant profit des tendances à la fois sur longue et moyenne périodes, ils témoignent d'une aptitude à enregistrer constamment, pour rester le plus neutre au niveau du langage, une part de la croissance du tout supérieure à leur quota. Ce sont Lausanne, Yverdon, Morges, Nyon (fig. 4 et 5).

Aigle et Moudon présentent, par rapport au canton, une évolution supérieure sur moyenne période, alors que sur longue période, Aigle a une évolution inférieure à celle du canton et Moudon n'apparaît pas en raison de son coefficient de détermination insuffisant. Vevey - Montreux, croît plus rapidement que le canton sur longue mais faiblit sur moyenne période.

A l'opposé, Rolle, Payerne, Cossonay gardent sur longue comme sur moyenne périodes une croissance inférieure à celle du canton. Cette tendance est confirmée par l'analyse sur courte période calculée en recourant au taux d'élasticité. On constate que, durant la courte période, Rolle voit sa croissance se maintenir au-dessous de celle du canton tandis qu'Aubonne n'a pas varié de

ALLOMETRIE



population résidante des centres régionaux 1803 - 1977

y = log population centres

x = log population canton

R^2 = coefficient de détermination

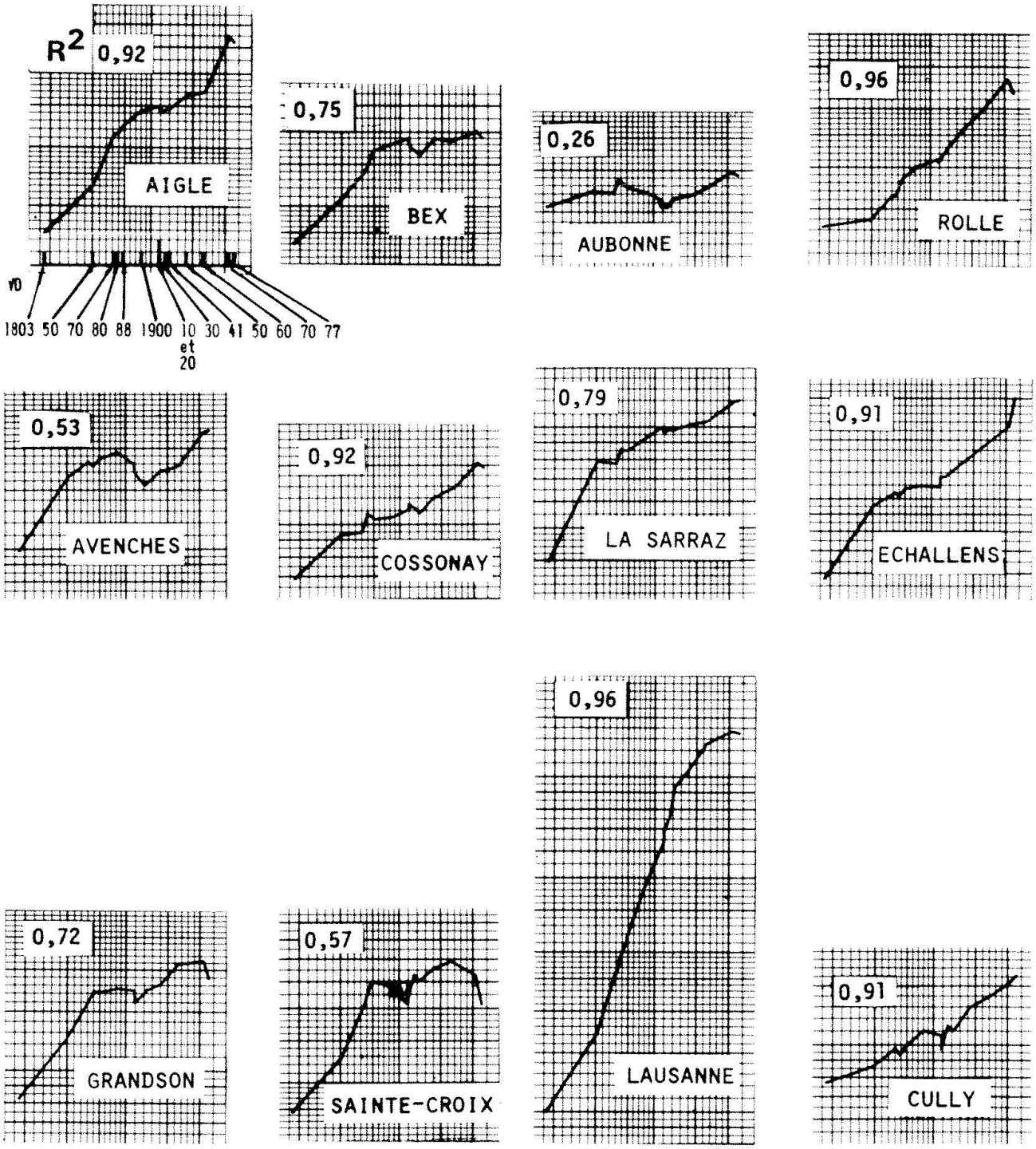
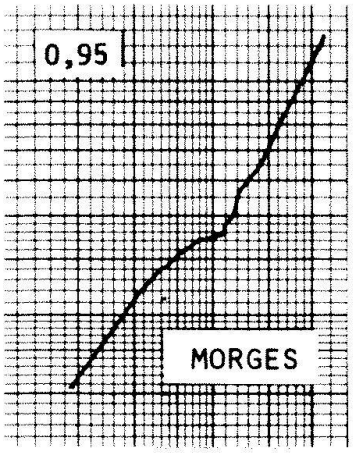
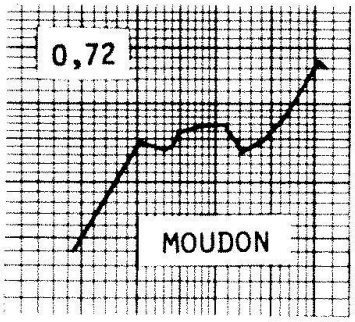
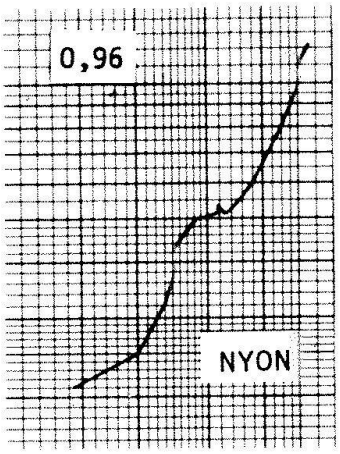
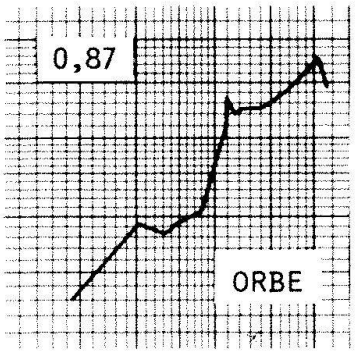


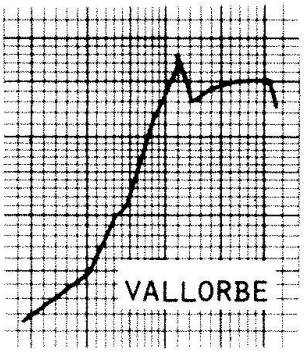
Fig. 4. Allométrie TG, 29.8.78.

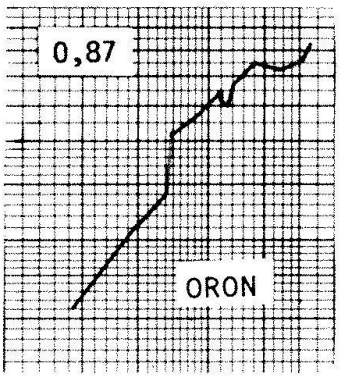

0,95
MORGES

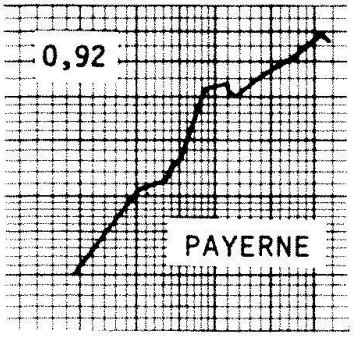

0,72
MOUDON

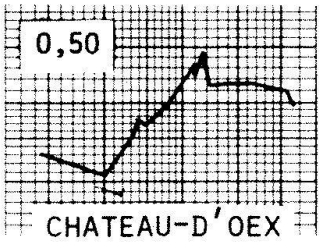

0,96
NYON

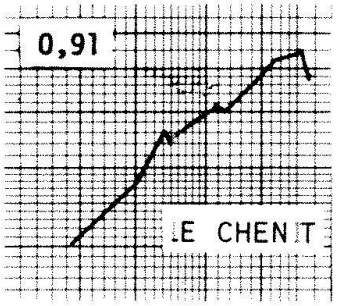

0,87
ORBE

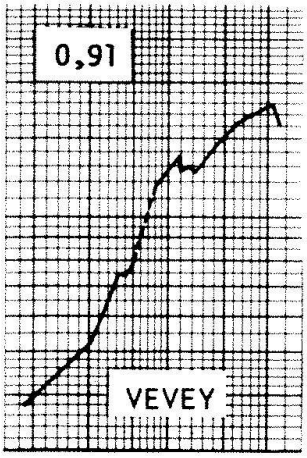

VALLORBE

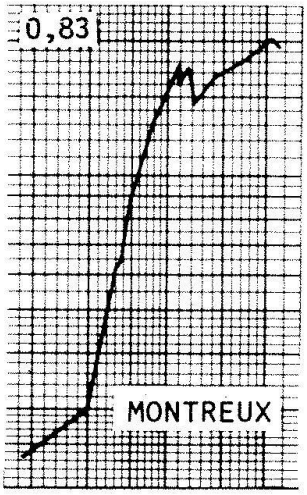

0,87
ORON

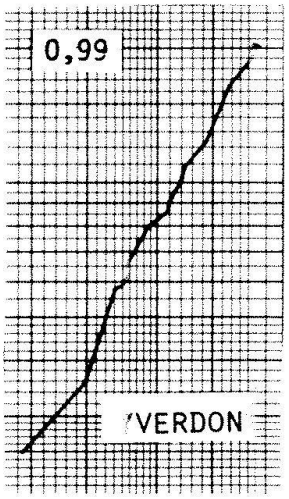

0,92
PAYERNE


0,50
CHATEAU-D'OEX


0,91
E CHENIT


0,91
VEVEY


0,83
MONTREUX


0,99
YVERDON

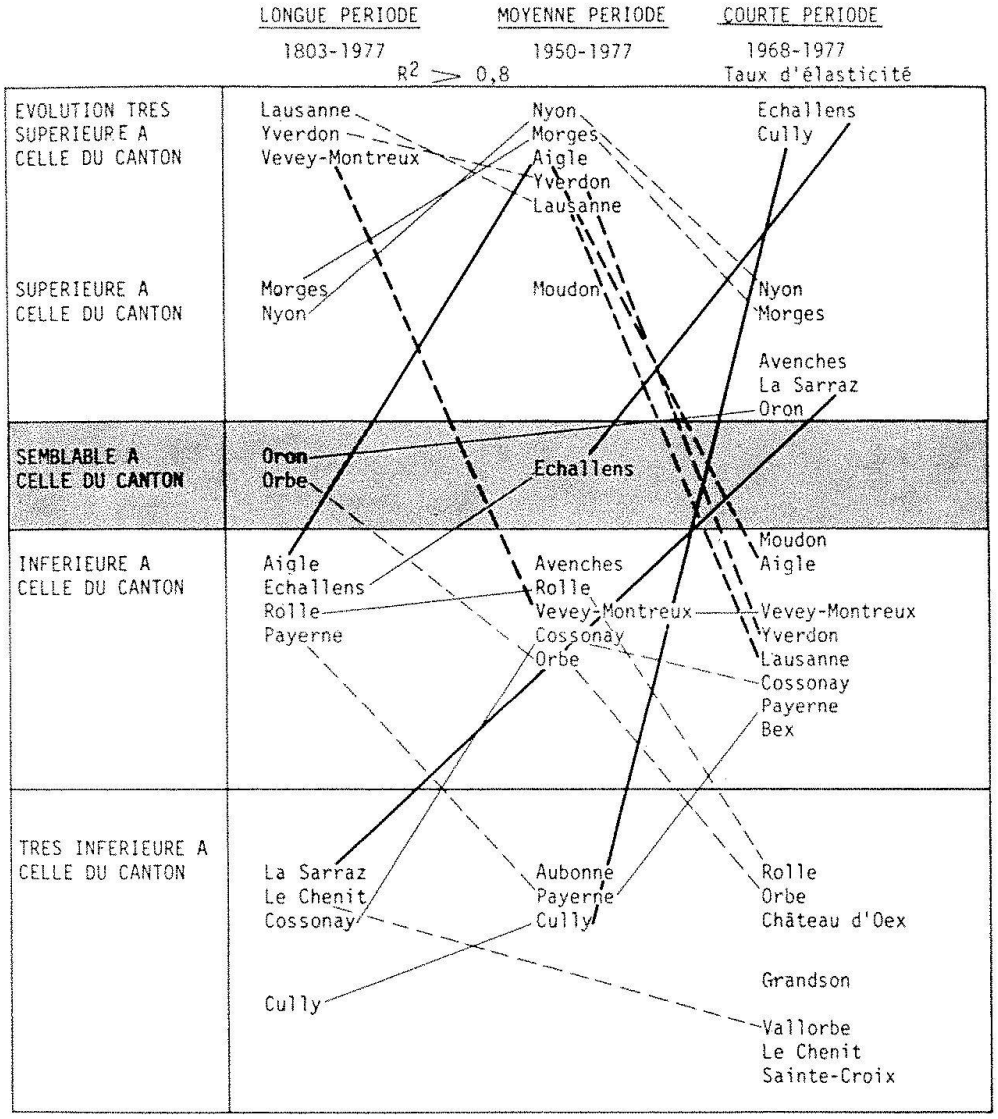


Fig. 5.
Evolution des centres.

