

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 96 (1978)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Modell eines Magnet-Sinnesorgans  
**Autor:** Frese, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73683>

### **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:** 27.01.2026

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

reich der Chemie-Forschungsbauten untersuchen lassen, weil dort die baulichen Investitionen besonders hoch liegen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen: Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der chemischen Industrie werden durch die Investitionen für ihre Bauwerke mit 3,5 bis 7% belastet, je nachdem, was man alles unter die baulichen Investitionen rechnet. Versteht man darunter nur das installationsfreie Bauwerk, so belastet es die Forschung mit 3,5%. Werden also Forschungsbauten um 10% – das ist ein hoher Betrag! – aufwendiger gebaut, in unserem Falle: besser gestaltet, dann wird die Forschung mit 0,35% belastet.

Wer in Kenntnis dieser Zahlen noch den Einwand macht, die harten wirtschaftlichen Bedingungen der Industrie verbieten jeden Mehraufwand für die gute Gestaltung der Industriebauten, der ist – um mit den Griechen zu reden – ein Banause.

### Die Wirtschaftlichkeit von Industriebauten

Die Gründe für die vielen völlig falschen Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit unserer Industriebauten liegt auch darin, dass die heutigen Produkte der Industrie auf eine begrenzte Lebensdauer abgestimmt sind. Es kommt niemand auf den Gedanken, ein Fernsehgerät oder einen Kühlschrank oder ein Auto oder auch eine Werkzeugmaschine so zu konstruieren, dass alles nach 20 Jahren noch voll funktionsfähig ist. Unsere gesamte Produktion ist auf «kurzlebige» Wirtschaftsgüter abgestellt. Unsere Industriebauten, die wir planen und bauen, müssen aber mindestens zwanzig bis dreissig Jahre ihre Aufgabe erfüllen. – Nun höre ich Sie sagen: «Das ist ja gerade das Übel: die Architekten planen für die Ewigkeit – statt für zehn Jahre.» Das ist eines der so beliebten Schlagwörter unserer Zeit.

Wir können keine Bauwerke errichten, deren Standfestigkeit befristet ist. Die Standfestigkeit – die Sicherheit eines

Bauwerkes – darf nicht abnehmen, die Sicherheit darf keiner Abnutzung unterliegen, sie muss nach zwanzig Jahren noch genauso gross sein wie am Tage der Erstellung. Deshalb ist es ein Widerspruch in sich selbst, Bauwerke mit einer Standfestigkeit von zehn Jahren entwerfen zu wollen. Man kann Bauwerke planen, die leicht abzureissen sind; aber die Gründe für den Abbruch liegen dann nicht in ihrer Abnutzung.

Man kann das alles in einem Satz zusammenfassen: In unserer heutigen Gesellschaft, wo so vieles auf den Verbrauch und das Wegwerfen abgestellt ist, ist ein Bauwerk ein Fremdkörper geworden; es ist weder zum Verbrauch bestimmt noch zum Wegwerfen geeignet.

Wir reden soviel von Umweltverschmutzung. Wir wollen im Jahre 2000 aber nicht nur reine Luft atmen und sauberes Wasser trinken können, wir wollen künftighin auch in einer bewusst und gut gestalteten Umgebung leben; denn schlechte Architektur ist auch eine Umweltverschmutzung. Für diesen optischen Umweltschutz muss sich aber einer verantwortlich fühlen – und das ist die Aufgabe und Verpflichtung des Architekten. Es muss einer da sein, der dafür sorgt, dass die Fabrik der Zukunft nicht nur funktioniert, nicht nur wirtschaftlich produziert, sondern der auch dafür sorgt, dass eine Fabrik kein Ärgernis ist, weder für diejenigen, die in ihr arbeiten, noch für diejenigen, die an ihr vorübergehen. Das halte ich für die wichtigste Aufgabe, die der Architekt im Rahmen der vielen Fragen und Probleme, die die Industriensiedlung unserer Städte mit sich bringen, zu übernehmen hat. Sich für die Architektur verantwortlich zu fühlen, das ist letztlich die Aufgabe des Architekten; alle anderen Aufgaben sind nachgeordnet.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr.-Ing. Dr. techn. h.c. *Walter Henn*, Direktor des Institutes für Industriebau der Technischen Hochschule Braunschweig.

