

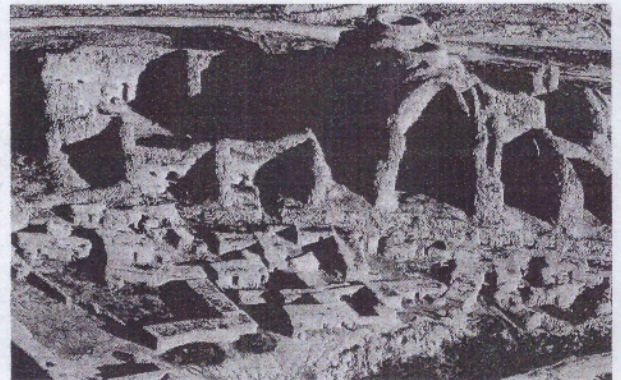
bild der Wissenschaft

Editorial	6
Dr.-Erich-Salomon-Preis 1977 für bild der wissenschaft	
Impressum	12
Große wissenschaftliche Aktion Gut essen und gesund bleiben: Teilnehmer berichten	15
Innovation	24
Die Autoren	34
Akzent	39
Archäologie Die Paläste des Königs Ardaschir Georg Gerster/Dietrich Huff	48
Geologie Der Ätna Hans-Dieter Heck	64
Physik Synchronfotografie Dagmar Hailer-Hamann/Axel Schönbacher	88
Elektronik Hochintegrierte Schaltungen Manfred Kage/Peter Killius	96
Wissenschaft & Gesellschaft Kraft durch Pillen? Robert Jungk	120
Kolumne Das Subjektive in der Medizin A. David Jonas	125
Geschichte Bodenbearbeitung – Spiegel der Zivilisationsgeschichte Karl-Rolf Schultz-Klinken	130
Immunchemie Radio-Immuno-Assay Ernst A. Stadlbauer/Volkward E. Strauß	146
Astronomie Radioteleskope im weltweiten Verbund Rolf Schwartz/Arno Witzel	158
Geschichte der Naturwissenschaften Die Frau in der Wissenschaft Andreas Kleinert	178
Psychologie Wie entstand unser Bewußtsein? Hellmuth Benesch	192
Raumfahrt Ariane – Europas eigene Trägerrakete Horst W. Köhler	208
Astronomie heute	220
Bücher	222
Wissenschaft vor 100 Jahren	236
Mathematisches Kabinett	248
Dokumentation	255
Bibliographie/Bildnachweis	260
Vorschau	262

Georg Gerster/Dietrich Huff

Die Paläste des Königs Ardaschir

Archäologen konnten im südlichen Iran die legendenhaften Berichte über die Entstehung des sassanidischen Großreiches anhand von archäologischen Funden „nachvollziehen“. Die Luftbild-Archäologie half ihnen dabei entscheidend. Seite 48



Dagmar Hailer-Hamann/Axel Schönbacher

Synchronfotografie

Ein neues fotografisches Verfahren enthüllt das Geheimnis der lodernen Flamme. Denn erstmals ist es gelungen, das Interferogramm einer Flamme und diese selbst auf einem Bild darzustellen. Dadurch wird es möglich, die Vorgänge in turbulenten Flammen zu untersuchen, die mit unerwartet hohen Geschwindigkeiten ablaufen. Seite 88

Andreas Kleinert

Der lange Weg der Frau in die Wissenschaft

Es ist erst etwas über 60 Jahre her, daß den Frauen die Universitäten geöffnet wurden. War das „gelehrte Frauenzimmer“ früher geachtete Gesprächspartnerin, so wurde die Frau seit der Romantik von der akademischen Bildung systematisch ausgeschlossen. Seite 178

Rolf Schwartz/Arno Witzel

Radioteleskope im weltweiten Verbund

Teleskope, mit denen man die Kerne ferner Galaxien untersuchen könnte, kann man nicht bauen. Die Radioastronomen beobachten aber gleichzeitig mit weit entfernten Teleskopen und simulieren so ein Teleskop, das interkontinentalen Ausmaßen entspricht. Seite 158