population. Ces mesures corroborent les conclusions de l'étude de la CEAT soulignant que la liaison autoroutière entre Genève et Lausanne, ouverte en 1964, n'a pas eu d'incidences positives sur ces deux centres.
Les comportements différents pour ne pas dire opposés d'Aigle et de Payerne, pourtant proches par leur importance démographique de départ et d'arrivée, tendraient à démontrer que l'effectif à la date de base ne joue pas de rôle dans l'évolution du centre.

Mesures complémentaires

A ce stade de l'analyse les conclusions que l'on peut tirer sont encore de caractère descriptif et avouons-le bien sommaires. Elles peuvent se résumer à la mise en évidence de zones périphériques vulnérables, d'une solidarité évidente entre la majorité des centres et de points forts sur les axes principaux aux confins du territoire cantonal. A cela devrait encore s'ajouter une confrontation et une interprétation des rythmes de croissance sur moyenne et longue périodes.
Le caractère certes élémentaire de ces premières découvertes n'oblige pas à rejeter le modèle mais plutôt à faire encore d'autres investigations complémentaires permettant par exemple de dire si un développement est dû à des forces endogènes ou exogènes de manière à préciser ce que ‹l'aptitude à enregistrer une part de la croissance› veut dire.
Le bilan migratoire, naturel, les variations de l'attraction des centres à travers les mouvements pendulaires permettront de saisir la part du dynamisme de chaque centre vis-à-vis du tout mais vis-à-vis également des autres centres.
Cette préoccupation débouche directement

sur le concept d'interaction en liaison avec les notions d'équilibre et de rapports de force.

Le développement de certains centres peut-il se faire sans en affaiblir d'autres?

Le penser reviendrait à reconnaître que l'organisme constitué par le réseau urbain comprendrait divers membres dont la fonction serait à l'extrême de disparaître au profit d'autres. On pourrait multiplier les points d'interrogation au sujet de notre analogie; la tentative nous paraît suffisamment intéressante pour être poursuivie dans le sens où elle devrait permettre de tracer de manière plus précise la ligne de démarcation entre capital génétique et inertie des structures, mutations et révolutions, atrophie et déclin économiques localisés, engrammation et programmation. Les règles qui président à l'organisation de notre société et qui conduisent notamment à une urbanisation généralisée semblent moins insondables que par le passé et gagnent de plus en plus de transparence.

En contribuant à mettre en évidence les mécanismes et les acteurs qui les utilisent en comparant les résultats obtenus avec ceux qui seraient souhaitables en désignant les forces sur lesquelles il faut intervenir, ce modèle même s'il devait probablement être rejeté en dernière analyse n'aurait peut-être pas été emprunté pour rien.

Références

Racine J.-B. et Reymond H. 1973: L'analyse quantitative en géographie. Presses universitaires de France. Paris 10-11.

Bateson G. 1977: Vers une écologie de l'esprit. Editions du Seuil, Paris.

Perroud A. 1978: L'allométrie théorie et application à l'agglomération zurichoise de 1850 à 1970. Bulletin de la Société neuchâteloise de géographie No23.

Huxley J. 1932: Problems of relative Growth Methuen and Co London.

Adresse de l'auteur:

Victor Ruffy
Service de l'Aménagement du Territoire
Place de la Riponne 10
CH-1000 Lausanne

Geographie zwischen Choristik und Orthochorie – Ansätze einer methodologischen Standortbestimmung

Martin Boesch

Einleitung

In seiner Arbeit «Zwischen Theorie und Metatheorie» fordert Bartels (1970b) vom Wissenschafter in einer Periode der Pluralität, des Umbruches in den Grundvorstellungen einer Disziplin, dass er seine metatheoretische Infrastruktur bewusst gestalte und diesen konstruktiven Entscheid offenlege. Dieses Postulat hat von seiner Aktualität gewiss nichts verloren – ja, es scheint, dass die methodologische Orientierungslosigkeit eher noch grösser geworden ist, seit das Pendel zurückschwingt und die anfängliche (wohl etwas naive) Begeisterung über die ‹quantitative Revolution› (Burton 1963) gewichen ist.

Diese disziplin-interne Problematik findet ihre Entsprechung in der Verständnislosigkeit einer breiteren Öffentlichkeit innerhalb und ausserhalb der Hochschulen in bezug auf Bedeutung und Möglichkeiten unserer Disziplin. Dieses Informationsdefizit kann uns angesichts der Auseinandersetzungen um Curricula-Anteile, Forschungskredite und Positionen am Stellenmarkt bestimmt nicht gleichgültig sein. Allerdings handelt es sich weniger um eine Übermittlungspanne, die mit Imagepflege zu beheben wäre, sondern viel grundsätzlicher um ein ungenügend formuliertes Selbstverständnis, was an der Quelle zu beheben ist.

Solche oft als überflüssige, ja schädliche ‹Nabelschau› diskreditierte Standortbestimmungen sind auch in andern Disziplinen keineswegs unbekannt. Gerade in den unruhigen Zeiten, wenn ganze Wissenschaftszweige von Paradigmenwechseln heimgesucht werden, wenn geradezu revolutionäre Krisen (Kuhn 1969) am Hergebrachten rütteln, ist es unmöglich, ohne ausreichend formulierte methodologische Basis die ‹eigentliche Arbeit› (Hard 1973b) zu leisten. Die Notwendigkeit einer methodologischen Diskussion darf also nicht als Selbstzweck missverstanden werden, vielmehr hat sie durchaus instrumentellen Charakter; es gehört mit zu den Aufgaben der Hochschule, ein solches zeitgerechtes und tragfähiges Fundament zu erstellen.

Elemente einer solchen Plattform ergeben sich aus Fragen über die Disziplin, aus dem ‹Nachdenken über Geographie› (Thürkauf 1977). Bei diesem Prozess stehen die Forschungsgegenstände und die darauf angewandten Forschungsmethoden in einer engen Wechselbeziehung zueinander; sie können kaum isoliert betrachtet werden. Mit der klaren Unterscheidung von ‹Realobjekten› und ‹Erkenntnisobjekten› (Weichhart 1975), welch letztere erst durch wissenschaftliche Fragestellungen herausgearbeitet werden, gewinnt die Methodologie neue Dimensionen; sie geht weit über die eigentliche Methodik hinaus. – Dieses Problemverständnis findet seinen Ausdruck in einer Begriffsbildung, wie sie bei Hard (1973) angelegt ist:

	Methodologie	
umfasst	inhaltliche M. Thematik	formale M. Methodik
befasst sich mit	Forschungs- -Gegenstand -Inhalt	 -Methoden -Logik
entspricht Harvey's	philosophy (of geography)	methodology (of geography)

Disziplinhistorischer Exkurs

Eine methodologische Standortbestimmung wird schwerlich ohne eine disziplinhistorische Aufarbeitung auskommen; der Vorwurf der ‹reinen Kompilation› vermag allerdings dann nicht zu treffen, wenn über die Rezeption hinaus ein konstruktiver Ansatz sichtbar

wird. Es ist zu hoffen, dass auch dieser Beitrag dem hohen Anspruch einigermassen gerecht werden kann.
Mit den Arbeiten von Bartels seit 1968 und dem Geographentag Kiel wurde in der deutschen Geographie eine breite wissenschaftstheoretische Diskussion ausgelöst, eine für die Fortentwicklung der Disziplin ausserordentlich wertvolle Diskussion.
Zehn Jahre später zeigen die Kontroversen um den Beitrag von Wirth (1979) «Theoretische Geographie» (vgl. etwa Bahrenberg 1979), dass wir noch deutlich von einer Klärung der diskutierten Kernpunkte - etwa im Sinne einer Synthese, wie sie Weichhart (1975) vorgelegt hat - entfernt sind. Das wohl zentrale Thema betrifft das Landschaftsparadigma, das allerdings von Bartels und Hard untrennbar mit einem Satz verknüpft wurde, welchen ich als ‹Dualismus-Dogma› bezeichnen möchte.
Es fehlt hier die Zeit, um auf diese Diskussion näher einzutreten; die zentralen Punkte der Kritik am Landschaftskonzept hat übrigens bereits Gerling (1965) vorweggenommen; sie sind m.E. in ihrer Gültigkeit unbestreitbar. Bloss stichwortartig seien genannt:
- die ontologisierende Überhöhung, welche ‹Landschaft› als ganzheitliches Wesen, als gestaltähnliche Entität begreift; damit hängen die fruchtlosen Versuche zusammen, kleinste Landschaftseinheiten ‹objektiv› abzugrenzen.
- der All-Anspruch des Konzeptes, indem der ‹Totalcharakter› einer solchen Landschaft zum Forschungsinhalt gemacht wird; damit ist Landschaftsforschung primär nicht problemorientiert, sondern darstellungsorientiert.
- der dieser Thematik entsprechende phänomenologisch-hermeneutische Forschungsansatz, welcher wohl zum ‹Verstehen› der Landschaft, nicht aber zu kausalanalytischen ‹Erklärungen› (Dilthey) führen kann.
- die deskriptiv-idiographische Methodologie (Hettner 1927), welche zu Gebietsmonographien statt zu allgemeiner gültigen Gesetzen, Regeln und Theorien führt - ein unverzeihlicher Mangel in den Augen eines Wissenschaftsbegriffes, der auf Theoriebildung angelegt ist.
Hierin also wird man der Kritik ohne weiteres folgen können, ja notwendigerweise folgen müssen; dies läuft auf die Abschaffung des Landschaftskonzeptes hinaus. Wir werden sehen, was an seine Stelle treten kann. Nebenbei sei angemerkt, dass damit auch die Länderkunde zur Diskussion gestellt ist.
Nun aber erscheint mit der Kritik am Landschaftskonzept und mit seiner Ablehnung wie oben erwähnt das Dualismus-Dogma aufs engste gekoppelt, etwa wenn Bahrenberg seine Kritik an der Wirthschen Auffassung zusammenfassend schliesst mit den Worten: «.. wir stehen heute noch vor den gleichen Alternativen, die Bartels 1968 deutlich aufgezeigt hat: entweder klassische Länderkunde oder (..) Zweiteilung des Faches (..). Ein ‹goldener Mittelweg› ist (..) nicht in Sicht» (1979, 156). - Nach dieser Auffassung sollen Natur- und Sozialwissenschaften durch derart kategoriale Unterschiede (etwa in der ihnen inhärenten Kausalität) getrennt sein, dass es unmöglich sei, sie durch wissenschaftliche Fragestellungen sinnvoll zu verknüpfen. Nicht etwa institutionelle Hindernisse trennen also diese beiden Bereiche, sondern unüberwindbare erkenntnistheoretische Schranken. In logischer Folge dieser These wird die vollständige Trennung der Disziplin in eine Geographie des Menschen und eine physische Geographie gefordert.
Demgegenüber wissen wir heute, dass die im ausgehenden 19. Jahrhundert postulierte scharfe Dichotomie von Natur- und Geisteswissenschaften, von ‹Naturplan und Wirtschaftsplan› (Bartels 1968, 152), gerade aus methodologischer Sicht stark relativiert erscheint. So rigorose Disziplinen wie die Theoretische Physik anerkennen die Gültigkeit nicht nur deterministischer sondern auch probabilistischer Gesetze; und umgekehrt wenden sich die Sozialwissenschaften vermehrt der Theoriebildung zu. Innerhalb vieler etablierter Disziplinen wird ein ‹Methodenstreit› ausgefochten zwischen idiographischen und nomothetischen, zwischen deskriptiven und explikativen Positionen (vgl. etwa Cody/Diamond 1975, 7). Es wurde von den Vertretern des Dualismus-Dogmas nie genügend begründet, weshalb gerade in der Geographie diese Trennlinie nicht auch quer zu den hergebrachten Abteilungen verlaufe, sondern diese im Gegenteil scharf trennen soll.
Von einer ganz andern Seite her wird das Dualismus-Dogma aber noch viel stärker erschüttert: Die ganz praktischen Fragen der

Umweltforschung, die immer dringender gestellt werden, aber auch eine neu artikulierte anthropologisch-ökologische Ethik, eine neue Form der Gesellschaftskritik, (er)fordern das Denken in Zusammenhängen, stellen sich gegen die bisher praktizierte Aufspaltung der Lebensbereiche, eine Abkoppelung der Gesellschaft von der Natur. Es erscheint paradox, nach dem Rezept von Bartels in einer ‹vernetzten Welt› (Vester 1978) auf Trennung zu bestehen. Gesellschaft-Wirtschaft-Umwelt sind Teile eines ökonomisch-ökologischen Systems, die nicht ohne (heute erkennbaren) Schaden voneinander isoliert werden können.