## Modell eines Magnet-Sinnesorgans

Manche Vögel und Insekten – so etwa Brieftauben oder Bienen – orientieren sich auf ihren Flügen auch mit Hilfe des *Magnetfelds der Erde*. Diese Fähigkeit, Magnetfelder wahrzunehmen, wird als *Biomagnetismus* bezeichnet; sie zählt mit zu den rätselhaftesten Phänomenen der Biologie: Bisher konnte man für diesen «Magnet-Sinn» keine zufriedenstellende Erklärung finden. Jetzt haben Wissenschaftler des *Max-Planck-Instituts für Biochemie in Martinsried bei München* ein Prinzip entdeckt, nach dem der biologische Magnet-Kompass arbeiten könnte. Sie kamen der möglichen Lösung des Rätsels zufällig auf die Spur: Ein Gerät zur Messung der Oberflächenladung von Zellen entpuppte sich – auf recht kuriosen Umweg – als Modell eines Sinnesorgans, das auf magnetische Felder anspricht.

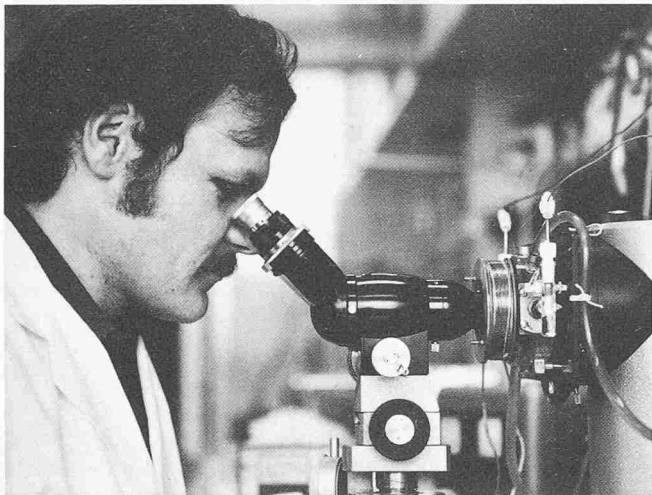
Es gibt dieses Messgerät, bekannt als *Zytopherometer*, schon seit rund 25 Jahren. Entwickelt wurde es von *Gerhard Ruhenstroth-Bauer*, Direktor am Institut. «Es ging damals um die Frage», erklärt Ruhenstroth-Bauer, «wie man Gewebszellen aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften charakterisieren kann. Eine dieser Eigenschaften ist ihre Oberflächenladung: Jede Zelle, gleich welcher Art, trägt fest fixiert an ihrer Oberfläche einen Überschuss an negativen elektrischen Ladungen.»

Mit dem Zytopherometer lässt sich die *Dichte der Oberflächenladung* bestimmen. Sein Kernstück ist eine flache Glaskammer, 20 Millimeter lang, zehn Millimeter hoch und 0,7 Millimeter tief, die an ihren Enden flaschenhalsartig zu-