Hans-Dieter Heck

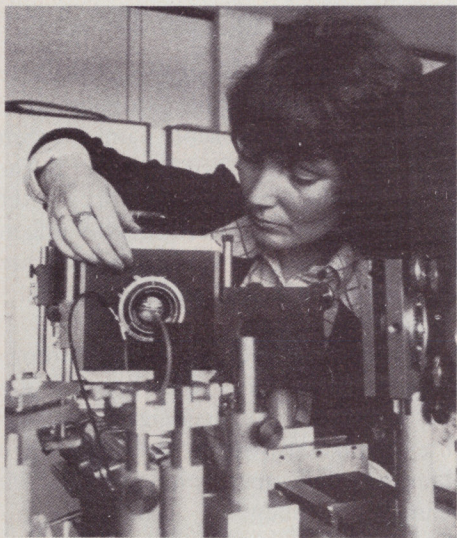
Der Ätna – Biografie von Europas größtem Vulkan

Aktiv ist der Ätna fast immer, jedoch richtet er weniger Schaden an als er nutzt – etwa als Wasserspeicher für die Landwirtschaft. Er liegt in einer tektonisch höchst unruhigen Gegend, in der sich verschiedene Erdschollen – vor allem die afrikanische und die

europäische Platte – „reiben“. Diese gewaltigen Kräfte treiben den Ätna ständig weiter nach Norden. Seite 64



Physik in schönen Bildern



Dagmar Hailer-Hamann

„Die Schönheit in der Wissenschaft möchte ich darstellen. Denn Wissenschaft ist schön, man muß nur richtig hinsehen.“ Die Wissenschaftler, mit denen Dagmar Hailer-Hamann zusammenarbeitet, hielten anfangs nicht viel von solchen „unwissenschaftlichen Sprüchen“. Inzwischen haben sie gelernt, daß ein Foto nichts an dokumentarischem Wert dadurch einbüßt, daß es auch den ästhetischen Aspekt der Objekte wiedergibt.

Sichtbare Einblicke in die entfesselte Höllenglut

Diese Objekte sind aber alles andere als einfache Apparate, Maschinen oder Experimentier-Geräte. Statt handfester Dinge handelt es sich vielmehr um Vorgänge, kurzlebige Zustände, rasch verblassende Lichtblitze, die auf den ersten Blick recht wenig fotogen erscheinen.

„In den meisten Fällen reicht es nicht aus, eine gute Fotoausrüstung zu haben und die zu beherrschen. Das ist nur eine Grundvoraussetzung für meine Arbeit. Um aber etwa Entladungsvorgänge im Plasma oder gar Temperaturverteilungen bei Fusionsreaktionen im Bild festzuhalten, muß ich mich intensiv mit den physikalischen Grundlagen dazu befassen.

Ich muß das Experiment, das gerade läuft, verstehen. Ideal ist, wenn ich von Anfang an mit dabei bin. Gleichzeitig mit der Entwicklung eines Experiments entstehen bei mir die Vorstellungen über eine fotografische Dokumentation, die dann in einigen wenigen Bildern gipfelt – physikalische Aussagen in der Form schöner Bilder. Das ist das Ziel meiner Arbeiten, das ich mir gesteckt habe.“

Vereinigung von Wissenschaft und Ästhetik

Das sie auch erreicht hat, was von den Wissenschaftlern anerkannt wird. Denn die Fotos von Dagmar Hailer-Hamann begleiten nicht nur die Experimente. Sie sind ein Teil davon. Oft ein unentbehrlicher: Aus einigen Aufnahmen Millionen Grad heißer Plasma-Schläuche ließen sich Temperaturverteilung und Inhomogenitäten ablesen.

Solche Aufnahmen („Schüsse im Plasma“, bild der wissenschaft Heft 7/1974) gehen weit über normales Fotografieren hinaus. Dagmar Hailer-Hamann entwickelte – oft in nächtelanger Arbeit – ihre eigenen Methoden, um die gleißende Helle fotografisch in den Griff zu bekommen.