Wenn also solche Beziehungen zwischen Teilsystemen bestehen, dann müsste es auch erlaubt sein, Fragen über solche Beziehungen und Wechselwirkungen zu stellen. Es ist nicht einsichtig, weshalb solches Zusammenhangsdenken nicht auch auf wissenschaftlicher Ebene betrieben werden könnte! Konsequenterweise ergeben sich aus solchen Fragestellungen neue Erkenntnisobjekte, die eine Disziplin zu begründen vermögen. Dabei muss uns allerdings klar sein, dass sowohl von ökonomischer wie auch von biologischer Seite diese ‹Marktlücke› seit einiger Zeit mit Erfolg bearbeitet worden ist (vgl. etwa Buchwald 1972, Lauschmann 1973, Tomasek/Haber 1974, Kumm 1975, Tschumi 1976). Es kann hier aber gar nicht darum gehen, für die Geographie eine neue Domäne abzugrenzen. Der institutionelle Rahmen solcher über hergebrachte Fachgebiete integrierende Fragestellungen kann hier völlig offen bleiben, auch die Probleme der Ausbildung, die sich möglicherweise daraus ergeben könnten. Von fundamentaler Bedeutung ist vielmehr die Einsicht, dass auch bei völligem Verzicht auf das Landschaftskonzept eine ganze Klasse von Problemen besteht, welche die Grenze zwischen ‹Naturplan und Kulturplan› überspannen, Probleme, welche einer wissenschaftlichen Bearbeitung bedürfen und dafür auch zugänglich sind, wie z. B. das MAB-Programm eindrücklich gezeigt hat (Messerli/Messerli 1979, Heinzmann 1979).

Die Absage an integrative Forschungsansätze (eine der Wurzeln geographischen Denkens) lässt sich also weder wissenschaftstheoretisch (über die Ablehnung des Landschaftskonzeptes) noch forschungspraktisch begründen. Als Motivation verbleiben hochschulpolitisch-institutionelle Gründe, die hier nicht weiter interessieren.

Man könnte diese Auffassung allerdings auch ideologiekritisch hinterfragen: Wer hat denn ein Interesse an der Abkoppelung von Natur und Gesellschaft? Doch wohl ein ökonomistisch überhöhter Zeitgeist, dem anthropologische und ökologische Einsichten in das destruktive Tun des wirtschaftlichen Teilsystems unbequem sind! Soll nicht die Geographie, statt dieser Auffassung zu dienen, hier eine neue Verantwortung, eine neue Rolle übernehmen?

Die Diskussion über die Aufgabenstellung der Geographie beschränkt sich nun allerdings keineswegs nur auf den deutschen Bereich, wie dies auf den ersten Blick vielleicht scheinen möchte. Vielmehr kennen sowohl die französische (Isnard 1978, Bailly et al. 1978), wie auch die englische (Fisher 1977) und die russische Geographie (Anuchin 1977) ähnliche Auseinandersetzungen.

Sehr klar hat Taaffe (1974) Entwicklung und aktuellen Stand der methodologischen Diskussion für die USA zusammengefasst: drei Richtungen oder Schulen haben im Laufe der Zeit wechselnde Bedeutung erlangt (und auch wieder verloren), nämlich der ‹regional›, der ‹ecological› und der ‹spatial view›, sinngemäss wiederzugeben mit ‹Landschaftskunde›, ‹Mensch-Umwelt-Beziehungen› und ‹räumlich-geometrische Studien›.

Wenn auch der ‹spatial view› in den 50er und 60er Jahren im angelsächsischen Bereich stark dominierte, und als ‹Theoretische Geographie› geometrischer Prägung (Bunge 1962) bemerkenswerte Ergebnisse erzielte, so stellte man doch allmählich fest, dass Geometrie kein Ersatz für kausale Erklärungen ist, und dass die ‹ecological dimension› (Chappell 1975), nämlich das Zusammenhangsdenken, vernachlässigt wurde.

Und so fordern heute so prominente Vertreter der ‹geometrischen› Schule wie Chorley (1973), Berry (1973) oder Hägerstrand eine vermehrte Zuwendung zu dieser Art von Untersuchungen ‹integrativer Art›, um die «interaction between Nature and Society» besser zu verstehen und auch beeinflussen zu können. Hägerstrand fährt fort: «This means also (..) to restore the links (..) between the biophysical and the human branches of geography (..). Geography has lost much pre-

cious time by letting this separation happen» (1976, 329f)!

Im Gegensatz zu Bahrenberg (1979) erkennen wir also *drei* Wurzeln der geographischen Methodologie, wovon zwei, nämlich der ‹spatial› und der ‹ecological view› heute die tragfähige Basis für die Disziplin abgeben, während das Landschaftskonzept fallengelassen werden muss. – Wir werden später sehen, dass damit die bereits bei Hettner (1927, 130) genannten zwei Grundzüge der Geographie, nämlich das «Verschiedensein von Ort zu Ort» und das «Zusammenwirken an einer Erdstelle» wiederaufgenommen werden.

Die wissenschaftstheoretische Analyse muss nun aber noch einen Schritt weitergeführt werden, damit die aktuelle Meinungspluralität und auch die Fortentwicklung der Disziplin verständlich werden. Die Gliederung der Geographie in eine ‹regional›, ‹ecological› und ‹spatial› Richtung erweist sich nämlich als rein nominalistische Systematik ohne weiteren Erklärungswert. Dies wird besonders deutlich beim Versuch, diese Ausdrücke angemessen ins Deutsche zu übertragen. Ihr Zusammenfliessen im Begriffsfeld ‹räumlich – Raum – Raumwissenschaft› führt dazu, über eine differenzierte Auffassung des Raumbegriffes und eine konsequente Anwendung der Dreistufigkeit wissenschaftlichen Arbeitens ein brauchbares Ordnungsraster zu entwickeln, indem diese beiden Kategorien ‹Raum› und ‹wissenschaftliches Arbeiten› gleichsam die Koordinatenachsen des Rasters bilden.

Diese Orientierungshilfe wird uns auch in die Lage versetzen, Ansätze in der Geographie normativ zu bewerten, d. h. Aussagen zu machen darüber, welche Forschungsrichtungen als besonders bedeutungsvoll betrachtet werden müssen.

Bemerkungen zum Raumbegriff

Wenn Geographie als Raumwissenschaft aufgefasst werden soll, so sind zunächst klärende Bemerkungen zum Raumbegriff notwendig. Bartels hat auf die ‹Schwierigkeiten mit dem Raumbegriff› (1974), auf die Vielschichtigkeit und den Bedeutungswandel dieses für die Geographie zentralen Terminus hingewiesen. Tatsächlich lassen sich wesentliche Aspekte dieser Begriffsvielfalt ordnen, indem grundsätzlich zwischen drei Stufen der Dimensionalität von Raum, und zwei Qualitäten von Raum unterschieden wird.

Auf die zwei Qualitäten von Raum, nämlich die ‹objektive› und die ‹empirische Realität› (Pöschl 1965), ‹absolute› und ‹relative space› (Abler et al. 1972) oder ‹Standardraum› und ‹Relativraum› sei hier nicht näher eingetreten, sondern wir wenden uns direkt den drei Stufen der Dimensionalität zu.

Die unterschiedlichen Auffassungen werden uns zunächst an zwei Beispielen klar: während im Hauptbericht der Arbeitsgruppe des Bundes für die Raumplanung steht, Raum sei als Lebensraum oder Umwelt des Menschen «mehr als ein sichtbares Stück Erdoberfläche»; «physische Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft sind eng miteinander verflochten. Diese Verflechtungen werden mit dem Begriff ‹Raum› ebenfalls erfasst» (1970, 28), wendet sich z. B. Winkler ausdrücklich gegen diese Begriffsauffassung, indem er sagt: «In Wirklichkeit wird jedoch nicht der ‹Raum› sondern es werden die Dinge (..) im Raum (..) geordnet», denn «an sich bedeutet Raum (..) die ‹Leere›, ‹Weite›, den Platz, der mit materiellen Dingen gefüllt werden kann» (1973, 8).

Weder gegen die eine noch gegen die andere zitierte Auffassung von Raum, die hier stellvertretend aufgeführt wurden, sei etwas eingewendet (wir nehmen sie als Möglichkeit zur Kenntnis), wohl aber gegen die ontologisierende Überhöhung und die apodiktische Feststellung, was Raum denn nun tatsächlich ‹in Wirklichkeit› sei. Damit werden andere Auffassungen als ‹falsch› etikettiert, was sprachlogisch unzulässig ist. Hard (1973) hat darauf hingewiesen, dass solche ‹Was-ist-eigentlich?›-Fragen überhaupt zu vermeiden seien, weil sie am Problem vorbeigehen.

Wenn wir eine grosse Zahl solcher Quellen sichten und zu ordnen versuchen, so erkennen wir allmählich die bereits genannte Dreigliederung: wir unterscheiden d-Raum, f-Raum und p-Raum (Tab. 1).

Ihre wesentlichen Charakteristika gehen aus der Übersicht hervor: Im Sinne einer Begriffserweiterung wird aus der rein distanziellen Grundkategorie, dem Raum als ‹dimensionalem Behälter› (Harvey 1969, Bartels 1974), welcher sachdimensional nur einschichtig gefüllt ist, zunächst eine statisch

Tab. 1. Die drei Dimensionalitäts-Stufen des Raum-Begriffs.

Bezeichnung	Charakteristikum	wesentlicher Aspekt von ‹Raum›	Dimensionalität, beteiligte ‹abstrakte Kategorien›	Umschreibung	Abbildung	Begriffsfeld
d-Raum	Distanz	distanziell	Raum	Behälter	Punkt-Karte	Lage abstrakter Raum binäres Areal lat. ‹spatium›
f-Raum	Ausstattung	formal	Sach-Raum	Realstruktur	Luftbild topogr. Karten VH-Matrix	Naturraum/ Kulturraum Landschaft* Gestalt frz. ‹paysage› engl. ‹scenery›
p-Raum	Prozesse	prozessual	Sach-Raum-Zeit	Geosystem	Strukturdiagramm, DYNAMO	Erdraum Wirtschaftsraum Lebensraum Wirkungsgefüge Ökosystem Mensch-Umwelt-System ökon.-ökol. System Prozessfeld

*) im Sinne von [1]Landschaft (G. Hard 1970/28)

abbildbare, formale ‹Realstruktur› (Hartke 1975), indem der d-Raum mit seiner Ausstattung, so etwa ‹Wälder, Siedlungen und Strassen› (Schweiz. Bundesrat 1978), in *einem* Begriff zusammenfliesst. In gewissem Sinne werden hier Anklänge an ‹Landschaft› sichtbar, soweit diese als ‹Verschmelzung von Gestalt und Raum› (Uhlig 1956) aufgefasst wird.