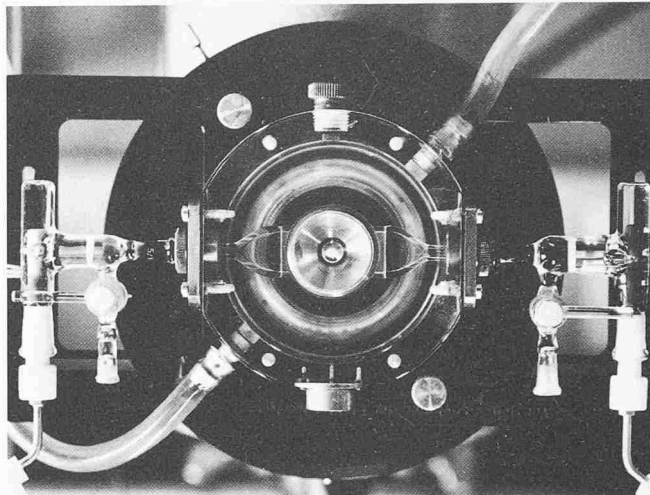
läuft; in diese Enden sind Elektroden eingelassen. Die Kammer enthält eine elektrisch leitende Flüssigkeit, in der die Zellen, deren Ladung es zu bestimmen gilt, aufgeschwemmt werden: Legt man dann eine Gleichspannung an die beiden Elektroden, wandern die Zellen aufgrund ihrer negativen Ladung zur Anode. Dabei aber bewegen sie sich um so schneller, je dichter die Ladungen auf ihrer Oberfläche gepackt sind – man kann deshalb aus der Geschwindigkeit der Zellen ihre Ladungsdichte errechnen. Dazu misst man im Zytopherometer die Zeit, die eine Zelle braucht, um die Strecke zwischen zwei bestimmten Markierungen zu durchlaufen.

Wie die Messungen damals zeigten, stellt die Oberflächenladung tatsächlich ein charakteristisches Merkmal für die verschiedenen Zellarten dar – ein Merkmal allerdings, das erst in jüngerer Zeit für die Zell-Diagnostik interessant wurde. Zunächst schien das Verfahren keine wesentlich neuen Informationen zu liefern: «Wir konnten zwar deutliche Unterschiede – oft sogar sehr grosse – feststellen», so Ruhenstroth-Bauer, «doch die Verschiedenartigkeit der Zellen, die sich darin äusserte, war auch mit anderen, einfacheren Methoden nachweisbar.»

Erneute Hoffnung, mit dem Zytopherometer doch noch feinere Charakteristika von Zellen aufzuspüren, schöpfte man vor etwa acht Jahren. In Zusammenarbeit mit einem amerikanischen Gastwissenschaftler, *Roy Gunter*, entschloss man sich, senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes in der



Das Zytopherometer, im Bild rechts, mit aufgesetzter Magnetfeldspule. Die Auslenkungs-Geschwindigkeit der Teilchen in der Messkammer wird mit Hilfe eines Mikroskops gemessen



Die Messkammer des Zytopherometers mit ihren flaschenhalsartigen Mündungen ist in der Bildmitte sichtbar, zum Teil verdeckt durch den runden Anschluss-Stutzen für das Beobachtungsmikroskop. Links und rechts die beiden Elektroden, über die eine Gleichspannung an die Kammer gelegt wird

Kammer ein magnetisches Feld anzulegen. Gunter baute dabei auf die Tatsache, dass geladene Teilchen, die sich senkrecht zur Richtung eines Magnetfelds bewegen – in dem Fall also die Zellen –, eine ablenkende Kraft erfahren. Diese Kraft wirkt gemäss der sogenannten *Lorentz'schen Regel* sowohl senkrecht zur Bewegungsrichtung der Teilchen als auch senkrecht zur Richtung des Magnetfelds: Dementsprechend sollten die Zellen in der Messkammer des Zytopherometers nach oben oder unten abgelenkt werden – je nach Polung des Magnetfelds. Und aus dem Grad dieser Ablenkung, so hoffte Gunter, könnten sich vielleicht neue artspezifische Merkmale der Zellen ablesen lassen.

«Anfangs schien auch alles ganz wie erwartet», schildert Ruhenstroth-Bauer die ersten Beobachtungen mit dem modifizierten Zytopherometer, «die Zellen wurden scharf ausgelenkt – und Gunter war begeistert. Dann aber, am nächsten Tag, kam er mit einer ungewöhnlichen Nachricht – und war jetzt eher entgeistert. Denn die Zellen, sagte er, wurden stets in die verkehrte Richtung ausgelenkt – sie liefen in der Kammer nach oben, wenn sie nach der Lorentz'schen Regel nach unten sollten oder, bei anders gepoltem Feld, nach unten anstatt nach oben. Am Vortag war dieses «*Anti-Lorentz-Verhalten*» nicht aufgefallen, da die Zellen während der Messung durch ein Mikroskop beobachtet werden, das ein umgekehrtes Bild liefert.»