Auch die zunächst skeptischen Forscher waren fasziniert von den Bildern. Sie hatten nun einen sichtbaren Einblick in die entfesselte Höllenglut. Bis dahin konnten sie die Ereignisse nur über Meßgeräte verfolgen, geschützt hinter dicken Barrieren aus Stahl und Beton.

Bei der holografischen Interferometrie von Benzintankflammen (in diesem Heft ab Seite 88) war das Bild – in diesem Fall der Hochgeschwindigkeitsfilm – sogar ein unentbehrlicher Teil der Untersuchungen. Die Auswertung der Filme lieferte das Ergebnis des Experiments.

Die Entstehung solcher Aufnahmen ist meist selbst schon ein Experiment. „In den seltensten Fällen komme ich mit einer einfachen Belichtung aus. Die Helligkeitsdifferenzen sind dafür viel zu groß. Einzelne Bildpartien werden aus

Quellen mit vielen tausend, manchmal Millionen Grad belichtet. Die Gegenstände daneben sollen weder total überstrahlt werden noch im tiefen Schwarz verschwinden.

Das Problem läßt sich nur durch Mehrfachaufnahmen oder partielle Belichtungen lösen. Die Bestimmung der Einzelbelichtungen ist natürlich schwierig. Messen kann man die oft nicht. Aber mit der Zeit bekommt man seine Erfahrung, wie man Helligkeiten abschätzt, bei denen jeder Belichtungsmesser streikt.“

Phantasie, Intuition und Erfahrung sind die Wege, die zu den Hailer-Hamann-Bildern führten. Aber auch mühevoller Kleinarbeit, oft gegen den Widerstand der Wissenschaftler.

»Wenn man richtig hinguckt, ist Wissenschaft schön«

„Anfangs war es schwer, zu den einzelnen Forscherteams Zugang zu finden. Ich spürte oft, wie man mich als Fremdkörper betrachtete: Was soll denn die Fotografin dabei? Wobei vielleicht auch eine Rolle spielte, daß ich eine Frau bin.

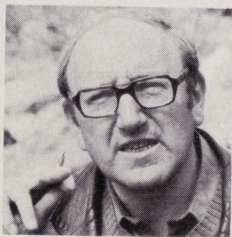
Ich wollte mich nicht mit der reinen Routine-Arbeit zufriedengeben: Experimentanordnungen und Oszillografenbilder fotografieren oder sonstige einfache Dokumentation. Ich wollte fotografisch am Experiment teilnehmen.

Meine Bilder waren es dann, die für mich sprachen. Nach vielen Enttäuschungen – nicht selten mit heimlichen Tränen – schaffte ich vor etwa zehn Jahren den Durchbruch mit einer Bildserie zur ‚Temperaturskala‘, einer Dokumentation der Energiequellen – von der Kerzenflamme über leuchtende Plasmen bis zur Sonnenglut.

In meinen Fotos sind wissenschaftliche Aussage und Bildästhetik vereint. Das ist der Grund dafür, daß ich nicht nur als wissenschaftliche Fotografin, sondern auch – und darauf bin ich besonders stolz – von den Wissenschaftlern als Partner anerkannt werde.“

DIE AUTOREN

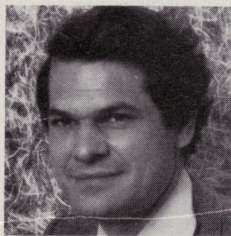
Dietrich Huff („Die Paläste des Königs Ardaschir“) wurde 1934 im Fernen Osten geboren und studierte in Berlin Architektur und Baugeschichte und kam mehr über das Hobby zur Archäologie. Nach einer Zeit als Referent für Architektur am Deutschen Archäologischen Institut in Istanbul arbeitet Huff seit



1973 an der Abteilung Teheran des DAI. Der Ebene von Firuzabad gilt sein Interesse seit Beginn der siebziger Jahre. Aufgrund dieser Vorarbeiten leitet er jetzt auch die archäologischen Grabungen im Zusammenhang mit der geplanten Restaurierung der frühsassanidischen Monumente.