Die dritte Stufe von ‹Raum› ergibt sich aus der Dynamisierung des statischen f-Raumes. «Alle Raumbegriffe der Geographie sind keine Räume in statisch-formalem Sinne, sondern vielmehr immer sach-raum-zeitliche Begriffe, (..) dynamische Gebilde ..» (Schmithüsen 1976, 38). Dieser prozesshaft verflochtene Raum, der ‹Raum als Prozessfeld› (Ruppert 1979) ist gekennzeichnet durch die dynamische Komplexität eines auch den Menschen umfassenden Ökosystems oder Geosystems (Weichhart 1975), bzw. eines ‹regionalen Systems mit (..) ökologischen Zusammenhangsbezügen› (Bartels 1968, 151).

Der Systembegriff und die damit verbundene Methodik erweisen sich als die adäquaten Werkzeuge, um solche p-Räume wissenschaftlich zu bearbeiten. Als entscheidender Unterschied zum Landschaftskonzept muss ganz klar betont werden, dass ein Geosystem problemorientiert verstanden wird, dass die erfassten Elemente aufgrund der Problemlage selektiv gewählt wurden, entsprechend ihrem maßstabsrelevanten Einfluss auf das Systemverhalten. – Auf die unterschiedlichen Abbildungsmöglichkeiten für die drei Raumklassen wie auch auf die zugehörigen Begriffsfelder sei hier nicht näher eingetreten; verschiedene dort aufgeführte Ausdrükke wurden kurz gestreift.

Zusammenfassend halten wir zunächst eine paradoxe Tatsache fest:

Raum trennt, und Raum verbindet!

Sowohl die Distanz zwischen den Dingen, Ereignissen, Örtlichkeiten fassen wir als räumliche Wirkung auf, wie auch das Zusammentreffen von Einflüssen an einer Erdstelle. Beide Wirkungsarten des Raumes sind uns geläufig, sie können oft nur schwer auseinandergehalten werden.

Zusammen mit dem Entscheid, ob die Zeit, ob dynamische Abläufe im Raum in die Betrachtung miteinbezogen werden sollen, ergeben sich die dargelegten unterschiedlichen Begriffsinhalte von ‹Raum›:

		statisch	dynamisch
Raum	trennt	d-Raum	
	verbindet	f-Raum	p-Raum

Während beim d-Raum das trennende Element der Distanz, die räumliche Verteilung, im Vordergrund steht, dominiert beim f-Raum und beim p-Raum der Eindruck des Zusammenwirkens, der Koinzidenz, sei es statisch-formal, sei es dynamisch-prozessual.
Diese Dreigliederung korrespondiert mit verschiedenen anderen methodologischen Begriffsgruppen, so etwa mit der schon erwähnten thematischen Gliederung der Geographie in ‹spatial/locational analysis – regional analysis – ecological analysis› (Haggett 1973, 219, Taaffe 1974), oder mit den drei ‹Kausalbereichen: topologisch – synchorisch – synergetisch› (Neef 1967, 130f), was sinngemäss etwa wiedergegeben werden kann mit ‹Verbreitung und Wandel einzelner Komponenten (Catena-Prinzip)›, ‹unverknüpftes Nebeneinander-Vorkommen im gleichen Gebiet› und ‹Zusammenspiel der Erscheinungen im Wirkungsverband›. Synchorisch/synergetisch entspricht in etwa auch dem Begriffspaar formal/funktional.

Stufen wissenschaftlichen Arbeitens

Wenden wir uns nun der zweiten Achse unseres Orientierungsrasters, zu, den Stufen wissenschaftlichen Arbeitens.
Jede wissenschaftliche Tätigkeit ist zunächst ein Versuch, etwas Ordnung in die Mannigfaltigkeit unserer Erfahrungswelt zu bringen. Dieser Erkenntnisprozess wird als mehrphasiger Ablauf dargestellt, wobei jede Stufe notwendige Voraussetzung für die nächste Stufe ist.
Die traditionelle Auffassung unterscheidet zwischen ‹Beschreibung› und ‹Erklärung›, zwischen ‹description› und ‹explanation› (Abler et al. 1972), letzteres also das Zurückführen von Sachverhalten auf ihre Ursachen. Während die Beschreibung, das Ordnen und Klassifizieren, als propädeutische Leistung gilt, wird das Formulieren von allgemein gültigen Theorien zur Erklärung spezifischer Ereignisse (und daraus abgeleitet die Fähigkeit, Ereignisse oder Sachverhalte vorauszusagen) als das eigentlich konstituierende Element von ‹Wissenschaft› betrachtet, ganz nach dem Motto: «All science is theory!» (Harvey 1969).
Diese am naturwissenschaftlichen Vorbild entwickelte Meinung war in den Sozialwissenschaften nicht unbestritten; diese sind aber mit der Ausweitung des engen deterministischen Ursache-Wirkungs-Schemas ebenfalls in zunehmendem Masse theoriebewusst geworden. Probabilistische Ansätze vermögen stochastische Ereignisse mit ihrem begrenzten Spielraum von Zufall oder Unsicherheit adäquat zu erklären.
Interessanterweise ist es nun gerade eine Sozialwissenschaft, die Nationalökonomie, die schon seit jeher über diese beiden Stufen der Beschreibung und Erklärung hinausging, und die normative Stufe als ihr eigentliches Ziel betrachtet hat (Lösch 1944). Dies bedeutet, dass eine tatsächliche Entwicklung, ein gegebener Zustand, an Normen oder Bewertungsmaßstäben gemessen und beurteilt wird. Es wird also eine Diagnose, ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt.
Die normativen Zielsetzungen sind ausserwissenschaftlich, d.h. gesellschaftlich-politisch, vorgegeben; die Wissenschaften selbst können dabei die Diagnose durchführen und auch aufzeigen, welche Konsequenzen sich aus bestimmten Zielsetzungen ergeben. Aus der Einsicht in die Prozesszusammenhänge ergibt sich ferner als wichtiger wissenschaftlicher Beitrag das Aufzeigen von konkreten Massnahmen, welche zur Zielerreichung eingesetzt werden können. Normative Ansätze sind also letztlich immer entscheidungsorientiert.
Die Einschätzung der Wünschbarkeit, ja Notwendigkeit dieser dritten, normativen Stufe ist kontrovers. Dem traditionellen Ideal einer ‹wertfreien›, gleichsam neutralen Wissenschaft steht auch in der Geographie die neue Überzeugung gegenüber, dass Praxisrelevanz letztlich nur auf dieser Stufe der Auseinandersetzung mit Normen, Zielsetzungen und problemadäquaten Massnahmen erreicht werden kann; die Wissenschaft dürfe sich dieser Herausforderung der Praxis auf die Dauer nicht entziehen, ohne an Bedeutung zu verlieren. So meint etwa Berry: «such an extension implies a focus on directive or purposive behavior which *at its highest level* brings us into the world of policy and social action» (1973, 11). Ein solches

‹involvement› wird also nicht etwa als Abstieg in die Niederungen des Alltages verabscheut, sondern als Krönung der Disziplin verstanden.

Diese dritte, normative Stufe der Bewertung muss sich auf die Ergebnisse der Beschreibung und Erklärung abstützen. Die drei Stufen erscheinen damit als aufeinander aufbauende Phasen des wissenschaftlichen Arbeitens, darüber hinaus aber auch als Phasen eines sich erweiternden Wissenschaftsverständnisses.

Diese Überlegungen führen uns zu einem linearen Ablaufmodell (Fig. 1), welches die einzelnen Stufen noch etwas differenziert und aufzeigt, welche Eingaben notwendig sind; diese Prozeßschritte können mit ‹Modellen› in Beziehung gebracht werden, handelt es sich doch immer um Abbildungen unter ganz bestimmten Aspekten.

Nun erkennen wir klar die Zielrichtung wissenschaftlicher Ansprüche: auf jeder Stufe will man möglichst weit gehen, also z. B. von atomistischen Bestandesaufnahmen über verbale Beschreibung zu einer formalisierten Darstellung. – Zudem besteht die Tendenz, die nächsthöhere Stufe anzustreben; dabei ist möglicherweise ein Verlust an Formalisierung in Kauf zu nehmen. Man muss also abwägen, ob man etwa einen hohen Formalisierungsgrad in der Beschreibung, einen lediglich rudimentären Erklärungsansatz, oder gar spekulative Diagnosen und Prognosen anstreben will. – Dabei darf man nie statistische Korrelation mit Kausalität verwechseln. Kausale Zusammenhänge können nur über sachlogische Argumente gefunden werden. Es wird sich auch zeigen müssen, welche Stufen überhaupt auf die einzelnen Raum-Kategorien sinnvollerweise anwendbar sind.

Raumwissenschaftlicher Orientierungsraster

Fügen wir die beiden diskutierten Achsen – Raumbegriffe und Stufen wissenschaftlichen Arbeitens – zum vollständigen raumwissenschaftlichen Orientierungsraster zusammen (Tab. 2), so wird es möglich, die Stellung einzelner ‹Geographien›, einzelner Forschungsrichtungen innerhalb der Geogra-

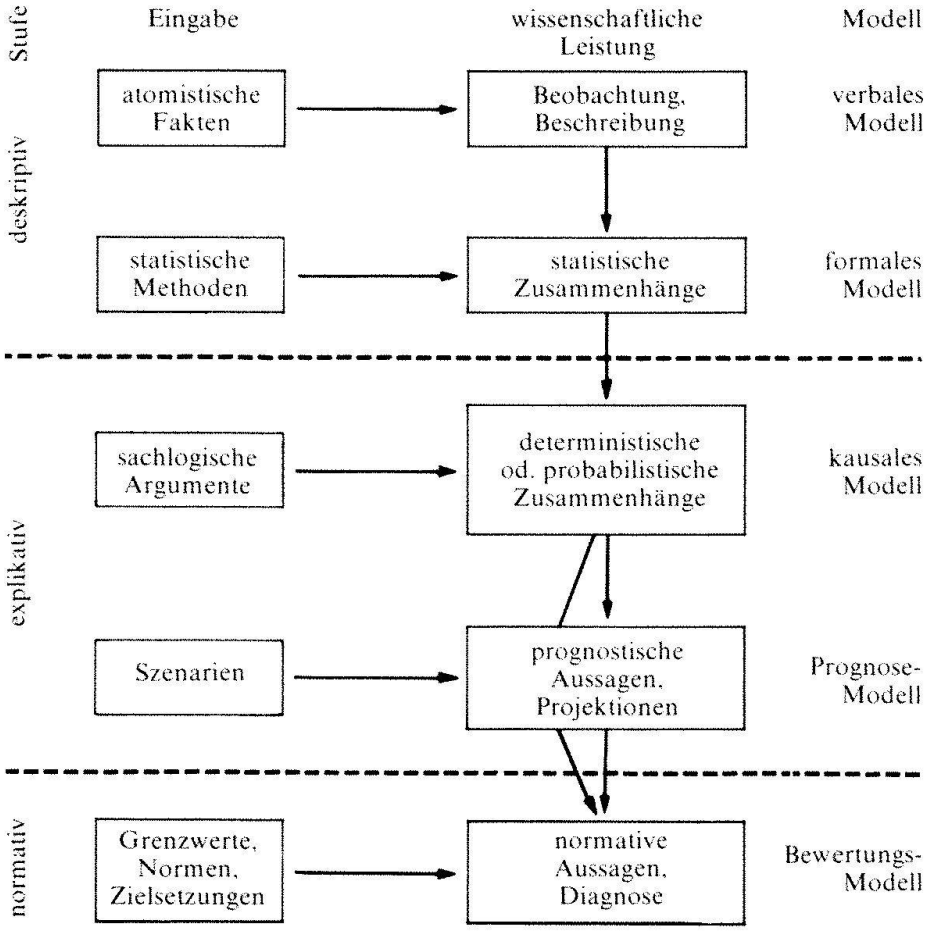


Fig. 1. Stufen des wissenschaftlichen Arbeitens.

Tab. 2. Raumwissenschaftlicher Orientierungsraster.