Die naheliegende Erklärung, Gunter habe lediglich das Magnetfeld verkehrt gepolt, traf nicht zu; entsprechende «Probeläufe» bestätigten seine Beobachtung. Man stand vor einem Rätsel. Und dieses Rätsel vertiefte sich in der Folge noch weiter. Wie man nämlich fand, liefen nicht nur Gewebszellen «falsch»: Auch anorganische Partikel aller Art verhielten sich in der Kammer auf dieselbe Weise gesetzeswidrig – und zwar geladene wie auch ungeladene. Offenbar hing das rätselhafte Phänomen also weder mit biologischen Eigenschaften der Zellmembranen noch mit der Ladung der Teilchen zusammen.

«Das Problem hat uns jahrelang gequält», so Ruhenstroth-Bauer, «auch keiner der vielen Physiker, die wir befragten, wusste Rat – bis wir dann eines Tages feststellten, dass die Stärke der «falschen» Auslenkung wesentlich von der *Salzkonzentration der leitfähigen Flüssigkeit* abhängt.» Diese Beobachtung führte schliesslich zur Lösung des Rätsels.

Rückblickend betrachtet, erscheint alles recht einfach: Bei Lösung eines Salzes – etwa Natriumchlorid – in Wasser entstehen positiv und negativ geladene Ionen; darauf beruht die Leitfähigkeit einer solchen Salzlösung. Als elektrisch geladene Teilchen verhalten sich die Ionen im Zytopherometer genau wie die Gewebszellen: Sie wandern, sobald man eine Spannung anlegt, in Richtung der Elektroden; die negativen Ionen laufen zur positiven Elektrode, die positiven zur negativen. Dabei hängt ihre Geschwindigkeit von der Stärke des elektrischen Feldes ab – die jedoch nicht überall gleich gross ist. Denn gegen ihre Enden hin verjüngt sich die Kammer: Weil sich an diesen Flaschenhälsen die Ionen drängen, ist dort die Stromdichte grösser und damit das elektrische Feld stärker. Und deshalb laufen dort die Ionen schneller als im Mittelteil der Kammer.

Nun wächst aber die auslenkende Kraft, die auf ein geladenes Teilchen in einem Magnetfeld einwirkt, mit der Geschwindigkeit des Teilchens. Das bedeutet: Legt man ein Magnetfeld senkrecht zum elektrischen Feld an, dann werden die Ionen an beiden Enden der Kammer stärker nach unten oder oben ausgelenkt als die Ionen in der Mitte. Weil die Ionen dabei aber auch Flüssigkeit mitnehmen, ist der hydrostatische Druck an den Kammerenden stärker als in der Mitte, so dass sich *zwei Flüssigkeits-Kreisläufe* ausbilden: Nahe den beiden Elektroden strömt die Kammerflüssigkeit mit den Ionen gemäss der Lorentz'schen Regel nach oben oder unten, im gesamten Mittelteil der Kammer aber, wo auch die Messstrecke liegt, strömt sie jeweils in der umgekehrten Richtung zurück – und lenkt dabei Gewebszellen und sonstige geladene oder ungeladene Partikel entgegen der Lorentz'schen Regel aus der Bahn.

Damit war also die Lösung des Rätsels gefunden. Dass es sich um ein *Strömungsphänomen* handeln könnte, daran hatte man zwar schon früher gedacht. Weil sich aber die Strömungswege, die jeweils im Sinn der Lorentz'schen Regel verlaufen, nur nahe den Elektroden und dicht an den Kammerwänden ausbilden, waren sie den Wissenschaftlern entgangen. «Mit der endgültigen Klärung», so Ruhenstroth-Bauer, «hätte die Sache nun ein Ende haben und als Kuriosität auf sich beruhen können. Doch da tauchte der Gedanke auf, ob nicht eine solche magnetisch induzierte Flüssigkeitsströmung auch dem Biomagnetismus zugrundeliegen könnte –

jener bis jetzt nicht schlüssig erklärten Fähigkeit mancher Vögel, Insekten und niederer Organismen, das Erdmagnetfeld zu orten.» Lag also mit der Messkammer des Zytrophometers vielleicht das Modell eines möglichen Magnet-Sinnesorgans, eines «biologischen Magnetkompasses» vor?