*

Axel Schönbacher („Synchronfotografie“), geboren 1945 in Korntal, studierte an der Universität Stuttgart Chemie. Thema seiner Diplom- und seiner Doktorarbeit (1970 und 1973) waren Untersuchungen an Triphenylmethan-Farbstoffen. Seit 1974 ist Schönbacher



wissenschaftlicher Assistent am Institut für technische Chemie der Universität Stuttgart, Abteilung Flammenforschung. Er beschäftigt sich hauptsächlich mit Arbeiten über die statistische Theorie der Turbulenz und Diffusion.

Peter Killius („Hochintegrierte Schaltungen“), geboren 1940 in Stuttgart, studierte Physik an der Technischen Universität in Berlin, war anschließend wissenschaftlicher Mitarbei-



ter am Institut für Mineralogie und Kristallchemie der Universität Stuttgart und promovierte 1972. Danach trat er in die Firma Standard Elektrik Lorenz ein, ist heute dort im Forschungslaboratorium tätig und verantwortlich für Entwicklung und Anwendung von hochintegrierten Kundensaltungen.

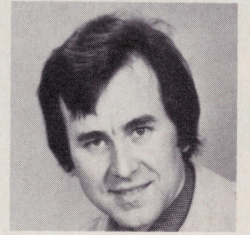
*

Karl-Rolf Schultz-Klinken („Bodenbearbeitung“), geboren 1922 in Crivitz/Meckl., studierte Geschichte, Archäologie, Volkswirtschaft und Landwirtschaft in Greifswald und Rostock. Promotion 1953, Habilitation 1956. Zehn Jahre



Praxis in der Landwirtschaft: Selbständiger Landwirt, Tier- und Pflanzenzucht, Projektmanager. Seit 1969 Leiter des Deutschen Landwirtschaftsmuseums Hohenheim und Professor an der Universität Hohenheim. Arbeitsgebiete: Angewandte Agrargeschichte als Grundlage der Entwicklungsplanung, Siedlungsgeschichte und Kulturgeschichte.

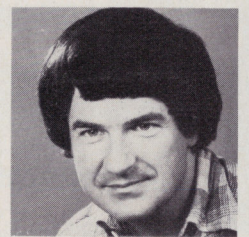
Ernst A. Stadlbauer („no-Assay“), geboren 1938 in Chemnitz, studierte Chemie an der Universität von Kalifornien, wo er 1972 mit einem Thema promoviert. Arbeitete er als Stipendiat an der University of California (USA) am Pharmazeutischen Institut der Universität Berlin. Seit 1973 Dozent im Fachbereich



Physik, Naturwissenschaften und der Bearbeitung der Fachhochschule. Arbeitsgebiete: Bioorganische Radiodiagnostika.

*

Rolf Schwartz („Radioastronomie“), geboren 1938 in Aachen, studierte Physik und Astronomie an der Universität Bonn. Er promovierte 1964 zum Thema „Die Radiostruktur des Sternhaufen bei 1,4 und 2,1 GHz“. 1968 ist Schwartz am Max-Planck-Institut für Radioastronomie beschäftigt, seit 1972 ist er



für Beobachtungsplanung und Beobachtungszeitkoordination (10 cm Radioastronomie bei Effelsberg). Seine Forschungsgebiete umfassen die Kosmologie und die Interferometrie.