Stufen des wissenschaftlichen Arbeitens				
normativ				Orthochorie (= normative Chorologie)
explikativ	formalisiert ↑ verbal		Chorosophie	(System-)Chorometrie funktionale Chorologie
deskriptiv	formalisiert ↑ verbal ↑ atomistisch	Topometrie formale Chorologie Choristik	formale Chorometrie Chorographie (= Kosmographie)	
Dimensionalität Sachdimensionen		d-Raum einschichtig	f-Raum mehrschichtig	p-Raum Mensch-Umwelt
Kausalbereich (Neef 1967/130f)		topologisch	synchorisch	synergetisch
wissenschaftliche Leistung		‹messen›	‹beschreiben› ‹verstehen›	‹erklären› ‹bewerten›
Haggett 1973/219 Taaffe 1974		spatial/locational analysis	regional analysis	ecological analysis

phie zu bestimmen, und ihre Entwicklungsmöglichkeiten zu erkennen.
Dabei ist unter ‹Forschungsrichtungen› nicht etwa die traditionelle, sektorale Gliederung der Geographie nach Sachgebieten angesprochen (Mori 1977, 187), sondern eine Differenzierung von Fragestellungen nach ihrem methodologischen Stellenwert. Sachdimensional erweisen sich diese Fragestellungen als völlig offen; sie können mit entsprechendem Inhalt ausgefüllt werden.
Auf einen wichtigen Punkt bei der Ordinatenachse des Rasters ist nochmals speziell hinzuweisen: die Pfeile zeigen den Anspruch auf Wissenschaftlichkeit an; jedenfalls nach der heute geltenden Auffassung soll Wissenschaft ja letztlich immer das Zurückführen auf Theorien, auf (zumindest formale) Gesetze leisten. – Es sei aber nochmals ausdrücklich daran erinnert, dass etwa im 19. Jahrhundert oder auch heute unter bestimmten Randbedingungen, z. B. in der Dritten Welt, bereits das Beobachten, Ordnen und Klassifizieren von Sachverhalten eine hervorragende wissenschaftliche Leistung darstellen kann. Es kann auch kaum darum gehen, einzelne Arbeiten an diesem Wissenschaftlichkeitskriterium zu messen, weil ja immer Vorleistungen erbracht werden müssen, auf denen man weiter aufbauen kann. Höchstens ein ganzer abgerundeter Korpus von Arbeiten, sei es eines einzelnen Fachvertreters, einer ganzen Schule oder eines Institutes, dürfen an diesem Anspruch gemessen werden.
Und nun zu den einzelnen Begriffen in unserem Orientierungsraster: Unter *Choristik* (griech. chore = Gebiet, Raum) ist das Ordnen eines ‹Basisbereiches› nach der Lage der einzelnen Elemente (Bartels 1968, 87ff), also die Lagebestimmung von Objekten, Sachverhalten oder Ereignissen zu verstehen. Dabei gehören diese nur einer Sachkategorie, einer Klasse an; es handelt sich um ein einschichtiges, sachlich eindimensionales Ordnungsmuster, welches eine Abbildung als Punktkarte zulässt. Als Beispiel sei etwa eine Weltkarte (oder auch ein Verzeichnis mit Lagekoordinaten) aller Millionenstädte genannt. – Die Objektklasse kann auch unterteilt werden, in unserem Beispiel entspricht dies also der Gliederung von Städten

nach ihrer Einwohnerzahl. – Es resultieren ‹Areale› mit leeren und (allenfalls unterschiedlich stark) besetzten Stellen.

Die Choristik beinhaltet also eine traditionelle Aufgabe der Geographie, die klassengebundene (nicht totale!) Bestandesaufnahme über ein bestimmtes Gebiet hinweg, die Feststellung des ‹Wo-der-Dinge› (Marthe 1877). Diese elementare Aufgabenstellung mag heute simpel erscheinen; jedenfalls kann sich Geographie wohl kaum darin erschöpfen, besonders auch, weil immer mehr Disziplinen die Bedeutung der d-räumlichen Dimension in ihren Problemstellungen erkannt haben und ebenfalls mit dem choristischen Ansatz operieren (Fischer 1969). – Hettner weist übrigens die choristische Betrachtung eindeutig den ‹systematischen Wissenschaften› als Aufgabe zu! (1927, 123).

Aus einer choristischen Datenaufbereitung lässt sich eine chorologische Aussage ableiten: aus der Analyse der Punktverteilung, der Arealbesetzung, gewinnt man verbal gefasste Regelhaftigkeiten, etwa im Sinne des ‹Geographischen Formenwandels› (Lautensach 1952). Die *Chorologie* beinhaltet also Gesetzmässigkeiten distanzieller Zusammenhänge; solche Theorieansätze sind allerdings nicht erklärender Art, sondern (nur) beschreibender Art. Distanz ist kaum je wirkliche Ursache eines Formenwandels, vielmehr liegt dieser in inneren, sachlogischen Zusammenhängen begründet, so etwa in Kosten und Unannehmlichkeiten, die man für Distanzüberwindung in Kauf nehmen kann oder will. Ändern sich z. B. die Transportmittel, dann ergibt sich eine ganz neue Distanzabhängigkeit. Distanzielle Zusammenhänge sind damit Abbildungen der tatsächlich verursachenden Kräfte, der effektiv unabhängigen Variablen, welche aber bei dieser Betrachtung im einschichtigen d-Raum gar nicht ins Kalkül eingehen. Diese Art der Chorologie soll deshalb zur Unterscheidung *formale Chorologie* heissen. Sie entspricht auch nur der einen Seite der ‹chorologischen Auffassung› (d.h. Betrachtungsweise, d.Verf.), die Hettner unterscheidet, nämlich der «Verschiedenheit von Ort zu Ort» (1927, 129). Auf die ergänzende zweite Seite der ‹chorologischen Auffassung›, den «ursächlichen Zusammenhang der an einer Erdstelle vereinigten (..) Erscheinungen» ist später zurückzukommen. Es ist bemerkenswert, dass Bartels (1968) diesen zweiten Aspekt vollständig beiseite lässt.

In einem weiteren Formalisierungsschritt lassen sich aus formal-chorologischen Regelhaftigkeiten, etwa der Beschreibung von Punktverteilungen (‹Dispersion – dezentralisierte Konzentration – Zentralisation› Boustedt 1975, III-298) quantitativ gefasste Aussagen ableiten: die Lage der einzelnen Stellen (Punkte) wird eingemessen und die Lagebeziehungen werden durch einen Index ausgedrückt. Diese höchste Stufe der Beschreibung soll deshalb *Topometrie* heissen (griech. topos = Ort).

Das wohl bekannteste Beispiel hierfür ist die ‹nearest neighbor›-Methode (Bahrenberg/Giese 1975, 86ff); daneben sei etwa an Entropiemodelle, zentrifugale Gradienten oder Trendoberflächen erinnert. Im Zuge der ‹Quantitativen Revolution› hat die Bedeutung solcher topometrischer Ansätze enorm zugenommen. Nichtsdestoweniger gilt es auch hier festzuhalten, dass damit noch keine eigentlichen Erklärungen gefunden werden, sondern Indizien, die in weitergehenden mehrschichtigen Kausalanalysen verwendet werden können.

Chorographie (oder Kosmographie) ist eine der traditionellsten Aufgaben innerhalb der Geographie, und sie gilt in weiten Kreisen (nicht nur ausserhalb der Disziplin!) immer noch als der Inbegriff von Geographie überhaupt. Unter Chorographie ist das enzyklopädische Beschreiben aller möglichen Sachverhalte, Zustände, Eigentümlichkeiten eines bestimmten Gebietes zu verstehen. Diese Sachverhalte werden zusammenhanglos (‹synchorisch›) nebeneinandergestellt. Nicht nur die materielle Ausstattung wird dabei erfasst, sondern etwa auch Wirtschaftsstrukturen, Lebensweisen, Klimaverhältnisse und vieles mehr. Die berühmten Werke der frühen Neuzeit, etwa Seb. Münsters sechsbändige ‹Cosmographey› (1588), finden immer noch ihre Nachläufer in Gebietsmonographien und Länderkunden.

Solchen Arbeiten ist ein gelegentlich recht hoher Gebrauchswert (wohl auch im Sinne einer praktischen Allgemeinbildung) bestimmt nicht abzusprechen. Sie können auch wertvoll sein, wenn aus solchen breiten Bestandesaufnahmen Material in problemorientierte Analysen eingeht. Indessen ist

heute der eigentlich wissenschaftliche Wert solcher Chorographie in Frage gestellt – m.E. ist es angebracht, sie als vorwissenschaftliche, propädeutische Leistung voll zu würdigen.

Chorographie kann auch formalisiert werden: Mit modernen quantitativen Methoden lassen sich die Phänomene metrisch erfassen, ordnen, klassifizieren. Dieser Forschungsansatz soll deshalb (formale) *Chorometrie* heissen.

Hierher gehören die meisten der bekannten statistischen Methoden in der Geographie (Bahrenberg/Giese 1975), von der Mittelwertberechnung über Regressions-, Korrelations- und Varianz-Analysen und Distanzgruppierung bis hin zur Faktorenanalyse. Für alle diese Verfahren ist eine ‹geographische Datenmatrix› (Berry 1964) oder ‹VH-Matrix› (Steiner 1978) Ausgangsbasis, und die Analysen bringen zunächst eine Informationsverdichtung im Sinne der beschreibenden Statistik. Nur wer Korrelation mit Kausalität verwechselt, kann solchen Methoden einen direkt inhaltlichen Erklärungswert zuschreiben. Hingegen sind sie sehr leistungsfähig zum Testen von sachlogisch begründeten Hypothesen und in bezug auf quantitatives Schliessen im Rahmen der gesicherten formal-statistischen Zusammenhänge (vgl. Blalock 1964, 9ff, wo streng zwischen statistisch gesicherter Voraussage und kausaler Schlussfolgerung unterschieden wird!).

Damit erweist sich die (formale) Chorometrie als Übergangsbereich, als sehr wichtiges instrumentelles Bindeglied von der deskriptiven zur explikativen Stufe. Dies gilt jedenfalls für Zusammenhangsanalysen zwischen einzelnen Variablen; Methoden der objektgebundenen Querschnittsanalysen (z.B. die Distanzgruppierung) stehen hingegen näher bei der deskriptiven Chorographie.

Es wurde bereits erwähnt, dass Realobjekte zwar beschrieben, ihr ‹Wesen›, ihre Bedeutung erfasst und ‹verstanden› werden können, dass sie aber nicht ‹erklärt› werden können. Kausalen Erklärungen zugänglich sind nach dieser Auffassung nur Sachverhalte, also Aussagen über Realobjekte. Konsequenterweise wird auf Realobjekte ein phänomenologisch-hermeneutischer Forschungsansatz angewendet, der zu ihrem ‹Verstehen› führen kann (Bahrenberg 1979).

Diese Klasse von Fragestellungen, in der älteren Geographie recht häufig vertreten (Egli 1975), könnte mit *Chorosophie* bezeichnet werden. Zweifellos hat diese Forschungsrichtung an Bedeutung verloren; hier soll nicht näher darauf eingegangen werden.

Mit *funktionaler Chorologie* ist (ganz im Sinne Hettners 1927) der bereits erwähnte zweite Aspekt der chorologischen Betrachtungsweise, das Fragen nach dem funktionalen Zusammenwirken von Erscheinungen an einer Stelle, in einem Gebiet, das Fragen nach dem kausalen Zusammenhang von raumrelevanten Erscheinungen oder Sachverhalten gemeint. Diese integrative oder synergetische Betrachtungsweise muss (neben der d-räumlichen, formal-chorologischen Betrachtungsweise) als die zweite wesentliche Wurzel geographischen Denkens bezeichnet werden. Sie ist Ausdruck der Verbindungsfunktion von ‹Raum›, und findet durch Koinzidenzen ihre empirische Basis. Sowenig Bedeutung und Berechtigung dieser Forschungsrichtung bezweifelt werden können, sowenig darf ihre disziplinpolitische und auch methodische Problematik ausser acht gelassen werden.

Wenn in der funktionalen Chorologie solche Kausalzusammenhänge auch nur verbal gefasst sind, so entspricht diese Leistung doch dem Anspruch, über die Beschreibung hinaus zu Erklärungen zu gelangen. Freilich mag der geringe Abstraktions- und Generalisierungsgrad solcher Aussagen unbefriedigend sein, doch ist dies kein prinzipieller Mangel, sondern eine echte Forschungslükke, die geschlossen werden sollte.

In Umrissen ist heute eine solche stärker formalisierte Chorologie erkenntlich: auf dem Systemansatz und seinen Methoden beruhend, wird versucht, solche komplexen Zusammenhänge abzubilden. Da es sich ja um Ursache-Wirkungs-Schemata handelt, spielt der Zeitablauf eine entscheidende Rolle; die Systemkomponenten werden in ihrer Verknüpfung als Gleichungssystem formuliert und der Verlauf einzelner Variablen simuliert. Diese noch in den Anfängen steckende, methodisch anspruchsvollste Forschungsrichtung könnte *System-Chorometrie* genannt werden. – Nur mit diesem Ansatz sind Aussagen über komplexe Raumentwicklungsprozesse auch im Sinne von kohärenten Projektionen oder Prognosen möglich. Dass dabei die Zunkunftsforschung besondere

Probleme aufwirft, braucht hier nicht weiter betont zu werden (Elsasser 1976).