Tatsächlich fanden Ruhenstroth-Bauer und zwei weitere Mitarbeiter des Instituts, *Stephan Bamberger* und *Günter Valet*, diese Vermutung bestätigt: Sie konnten mit Hilfe der Messkammer nicht nur die Richtung, sondern auch die Stärke des irdischen Magnetfeldes im Labor auf rund zehn Prozent genau bestimmen. Für diese Messungen wurde die Kammer mit einer Salzlösung als leitendem Medium gefüllt. Der Lösung wurden rote Blutkörperchen zugesetzt, deren Oberflächenladung man zuvor neutralisiert hatte: Sie dienten als Indikator-Partikel, um die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsströmung in der Kammer zu beobachten. Dann wurde die Kammer geeicht. Dazu legte man ein Magnetfeld von bekannter Stärke an und ermittelte die Auslenkungsgeschwindigkeit der Blutkörperchen in der Nähe der Elektroden. An demselben Messpunkt mass man sodann die Geschwindigkeit der Blutkörperchen bei verschiedenen Orientierungen der Kammer im Raum – diesmal ohne künstliches Feld, also nur unter Einfluss des Erdmagnetfeldes: Aus den so erhaltenen Werten liess sich anhand des Eichwerts die Richtung des Erdfeldes bestimmen und auch dessen Stärke errechnen. Vergleiche mit Magnetometer-Messungen bestätigten eine Genauigkeit von etwa zehn Prozent.

Damit war zum einen gezeigt, dass die Messkammer als Kompass dienen konnte, dass sich also eine magnetisch induzierte Flüssigkeitsströmung prinzipiell zur Messung des Erd-

magnetfelds eignete. Zum anderen waren die Bedingungen, unter denen dieser Kompass funktionierte, auch «biologisch plausibel». Denn sowohl die Stärke des elektrischen Feldes in der Kammer als auch die Konzentration der Salzlösung lagen noch innerhalb der Werte, wie sie auch in Organismen möglich sind. «Wir haben damit», resümiert Ruhenstroth-Bauer, «das erste Modell eines Magnet-Sinnesorgans, eines biologischen Magnet-Kompasses, das experimentell begründet und auch biologisch möglich ist – im Gegensatz zu allen bisherigen, rein theoretischen Modellen, die auf der einen oder anderen kaum realisierbaren Bedingung aufbauen.»

Wie könnte das biologische Original dieses Modellorgans beschaffen sein? Im einfachsten Fall wäre dafür nur eine Reihe von parallel nebeneinander liegenden Nervenzellen nötig, also keineswegs ein grosses und kompliziertes, sondern eher ein *mikroskopisches Organ*: Depolarisationsvorgänge in den Membranen einzelner dieser Zellen könnten die nötige Spannung liefern, um Ionenströme zu erzeugen, die ihrerseits wieder Flüssigkeitsbewegungen auslösen – die dann schliesslich auf entsprechende Druck-Rezeptoren wirken. Für eine solche einfache Erklärung spricht, dass es auch niedere Organismen gibt, die auf Magnetfelder reagieren. Dazu Ruhenstroth-Bauer: «Es scheint sich beim Biomagnetismus um eine Fähigkeit zu handeln, die vereinzelt schon auf frühen Entwicklungsstufen des Lebens auftrat.» Vielleicht hat man darüber bald Gewissheit, denn das Modell der Martinsrieder Wissenschaftler erlaubt nun erstmals eine gezielte Suche – nachdem die «biologische Magnetnadel» bisher eher jener sprichwörtlichen Stecknadel im Heuhaufen glich.