Arno Witzel („Radioastronomie“), geboren 1942 in Dillingen, studierte Physik und Astronomie an der Universität Bonn. Er promovierte 1969 zum Thema „Radioastronomische Untersuchungen extragalaktischer Objekte“. Nach Auslandsaufenthalt in Frankreich ist er seit 1973

Ja, bitte FR
Wenn ich von nur D und bitte reihe »M« erhalte ic kostenlos überweise Porto- und eine best jederzeit a Mit dem l »Stammbs Geschenk. Einführung

Name/Vor

Straße/Nr

PLZ

X
Untersch
Wichtig: E
Ihren Ein
4063-27

Synchronfotografie
Dagmar Hailer-Hamann (Fotos) / Axel Schönbacher (Text)

Geheimnis der lodernden Flamme

Leuchtende Flammen sind reizvolle Objekte für jeden Fotografen. Wenn es sich aber etwa um brennende Benzintanks handelt, haben auch Feuerwehr und Sicherheitsingenieure ein berufliches Interesse, denn durch die starke Wärmestrahlung werden auch Nachbaranlagen gefährdet. Hier hat sich die Fotografie als nützlich erwiesen: Durch ein neuartiges Aufnahmeverfahren ist es gelungen, die Wärmeverteilung in lodernden Flammen und die Dynamik der Verbrennungsvorgänge genau zu studieren. Eins der Ergebnisse: Die Temperaturspitzen wurden bisher weit unterschätzt.

Benzin, Heizöl und Erdgas werden in der petrochemischen Industrie in Tanks mit bis zu 100 m Durchmesser gelagert. Geraten sie in Brand, strahlen die Flammen bis zu 50% ihrer Hitze als Wärmestrahlung an die Umgebung ab. Dadurch können weitere Brände entstehen und Nachbaranlagen in Gefahr bringen.

Um ein Sicherheitsrisiko möglichst gering zu halten, muß man es genau abschätzen, man muß sich also auch mit den physikalischen, chemischen und aerodynamischen Eigenschaften von Tankflammen befassen. Dies ist eine unserer theoretischen wie experimentellen Forschungsarbeiten am I. Institut für Technische Chemie der Universität Stuttgart. Zu den experimentellen Verfahren gehört die holografische Durchlicht-Interferometrie.

Das optische Gerät, das holografische Interferometer, ist relativ einfach zu justieren und erfordert nur noch eine relativ geringe Qualität der optischen Bauteile, ganz im Gegensatz zu den klassischen Interferometern. Allerdings müssen alle mechanischen Schwingungen vollständig vermieden werden.

In der ersten Phase unserer Versuche untersuchten wir laminar brennende Benzintankflammen; der Tankdurchmesser betrug dabei 28 mm. Damit wollten wir die Anwendungsmöglichkeiten der interferometrischen Holografie te-