Vorstellungen über die zukünftige räumliche Entwicklung – und zwar Fragen über ‹Was sein sollte› noch mehr als Fragen über ‹Was sein könnte› (Abler et al. 1972, 573) – sind nun gerade der Kernpunkt einer ziel- und entscheidungsorientierten Ausrichtung der Disziplin. Diese Forschungsrichtung soll *Orthochorie* heissen, weil sie sich mit der anzustrebenden (als ‹richtig› beurteilten) räumlichen Ordnung befasst. Dabei ist einmal mehr festzuhalten, dass mit ‹räumlicher Ordnung› sowohl (f-räumliche) Ausstattung und Flächennutzung wie auch (d-räumliche) Organisationsstruktur gemeint sind, die beide zusammen Abbildung *und* Substrat eines komplexen Geosystems bilden, welches nach bestimmten Kriterien optimiert werden soll.

Die Orthochorie ist erst in Umrissen erkennbar (Berry 1973, Smith 1977); im deutschen Bereich hat eine grundsätzliche Diskussion über eine normative Geographie noch kaum stattgefunden. Der wegweisende Anstoss von Ganser hat kein ersichtliches Echo ausgelöst; die Aufforderung zu einer solchen ‹der Gesellschaft verpflichteten Wissenschaftsauffassung› (1970, 186), einer solchen ‹kritischen›, ‹konstruktiven› oder ‹engagierten› Ausrichtung der Disziplin (Gerasimov 1976, Haggett 1977) beginnt erst allmählich Früchte zu tragen.

Literatur

Abler/Adams/Gould 1972: Spatial organization – The Geographer's View of the World. London.

Anuchin V.A. 1977: Theoretical Problems of Geography. Columbus/Ohio.

Arbeitsgruppe des Bundes für die Raumplanung 1970: Raumplanung Schweiz – Aufgaben der Raumplanung und Raumplanungsorganisation des Bundes. o.O.

Bahrenberg G. 1979: Anmerkungen zu E. Wirths vergeblichem Versuch einer wissenschaftstheoretischen Begründung der Länderkunde. In: Geogr. Zeitschrift *67* (2), 147-157.

Bahrenberg G./Giese E. 1975: Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie. Stuttgart.

Bailly/Racine/Weiss 1978: Which Way is North? Directions for Human Geography. In: Geoforum *9* (4/5), 341-348.

Bartels D. 1968: Zur wissenschaftstheoretischen Grundlegung einer Geographie des Menschen. (=Erdkundliches Wissen *19*). Wiesbaden.

Bartels D. (Hrsg.) 1970: Wirtschafts- und Sozialgeographie (=Neue Wissenschaftliche Bibliothek *35*). Köln.

Bartels D. 1970b: Zwischen Theorie und Metatheorie. In: Geogr. Rundschau *22* (11), 451-457.

Bartels D. 1974: Schwierigkeiten mit dem Raumbegriff in der Geographie. In: Geogr. Helv. *29* (Beiheft), 7-21.

Berry B.J.L. 1964: Approaches to regional analysis – a synthesis. In: Annales AAG *54* (1), 2-11.

Berry B.J.L. 1973: A paradigm for modern Geography. In: Chorley R. (ed) Directions in Geography. London.

Blalock H.M. 1964: Causal Inferences in Nonexperimental Research. Chapel Hill.

Boustedt O. 1975: Grundriss der empirischen Regionalforschung. Bd.I-IV (=Taschenbücher zur Raumplanung 4-7). Hannover.

Buchwald K. 1972: Umwelt und Gesellschaft zwischen Wachstum und Gleichgewicht. In: Raumforschung und Raumordnung *30* (4-5), 147-167.

Bunge W. 1962: Theoretical Geography (=Lund Studies in Geography Series *C1*). Lund.

Burton I. 1963: The Quantitative Revolution and Theoretical Geography. In: Canad. Geogr. *7*/1963.

Chappell J.E. 1975: The Ecological Dimension – Russian and American Views. In: Annals AAG *65* (2), 144-162.

Chorley R. 1973: Geography as human ecology. In: Chorley R. (ed) Directions in Geography. London.

Cody/Diamond (eds) 1975: Ecology and Evolution of Communities. R.H. MacArthur Memorial Symposium 1973. Cambridge/Mass.

Egli E. 1975: Mensch und Landschaft – Kulturgeographische Aufsätze und Reden. Zürich.

Elsasser H. 1976: Gedanken zur prognostischen Geographie. In: Geogr. Helv. *31* (1), 49-55.

Fischer G. 1969: Berechnung und Vorausschätzung regionaler Volkseinkommenszahlen in der Schweiz 1950-1980. St.Gallen.

Fisher C.A. 1977: A Confusion of Concepts – Region and Regional. In: Geogr. Journal *143* (1), 89-90.

Ganser K. 1970: Thesen zur Ausbildung des Diplomgeographen. In: Deutscher Geographentag Kiel 1969 – Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen, 183ff. Wiesbaden.

Gerasimov I.P. 1976: What are the Constructive Trends in Soviet Geography. In: Geoforum *7* (5/6), 387-393.

Gerling W. 1965: Der Landschaftsbegriff in der Geographie – Kritik einer Methode. Würzburg.

Hägerstrand T. 1976: Geography and the Study of Interaction between Nature and Society. In: Geoforum *7* (5/6), 329-334.

Haggett P. 1973: Forecasting alternative spatial, ecological, and regional futures – problems and possibilities. In: Chorley R. (ed) Directions in Geography. London.

Haggett P. et al 1977: Locational Analysis in Human Geography. London.

Hard G. 1973: Die Geographie – eine wissenschaftstheoretische Einführung (=Sammlung Göschen 9001). Berlin.

Hard G. 1973b: Die Methodologie und die ‹eigentliche Arbeit›. Über Nutzen und Nachteile der Wissenschaftstheorie für die geographische Forschungspraxis. In: Die Erde *104* (2), 104-131.

Hartke S. 1975: Methoden zur Erfassung der physischen Umwelt und ihrer anthropogenen Belastung (=Beiträge zum Siedlungs- und Wohnungswesen und zur Raumplanung *23*). Münster/W.
Harvey D. 1969: Explanation in Geography. London.
Heinzmann et al. 1979: RGW-Zusammenarbeit zur Bewertung der gesellschaftlichen Einflüsse auf die Umwelt. In: Geogr. Berichte *24* (1), 21-36.
Hettner A. 1927: Die Geographie - Ihre Geschichte, ihr Wesen und ihre Methoden. Breslau.
Isnard H. 1978: L'espace géographique. Paris.
Kuhn T.S. 1969: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen (=suhrkamp taschenbuch wissenschaft *25*). Frankfurt/M.
Kumm J. 1975: Wirtschaftswachstum - Umweltschutz - Lebensqualität. Eine systemanalytische Umweltstudie für die Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000. Stuttgart.
Lauschmann E. 1973: Grundlagen einer Theorie der Regionalpolitik (=Taschenbücher zur Raumplanung *2*). Hannover.
Lautensach H. 1952: Der Geographische Formenwandel (=Colloquium Geographicum *3*). Bonn.
Lösch A. 1944: Die räumliche Ordnung der Wirtschaft. Jena.
Marthe F. 1877: Begriff, Ziel und Methode der Geographie. In: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Berlin *12*, 422ff.
Meckelein W. (Hrsg.) 1970: Deutscher Geographentag Kiel 1969 - Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. Wiesbaden.
Messerli B./Messerli P. 1979: Wirtschaftliche Entwicklung und ökologische Belastbarkeit im Berggebiet (MAB Schweiz) (=Fachbeiträge zur schweizerischen MAB-Information *1*). o.O.
Mori A. 1977: Osservazioni e riflessioni sulla geografia generale e sul suo insegnamento. In: Rivista Geografica Italiana *84* (2), 185-204.
Neef E. 1967: Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Gotha/Leipzig.
Pöschl A.E. 1965: Raum und Raumordnung. Berlin.
Ruppert K. 1979: Raumplanung unter veränderten Rahmenbedingungen. In: Politische Studien *30* (2), 117-121.
Schmithüsen J. 1976: Allgemeine Geosynergetik (=Lehrbuch der Allgemeinen Geographie *12*). Berlin.
Schweiz. Bundesrat 1978: Botschaft und Entwurf zu einem Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) vom 27.Februar 1978 (=Raumplanung Schweiz *8* (1), 3-28). Bern.
Smith D.M. 1977: Human Geography - a welfare approach. London.
Steiner D. 1978: Modelle zur Darstellung geographischer Systeme. In: SNG - Methoden der Untersuchung der geographischen Umwelt. Lausanne.
Taaffe E.J. 1974: The spatial view in context. In: Annals AAG *64* (1), 1-16.
Thürkauf M. 1977: Wissenschaft und moralische Verantwortung - Vom Bildungswert des naturwissenschaftlichen Unterrichtes. Schaffhausen.
Tomasek W./Haber W. 1974: Raumplanung, Umweltplanung, Ökosystemplanung. Zur Diskussion um Konzepte für die Landschaft. In: Innere Kolonisation *23* (3), 67-71.
Tschumi P. 1976: Ökologie und Umweltkrise. Bern.
Uhlig H. 1956: Die Kulturlandschaft. Methoden der Forschung und das Beispiel Nordostengland. (=Kölner Geographische Arbeiten *9/10*). Köln.
Vester F. 1978: Unsere Welt - ein vernetztes System. Stuttgart.
Weichhart P. 1975: Geographie im Umbruch - Ein methodologischer Beitrag zur Neukonzeption der komplexen Geographie. Wien.
Winkler E. 1973: Umweltschutz - Umweltplanung - Raumplanung - Landschaftsplanung. Beitrag zur Klärung einiger ihrer Grundbegriffe. In: DISP *29/30*, 7-10.
Wirth E. 1979: Theoretische Geographie - Grundzüge einer Theoretischen Kulturgeographie. Stuttgart.

Anschrift des Verfassers:

Martin Boesch
Forschungsstelle für Wirtschaftsgeographie und Raumplanung an der Hochschule St.Gallen
Guisan-Strasse 70
CH 9010 St.Gallen

Recherche d'une structure explicative en géographie

Charles Hussy

La réflexion épistémologique suscite de la part des géographes, en général, les réactions les plus diverses, toutes cependant empreintes d'un sentiment de réserve, eu égard à l'effet liquéfiant, pour ne pas dire paralysant, d'une discussion qui s'installe au seuil des problèmes spécifiquement abordés en géographie, ou bien reste centrée sur les tenants et aboutissants des démarches traditionnelles en cette discipline. Pour H. Chamussy par exemple, «la géographie a failli mourir de ne pas s'être interrogée sur elle-même; il ne faudrait point cependant qu'elle se mette en péril de trop s'interroger, ou plus exactement de se mal interroger» (Chamussy 1978). Une telle mise en garde laisse filtrer une certaine ambiguïté, dans la mesure où elle tend à jeter l'interdit sur des interrogations fondamentales, au nom même d'incertitudes qui nécessitent une interrogation de cet ordre. Or, il ne faudrait pas renoncer à s'interroger, moins d'ailleurs sur la géographie que sur ce que la géographie peut avoir de commun avec les sciences sociales, plus généralement, avec les sciences de l'homme; vu sous cet angle, son statut scientifique mérite assurément une révision quasi permanente allant, vers l'amont, rechercher les bases du projet de connaissance dont elle relève, pour opérer ensuite, vers l'aval, une clarification des instruments conceptuels et des méthodes dont elle peut se servir et qu'elle doit développer.

En l'occurrence, cette remontée aux sources opérée à un premier stade sera un pélerinage vers les temps pas si lontains des premiers acquis importants de la linguistique et, à travers cette dernière, de la sémiologie, qu'on peut considérer comme une science-pilote dont toute science de l'homme, d'un point de vue historique, demeure tributaire. Preuve en soit, par exemple, le développement, observé dans maintes disciplines, du structuralisme. Le début du siècle a vu naître différents courants linguistiques; pour l'Europe, il s'agit essentiellement de la pensée de F. de Saussure (Cours de linguistique générale, 1913) et de l'école phonologique de Prague. Ces deux courants sont représentés et développés dans les recherches et l'enseignement de Luis Prieto, qui serviront de référence de base à cet exposé. Prieto met en évidence un parallélisme entre les épistémologies d'une part, qui ont pour objet des sciences appliquées à la réalité matérielle, et les sciences de l'homme d'autre part, dont l'objet réside lui aussi dans des connaissances historiques de la réalité matérielle, mais qui ne sont pas, comme les connaissances objets des épistémologies, des connaissances scientifiques.