Walter Frese, München

## Raumsonden zu Kometen

Eine Reihe ungewöhnlicher Begegnungen im All planen die *Amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde* (NASA) und die *Europäische Raumfahrtorganisation* (ESA) möglicherweise gemeinsam: Sie wollen erstmals Raumsonden zu Kometen schicken.

Nach den neuesten Vorschlägen der NASA soll die Kometensonde im August 1985 von der Weltraumfähre «space shuttle» aus starten und im November 1985 einen schnellen Vorbeiflug («fast-fly-by») im Abstand von wenigen 1000 Kilometern am *Kometen Halley* unternehmen. Dieses Konzept bietet zum Beispiel die Möglichkeit, dass die Raumsonde kurz vor dem Ziel eine zweite Kapsel ausstösst: Das Mutterfahrzeug könnte dann unmittelbar vor dem Kometenkopf, die «Tochter» hingegen durch den Schweif von «Halley» hindurchfliegen.

Während der Tochter-Satellit vermutlich durch die mit knapp 200000 km/h Geschwindigkeit auf die Sonde prasselnden Staubteilchen des Kometen stark beschädigt wird, fliegt die «Mutter» weiter zum Kometen *Tempel-2*: Ein Ionenantrieb soll ihre Geschwindigkeit allmählich so steigern, dass sie im Juli 1988 genau so schnell wie dieser Haarstern fliegt und damit in der Lage ist, ihn bei dieser «Rendezvous-Mission» möglichst während eines gesamten Umlaufs um die Sonne zu begleiten.

Dieses Projekt ähnelt den derzeitigen europäischen Vorstellungen von einer Kometen-Mission am meisten: Unabhängig von den Amerikanern plant die ESA einen schnellen Flug durch den Schweif des Kometen Halley. Dabei soll das Raumfahrzeug mit Hilfe der in Frankreich (mit Beteiligung der Bundesrepublik) entstehenden «Ariane»-Rakete gestartet

werden. Wenn die europäische Kometen-Sonde die Erkundung der staubigen Umgebung des «Halley» unbeschädigt übersteht, könnte sie nach «Swing-by»-Manövern durch die Anziehungskraft der Erde im Januar 1988 am Kometen Borelly und später auch am Kometen Tempel-2 vorbeifliegen.

«Bei der NASA besteht grosses Interesse, diese Projekte zusammen mit den Europäern zu verwirklichen», bestätigt *Hugo Fechtig* vom *Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg*. Fechtig ist Mitglied der amerikanischen Studien-gruppe, die solche Kometen-Missionen untersucht. Ausserdem bereitet der Heidelberger Kosmochemiker einen work-shop vor, bei dem die europäischen Wissenschaftler ihre Vorstellungen von einer Kometen-sonde diskutieren und in Form von Empfehlungen der europäischen Raumfahrtorganisation ESA vorlegen wollen. Fechtig strebt eine Zusammenarbeit zwischen den USA und Europa im Rahmen des «Mutter-Tochter-Projekts» für die Kometen-Mission an: «Dies hätte den Vorteil, dass auf beiden Raumsonden eine gemischte Nutzlast, das heisst, jeweils die besten Experimente aus Amerika und Europa eingesetzt werden könnten», sagt Fechtig. «Weil aber noch völlig offen ist, ob die Amerikaner diesen Flug 1985 überhaupt durchführen, wären die Europäer gut beraten, wenn sie eine unabhängige Kometen-Mission planen.»

Eine Raumsonde zu einem Kometen bietet, wie der amerikanische Wissenschaftler *Fred L. Whipple* vom *Smithsonian Astrophysical Observatory in Cambridge/Massachusetts* auch im Namen anderer Forscher formulierte, die einzige Möglichkeit, «die vitale Frage zu klären, zu welchem Prozentsatz wir alle aus Kometen-Materie bestehen.» Von Whipple stammt das derzeit von den meisten Wissenschaftlern aner-