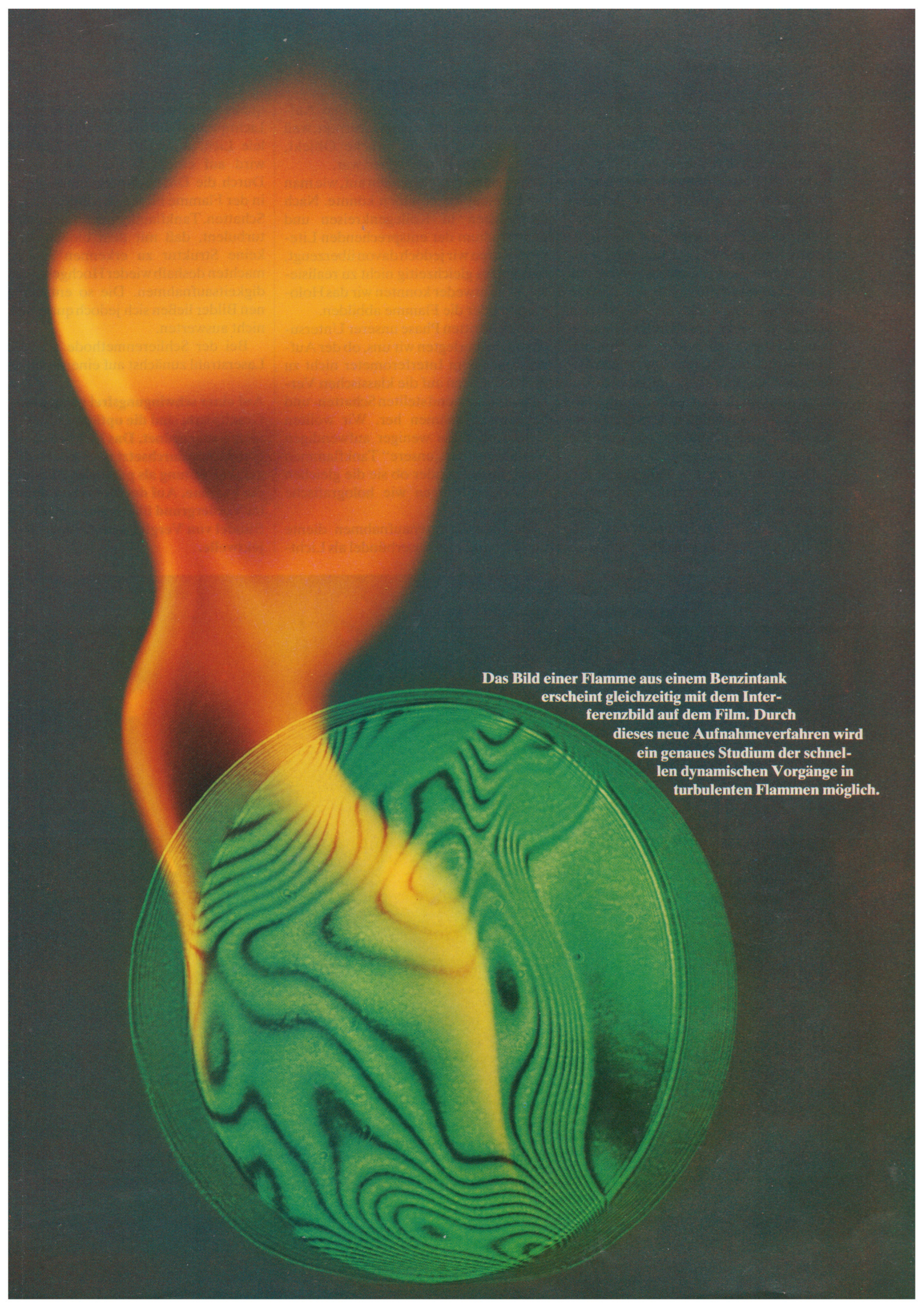
sten. Als Lichtquelle diente ein Helium-Neon-Laser mit einer Leistung von 15 mW.

In der zweiten Phase benutzten wir Tanks mit einem Durchmesser von 40 mm. Die Lichtquelle war die gleiche geblieben.

Bei diesen größeren Tankdurchmessern konnte man auf dem Schirm kein Bild mehr sehen, weil die Bewegungsunschärfe zu groß wurde. Auch Detailstrukturen waren nicht mehr erkennbar. Hier ergab sich der erste Hinweis, daß bei den Versuchen Hochgeschwindigkeits-Filmaufnahmen nötig sind.

Wir versuchten es zunächst mit Standaufnahmen. In das Laserlicht, das zunächst ein paralleles Lichtbündel war, hatten wir dazu eine Linse eingeführt, um konvergentes oder divergentes Licht zu erhalten. Nun – so meinten wir – brauchte man nur noch wesentlich kürzere Belichtungszeiten, um die Bewegungsunschärfe zu beseitigen.

Wir erkannten aber schnell, daß wir die fotografischen Probleme nicht mehr allein lösen konnten und baten deshalb die wissenschaftliche Fotografin Dagmar Hailer-Hamann um Mithilfe. Wir wußten, daß sie sich in schwierige physi-



**Das Bild einer Flamme aus einem Benzintank
erscheint gleichzeitig mit dem Inter-
ferenzbild auf dem Film. Durch
dieses neue Aufnahmeverfahren wird
ein genaues Studium der schnel-
len dynamischen Vorgänge in
turbulenten Flammen möglich.**

Synchronfotografie

kalische Prozesse hineindenken kann, wie sie es zum Beispiel mit ihren exzellenten Aufnahmen bei den Plasma-Forschungen im Münchener Max-Planck-Institut für Plasmaphysik bewiesen hatte (bild der wissenschaft 7/1974 „Schüsse im Plasma“).