Le cas de la linguistique illustre le parallélisme en question; le sujet parlant utilise des sons pour communiquer, des sons qu'il connaît à travers la pratique d'une langue; le linguiste, quant à lui, étudie scientifiquement cette même connaissance propre au sujet parlant en tant que fait historique et il explique, en référence à la pratique communicative, la somme de connaissances que constitue une langue. La linguistique est ainsi le prototype même de toute science de l'homme; elle étudie en effet, non pas les sons ou, comme le ferait telle branche spécialisée de la physiologie, la production matérielle de ces sons articulés constitutifs d'une langue, mais la connaissance des sons chez le sujet parlant, c'est-à-dire une réalité distincte de la première, historiquement déterminée par un ensemble de concepts insérés dans un contexte social. Elle rejoint par là, en quelque sorte, une définition de l'épistémologie comme «étude des fondements, des principes constitutifs, des conditions et des démarches d'un savoir» (définition usuelle des dictionnaires, ici Quillet-Flammarion). Car toute épistémologie se fonde elle-même sur la sémiologie, qui étudie la pratique et les structures de la connaissance en général.

Il serait sans doute difficile de préciser tout-à-fait, dans ce contexte, ce qui distingue une connaissance scientifique d'une connaissance non scientifique; on se bornera à citer un exemple. Une craie peut se définir scientifiquement par des caractéristiques pertinentes du point de vue de sa production et, corrélativement, de son utilité: c'est une roche calcaire, c'est-à-dire composée de carbonate de calcium et provenant de tests d'animaux microscopiques, appelés foraminifères. Cette définition est valable pour la production de craies et elle pourrait faire l'objet d'une épistémologie de la géologie appliquée en technique industrielle. Mais ce n'est pas là une définition qu'utilise explicitement quelqu'un qui écrit sur un tableau noir en se servant d'une craie; dans une telle pratique, elle est non-pertinente tout en étant ‹vraie› dans la plupart des cas, parce qu'inadéquate au concept que l'on forge en se servant d'une craie (elle n'est donc pas économe du point de vue de l'utilisateur de la craie). L'usage d'un autre instrument comme une craie artificielle parachève, s'il en est besoin, la démonstration. Ainsi, la praxis produit des connaissances dont le but n'est pas d'expliquer, mais d'utiliser une certaine réalité; en fait, il existe une infinité de connaissances ‹vraies› de la même réalité matérielle, dont chacune peut devenir pertinente pour l'exercice d'une pratique. On a donc des sciences étudiant des connaissances qui explicitent leurs concepts, sciences qu'on désigne traditionnellement par le nom d'épistémologies, tandis que d'autres, appelées ici sciences de l'homme, étudient des connaissances qui, sans être scientifiques, c'est-à-dire explicites, dérivent elles aussi directement d'une certaine praxis.

La géographie humaine, comme science de l'homme, applique ses analyses, non pas à un ensemble de réalités matérielles, mais à un ensemble de pratiques en expliquant les connaissances dérivées de ces dernières et qu'elle considère en tant que réalités historiques. Tel paysage agraire, tel conglomérat industriel, tel milieu urbain résultent effectivement de manières historiquement datées de concevoir certaines ressources primaires, certaines opportunités d'affectation industrielle ou certains effets d'urbanisation. Pour expliquer ces connaissances en explicitant les concepts avec lesquels opèrent les acteurs, il faut sans nul doute recourir aux moyens et aux fins en référence auxquels ils opèrent; or, il apparaît que l'espace joue dans ces pratiques le rôle de moyen ou, plus précisément, de ‹matière première› qui en soi ne possède, répétons-le, aucune identité particulière en-dehors de toute pertinence, c'est-à-dire de tout point de vue. Car la pertinence qui résulte du point de vue adopté dans une pratique est à l'origine d'un classement opéré sur les composantes même de l'espace. Si tel acteur occupé à transformer la réalité matérielle d'un lieu donné en conçoit nécessairement une certaine connaissance, tel autre acteur (tel utilisateur, par exemple), en conçoit nécessairement une autre. Un groupe immobilier concevra tel espace comme un ensemble de parcelles susceptible d'assumer certaines fonctions, tandis qu'un particulier construira, de la même portion d'espace, une représentation fort différente, dérivée de sa pratique de simple usager.

On peut tirer de ces prémisses une conclusion fondamentale, en cherchant à dégager les composantes et les oppositions que reconnaissent dans tout espace les différents types d'acteurs impliqués dans l'aménagement, tout comme aussi les traits pertinents que considèrent les utilisateurs, peut-être d'une manière dérivée. Cela revient en somme à retrouver les structures des connaissances impliquées dans certains types de pratiques. C. Clark et J. Fourastié semblent avoir rencontré des divergences dans leur division sectorielle des activités économiques, liées au fait que chacun la concevait sous un certain angle relativement peu explicite. Fourastié explicite toutefois son critère, le progrès technique. Or, on pourrait considérer les trois secteurs d'un point de vue spatial en complétant l'analyse de Fourastié du côté de l'offre, à savoir, en considérant l'immobilisation d'espace que requiert chaque secteur en fonction même de sa productivité. En effet, le secondaire à productivité croissante exige de plus en plus d'espace, tandis que le tertiaire en économise, en dépit du faible progrès technique dont il est réputé capable; il ne saurait en être autrement, si l'on admet que le tertiaire a pour fonction d'organiser l'activité économique. Quant au primaire, il n'est pas a priori évident qu'une économie d'espace résulte de ses gains dans la productivité, étant donné que l'agriculture la plus

évoluée techniquement peut se tourner alternativement vers une forme intensive ou extensive d'exploitation, d'où il ressort que l'extensivité n'est pas liée à l'évolution technologique, mais en demeure indépendante. Par ailleurs, la demande intervient dans les secteurs comme une fonction régulatrice corrigeant les effets d'espace. Tyrannique dans le tertiaire, elle suscite des besoins de coordination qui se manifestent, entre autres, par une insuffisance générale, quasi universelle, des mesures d'aménagement dans les centres urbains; en revanche, la demande de biens secondaires est limitée et n'exerce aucune pression locale particulière sur l'aménagement de l'espace (c'est l'offre seule qui développe l'agglomération industrielle). En résumé, l'évolution économique considérée dans une perspective fourastienne structure l'espace, en développant la puissance coordinatrice du tertiaire; celle-ci tendrait, si elle était conçue comme un moyen collectif de contrôle, à encadrer l'activité primaire et secondaire dans leur développement spatial, sans oublier, bien entendu, un aménagement plus autonome de la résidence qui en résulterait.

Ces considérations permettent d'établir, de manière toute provisoire, un schéma de l'activité économique fondé sur l'utilisation d'espace. Chaque secteur se définissant par une fonction générique (fonction P) considère l'espace-outil transformé à partir d'une matière première-espace. On peut ainsi ajuster à la typologie de production P telle que l'admettent, dans ses grandes lignes, Clark et Fourastié, une typologie d'aménagement A qui, à son tour, rend pertinente la classification des activités économiques et rend cette dernière susceptible d'une déduction plus rigoureuse, effaçant toute hésitation de détail (tab. 1).

Jusqu'ici, le schéma ne devrait pas soulever d'objection majeure, car il s'agit simplement d'établir les pertinences qui résultent de trois points de vue en présence relatifs à l'utilité productive de l'espace. Il convient cependant de faire un pas de plus et de considérer, dans cette typologie, le sujet qui aménage ou qui construit les concepts propres au secteur I, II, III, tout en se construisant lui-même dans cette pratique, en tant que sujet. En d'autres termes, le rapport à l'espace implique un rapport entre acteurs; or, à chaque secteur semble correspondre un certain type de rapport. Car si l'exploitation primaire s'accommode sans difficulté d'une action individuelle, il semble que l'affectation secondaire requière une association d'intérêts individuels en intérêts de groupe et l'organisation tertiaire, une coordination entre ces mêmes intérêts de groupe. L'acteur du secteur I serait ainsi, par nécessité logique, un individu, celui du secteur II un groupe privé et celui du secteur III, une collectivité publique. Pour décrire le processus, on dirait que des rapports primaires naissent d'interactions entre individus; mais de même que la fonction productive primaire donne naissance à un niveau secondaire comme forme supérieure de production, les rapports sociaux primaires suscitent des rapports secondaires – dont un exemple est la firme – et à leur tour, ces rapports secondaires suscitent des rapports sociaux tertiaires de la même façon que l'échange se complexifie et change de nature au fur et à mesure du développement des rapports secondaires de production et d'aménagement de l'espace. Ajoutons toutefois que ce schéma de correspondance n'est pas déterministe, puisqu'il s'efforce de reconstituer un processus en lui-même non nécessaire et parfaitement réversible. On pourrait, par exemple, imaginer une situation dans laquelle, ayant aménagé un centre d'échanges, des acteurs développent dans un second temps une affectation industrielle, puis décident d'exploiter certaines ressources de façon individuelle. Le raisonnement proposé consiste à articuler des oppositions conceptuelles, à en montrer l'impact sur différents types d'interaction sociale et d'interaction

Conception sectorielle de l'espace:	Fonction P	Rôle de l'espace-outil:	Fonction A
primaire	extraction	ressource	exploitation
secondaire	transformation	support	affectation
tertiaire	échange	centre	organisation

Tab. 1

spatiale, en un mot, à formuler théoriquement des causes de divergence liées aux pratiques d'aménagement.

Un raisonnement de ce genre ne se limite pas aux pratiques de production d'espace aménagé. Une autre problématique consisterait à analyser déductivement des conceptions en quelque sorte dérivées et propres aux usagers. Car les besoins d'usager pourraient être considérés d'une façon analogue et ventilés des trois points de vue de l'espace-ressource (milieu écologique), de l'espace-support (résidence, lieu de travail, de loisirs) et de l'espace-centre (centre par rapport à un réseau de relations) comme préalable aux recherches portant sur la reconstitution par enquête de l'espace perçu. Cette seconde démarche permettrait peut-être d'apercevoir les contradictions qui opposent la logique d'aménageur en général et celle d'usager, dans le sens, par exemple, où on les retrouve chez H. Lefebvre (1970) par rapport à l'organisation urbaine.

On a surtout tenté jusqu'ici de dégager la spécificité de la géographie: science-point de vue pour Gottmann, science-carrefour pour P. George ou plus récemment, pour R. Brunet, science de l'espace. Cette recherche de l'originalité présente l'inconvénient d'aller à l'encontre d'une définition fondée sur les points communs de la discipline avec d'autres sciences sociales. Toute science de l'homme (voir la définition chez Prieto 1975) se doit d'être un dévoilement, une relecture historique et, pour les géographes, sa fonction spécifique consiste à localiser des pratiques, à les interpréter, qu'il s'agisse de pratiques d'aménageur ou d'usager.

Références

Chamussy H. 1978: D'Amour et d'Impuissance, Brouillons Dupont 3-1978, 74p.

Lefebvre H.H. 1970: La révolution urbaine, Gallimard, coll. Ideés, Paris.

Prieto L. 1975: Pertinence et pratique. Essai de sémiologie, Paris 1975, éd. de Minuit.

Adresse de l'auteur:

Charles Hussy
Département de Géographie
18, route des Acacias
CH-1227 Genève

Max Oechslin

1893 - 1979

Als der am 28. Mai 1893 geborene Max Oechslin am 8. September 1979 in seinem schönen «Birkenhof» in Altdorf einem Herzversagen erlag, hatte er vor seiner «Letzten Reise» seine «Sieben Sachen», wie er sich ausdrückte, geordnet. Die Vaterstadt Schaffhausen erhielt 40 000 handgeschriebene Seiten, vor allem das seit 1907 jeden Abend geführte Tagebuch, weit über 900 Nummern mit 14 000 eigenen gedruckten Seiten und 12 337 empfangene Briefe. Wenn er aus seiner «Kiesgrube» Sonderdrucke für die «Oxenmappe» schickte, fügte er etwa bei: «Sie haben ja sicherlich einen Papierkorb» und berief sich auf die Nagelfluh, die ausser guten Steinen auch Kittzeug enthalte. Aber sein inneres Feuer und seine Darstellungsgabe – Kernpunkte seiner Wirkung – liessen sich nie übersehen.

Wer war der humorvolle Absender, der die Adressen eigenwillig mit der Nennung des Wohnortes begann und den Empfänger darunter beifügte? Max Oechslins Vater Carl Wilhelm war Elektroingenieur, die Mutter eine temperamentvolle Französin aus Grenoble, die später ihr langes Alter beim Sohne verbrachte. Dieser besuchte in Oerlikon die Primar- und Sekundarschule, in Zürich die Industrieschule und als Zögling der Forstwissenschaften die ETH. 1919 zog er nach Altdorf. Dort blieb er 60 Jahre. Zuerst war er Forstadjunkt, von 1930 bis 1960 Kantonsoberförster. Nebenher wirkte er als Kulturingenieur und Chef der Grundbuchvermessung.

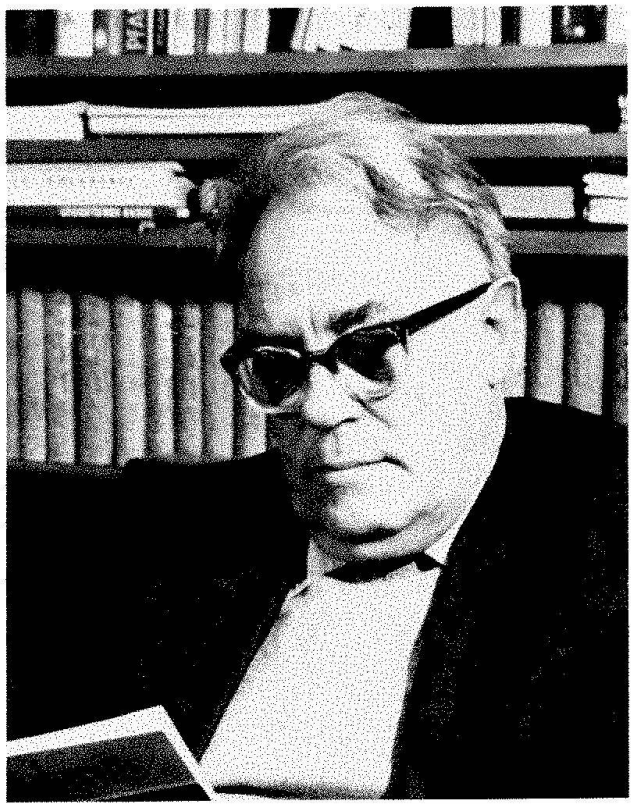
Schon mit 20 Jahren war Oechslin dem Schweizerischen Alpenclub beigetreten. Der junge Kletterer wurde zum Freund der Berge, den der Drang nach dem Bergwunder und das Verlangen nach Naturerkenntnis in die Höhen lockten. Er sammelte Alpenbücher, kannte ältere und neueste Schriften. Mit Heft 5 von 1941 wurde er Redaktor der angesehenen Vereinszeitschrift «Die Alpen» und leitete sie durch ein Vierteljahrhundert, eine gewaltige Arbeit. 1946 verlieh der SAC ihm die Ehrenmitgliedschaft. Besonders genau kannte er das Gotthardgebiet; der Sektion Gotthard des SAC schrieb er 1956 die Festschrift zum 75jährigen Bestehen.

Neben den Berg trat mit dem Berufe der Wald. Ohne den Schutzwald könnten die Bergtäler der Alpen nicht bewohnt werden. Oechslin erlebte die Pflege des Waldes als hohe Aufgabe. Für ihn war der Forst nicht nur Holzspender, sondern vorwiegend Schirmherr. «Achtet den Gebirgswald als Schutzwald!» Hartnäckig führte er die Leute zur Einsicht. Die streunende Ziege, die den Wald schädigt, ist nicht die Kuh des armen Mannes, sondern kann den Bauern arm machen. Oechslin ehrte besonders den Kampfzonenwald, jene aus dem Waldgürtel noch höher vorstossenden Baumgruppen, die dort, wo die Wildbäche entstehen, den Boden und das Wasser zurückhalten.

Das Mitleid mit den Geschädigten gab seinen Aufrufen die Eindringlichkeit. Wo Felssturz, Steinschlag, Rüfenen, Lawinen, Hochwasser oder Föhn gewütet hatten, eilte er hin. In der Lawinen- und Wildbachverbauung wurde er der Vielerfahrene. Niemand kämpfte für die Erhaltung der Bannwälder so unüberhörbar und unbeugsam wie er. Dies führte ihn in den Schweizerischen Bund für Naturschutz. 1933 warb er für die Schaffung eines Vogelschutzgebietes in der Mündungsebene der Reuss; er beschrieb es 1935 in einem Heftchen.

Allmählich gewann er Einsicht in die Nutzung der Alpen und Wälder. 1921 trat er dem Schweizerischen Alpwirtschaftlichen Verein bei. Er erteilte Kurse, schrieb in die «Alpwirtschaftlichen Monatsblätter» (die «Blaue»), erschien 1933 im Vorstand und wurde 1934 Alpinspektor. Er drängte zur Gründung einer kantonalen land- und alpwirtschaftlichen Winterschule, die 1938 ent-

stand und worin er lehrte. Auch nach seinem Rücktritt aus dem Vorstand 1952 hielt er dem Verein die Treue.
Mit dem Praktiker war der Forscher verbunden, der um der reinen Sache willen beobachtete, was sich am Wege zeigte oder ringsum geschah. Seine pflanzengeographische Monographie über «Die Wald- und Wirtschaftsverhältnisse im Kanton Uri» von 1927 war von einer grossen mehrfarbigen Karte der Waldbestandesformen begleitet und erwarb ihm 1935 den Ehrendoktor der Universität Basel.
Acht meist grüne Hefte, «Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Uri», waren nahezu seine private Angelegenheit. Kaum ein Verein besitzt so genaue Sitzungs- und Vortragsberichte. Die Gesellschaft war acht Jahre vor Oechslins Ankunft 1911 von neun Männern gegründet worden. Hauptträger waren der Rektor des unlängst eröffneten Kollegiums Karl Borromäus, der Physiker und Luftelektrizitätsforscher Pater Bonifatius Huber (1868-1938), und der dortige Mathematiklehrer Jakob Brülisauer (1875-1937), die zusammen als Präsident und Aktuar die etwa 30 Mitglieder zählende Schar 25 Jahre leiteten. Forstadjunkt Oechslin wurde ihre stärkste Stütze. 1921 sprach er über



«Die Gletscher des Kantons Uri in Vergangenheit und Gegenwart», 1922 über den «Urnerwald, seine Ausdehnung und Ausnutzung». Da er die Dreierkommission für Naturschutz leitete, kam er 1924 als Beisitzer in den Vorstand. 1925 hielt er vier der sieben Vorträge, und so ging das weiter. Er sprach über Gletschermessung, Lawinen, über ein selbsterfundenes Gerät zum Messen des Schneeflusses, über Botanisches, Geologisches, Katastrophenschäden, aber auch über volksmedizinische Ansichten alter Leute oder über eigene Auslandreisen. Auf seinen Antrag entstand 1933 ein Forschungsfonds, der auf der Urner Kantonalbank angelegt wurde und zur Unterstützung von Arbeiten der Mitglieder diente. Als Nachfolger Hubers leitete Oechslin 1936-1962 den Verein. Bei den Jahresversammlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Altdorf 1933 und 1954 war er Jahrespräsident. Seine Begrüssungsreden schilderten den Urner Wald und einen Querschnitt durch den Kanton Uri. Viel Geologie lernte er durch den Kollegiumslehrer Dr. Pater Franz Xaver Muheim (1894-1946), der geologisch kartierte und am Ruchen abstürzte. Die acht Berichtshefte erfassen die Vereinsjahre 1911-26, 1927-31, 1932/33, 1933-35, 1935-37, 1937-47, 1948-54 und 1955-68. Die Auflage stieg von 80 auf 600.
1924 trat Oechslin als Botaniker in die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft ein. In ihr wurde er 1926 als Nachfolger Alfred de Quervains in die siebenköpfige Schweizerische Gletscherkommission gewählt. Als ältestes Mitglied sass darin Albert Heim. Die Zweisprachigkeit kam Oechslin zustatten, denn während seiner ganzen Amtszeit war der Waadtländer Paul-Louis Mercanton (1876-1963) Präsident. Als Vizepräsident wirkten Otto Lütschg und von 1947 an Wilhelm Jost, eine urwüchsige Gestalt wie Oechslin. Auf Ende 1949 traten der 83jährige Mercanton als Präsident und Oechslin als Sekretär zurück. Er blieb Beisitzer und schied 1958 zugunsten Marcel de Quervains aus, der ein Sohn Alfreds war und das neue Eidgenössische Institut für Schnee- und Lawinenforschung in Weissfluhjoch-Davos leitete.
Nach der Ära unter Hans Schinz erfolgte 1928 in der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft ein starker Wechsel. Oechslin

war für eine Amtsperiode (1928-1933) Vorstandsmitglied, und zwar gleich Präsident. Als solcher schrieb er die Jahresberichte in die «Verhandlungen» der SNG 1929-1934.
1974 wurde Oechslin Ehrenmitglied der SNG.
Viel verdankte er seiner schriftstellerischen Ader. Er baute seine Arbeiten gut auf und schrieb einen klaren, treffenden Stil. Diesen übte er auch im Gedicht und in einer Novelle («Die Schuld»). Unter dem Decknamen Max Eugen Bergmann (MEB) verfasste er durch Jahrzehnte für das «Urner Wochenblatt» die weltpolitische Wochenschau. Mit der unverkennbaren Signatur M.Oe. oder unter ausgeschriebenem Namen veröffentlichte er vieles in «Die Alpen», im Blatt «Der Gotthard» (den Nachrichten der Sektion Gotthard des SAC), im «Urner Mineralien-Freund», in der «Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen» und im «Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere», das in München erscheint. Dem gleichen Stoff vermag er mannigfaltige Seiten abzugewinnen. Er beobachtet scharf, veranschaulicht am Beispiel, erklärt am Vergleich. Er sieht die grossen und die kleinen Züge, untermauert geschichtlich, fragt originell. Ausgeprägt sind der Zahlensinn, der gedrängte Satz, das reiche Wissen in geographischer, geologischer, klimatischer, botanischer, siedlungsgeschichtlicher, wirtschaftlicher Hinsicht. Sein grosses Manuskript von 1941 über «Die Markgenossenschaften der Urschweiz» ist in der Schweizerischen Landesbibliothek in Bern und in den Zentralbibliotheken von Zürich und Luzern zugänglich. 1965 war er Mitherausgeber des stattlichen Bandes über «Uri, Land am Gotthard».
Eine besondere Neigung hatte Oechslin auch zur Geschichte. Er achtete die alte Garde der grossen Schweizer Forstwirte, Karl Albrecht Kasthofer (1777-1853), Elias Landolt (1821-1896), Franz Fankhauser (1822-1900), Johann Coaz (1822-1918), Albert Müller (1849-1898), Carlo Albisetti (1877-1971). Kulturgeschichtliches und Wissenschaftshistorisches lag ihm nahe. Er schrieb über Conrad Gessner als Bergsteiger, über Gabriel Walser, Pater Placidus a Spescha, Markus Lutz, über den Urner Naturforscher Karl Franz Lusser (1790-1859), über Erstbesteigungen der Urner Gipfel, den Namen St.Gotthard, die Brücken in der Schöllenen, den Eisenerzofen zu Bristen. Das siebente Heft der «Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Uri» enthält eine lange Abhandlung über Uri auf alten Landkarten.
Das Pensioniertsein koste er gehörig aus, scherzte der Unermüdliche. Seine drei Kinder waren erwachsen. Margrit lebt als Apothekerin und Frau des Arztes Klaus Widmer in Winterthur, Karl als Forstmeister in Altdorf, Heidi als Architektin (Frau Gygax) in West Vancouver in Kanada.
Max Oechslin war für Uri eine Wohltat. Bisweilen stiess sein Stierenkopf gegen den Stierenkopf. Erörterungen erfolgten in seinem Amtszimmer im Zeughaus am Lehnplatz, später in seinem Heim in der Fensterecke neben dem Schreibtisch. Holzer und Älpler, Gelehrte und Regierende waren gleich willkommen. Er verfügte über ein gutes Personengedächtnis und erweiterte seinen Bekanntenkreis bis ins Alter, indem er sich einfach dem andern vorstellte. Wo es mutig zu sprechen galt, schwieg er nicht. Er verteidigte die Unberührbarkeit des Hochgebirges und des Waldes. Die allzu betriebsame Wirtschaft und der allzu viele Beton erregten seine Besorgnis. An Oechslin wurde klar, was ein Förster zu leisten vermag. Er liebte Uri, weil vieles darin ursprünglich und naturnah wie er selber war. Das Ehrenbürgerrecht freute ihn, denn er hatte im Einsatz für das Gebirgsvolk den Sinn seines Daseins gefunden.

Heinz Balmer