Wir setzten nun erstmalig die High-Speed-Kamera ein. Das Interferogramm hatten wir zunächst mit einer gewöhnlichen Mattscheibe aufgefangen und dabei festgestellt, daß es viel zu lichtschwach war. Frau Hailer-Hamann kam auf die rettende Idee: Sie riet, den Lichtverlust dadurch auszugleichen, daß wir das Objektiv der High-Speed-Kamera ganz wegließen und das holografische Bild direkt auf den Film fokussierten. Das hört sich einfach an, aber die Justierung war ungeheuer schwierig.

Diese Aufnahmen – 9000 Bilder pro Sekunde – zeigten erstmalig eine Detailstruktur. Die scharfen dunklen Linien sind Linien gleicher Dichte oder auch – in guter Näherung – Isothermen, also

Linien gleicher Temperatur. Die Aufnahmen waren jedoch sehr abstrakt, weil die Flamme, das eigentliche Objekt, nicht auf dem Bild zu sehen war.

Es kamen Überlegungen auf, wie man die Flamme mit abbilden könnte. Nach Gesprächen in Kollegenkreisen und dem Studium der entsprechenden Literatur waren wir jedoch davon überzeugt, daß beides gleichzeitig nicht zu realisieren ist: Entweder konnten wir das Hologramm oder die Flamme abbilden.

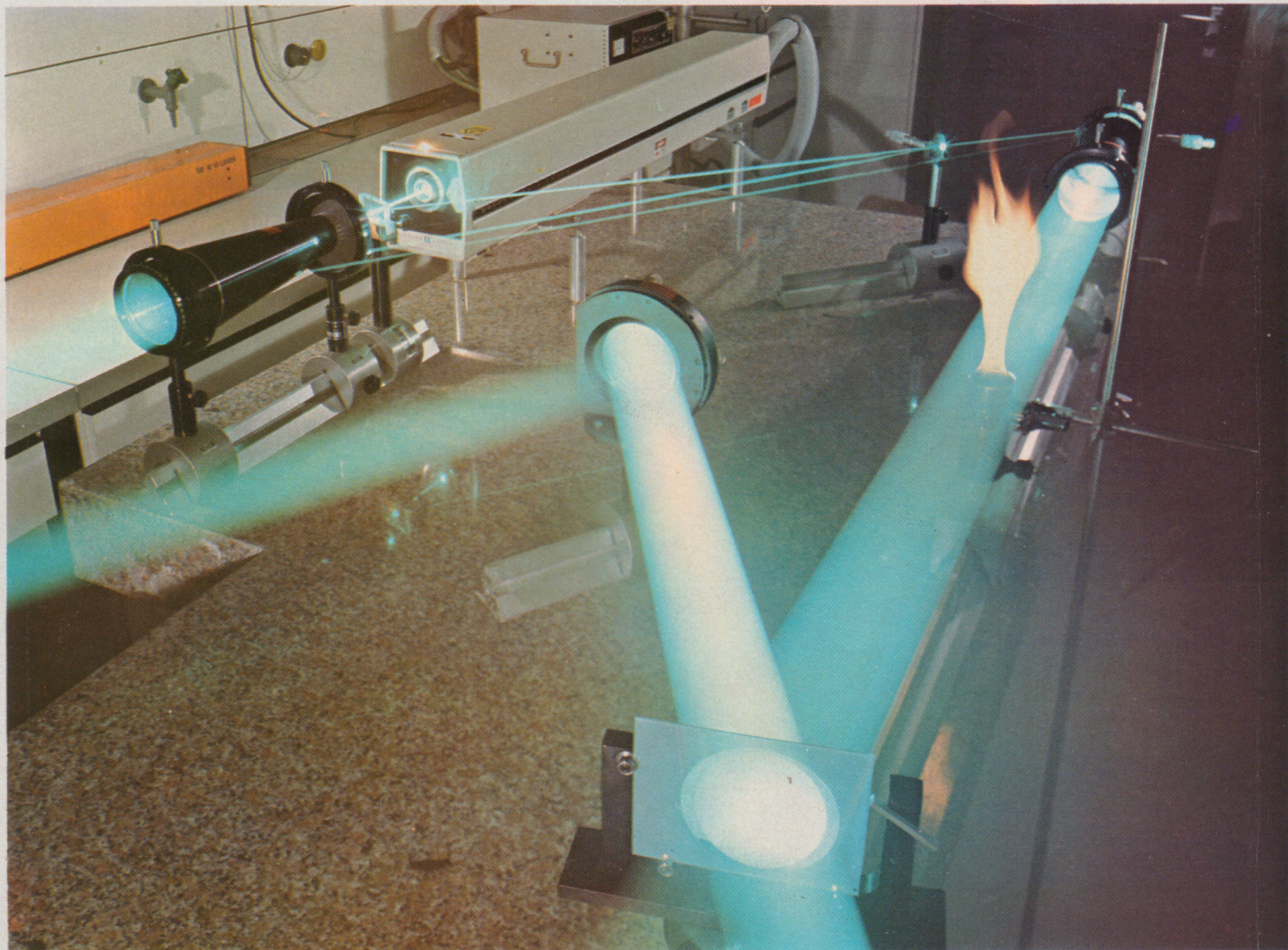
In der dritten Phase unserer Untersuchungen überlegten wir uns, ob der Aufwand mit dem Interferometer nicht zu groß ist, griffen auf die klassischen Verfahren zurück und stellten Schatten- und Schlierenaufnahmen her. Wir wollten testen, ob diese weniger aufwendigen Verfahren über „unsere“ Tankflammen mehr aussagen oder ob sie die gleichen Ergebnisse bringen wie holografische Methoden.

Bei den Schattenaufnahmen diente uns ein paralleles Laserbündel als Licht-

quelle; man kann aber auch jede andere Lichtquelle dafür nehmen. Dieses parallele Licht durchsetzt die Flamme und wird auf einem Schirm aufgefangen. Durch die Dichte-Unregelmäßigkeiten in der Flamme bilden sich linienförmige Schatten. Tankflammen brennen aber so turbulent, daß mit dem bloßen Auge keine Struktur zu erkennen ist. Wir machten deshalb wieder Hochgeschwindigkeitsaufnahmen. Die so entstandenen Bilder ließen sich jedoch quantitativ nicht auswerten.

Bei der Schlierenmethode wird der Laserstrahl zunächst auf einen Spalt ab-

Auf einer schwingungsfrei gelagerten Granitplatte sind die optischen Elemente angeordnet. Das Licht eines Argon-Lasers durchsetzt nach zweimaliger Aufweitung als paralleles Bündel die Flamme. Auf der Hologrammplatte im Vordergrund überlagern sich die Bündel von Vergleichswelle und Objektwelle.



Synchronfotografie

gebildet. Von da aus durchsetzt das Licht die Flamme und trifft auf einen zweiten Spalt. Würde die Flamme keine Dichte-Unregelmäßigkeiten aufweisen, würde der Schirm, der sich hinter dem zweiten Spalt befindet, völlig dunkel sein. Die Dichte-Gradienten der Flamme lenken aber das Licht ab – manchmal trifft es auf den zweiten Spalt: Auf dem Schirm entstehen die charakteristischen Schlierenaufnahmen.

Schattenaufnahmen, Schlierenaufnahmen und die holografische Interferenzmethode geben verschiedene Bilder des gleichen Gegenstandes wieder. In allen drei Fällen sorgen die Dichte-Inhomogenitäten der Flamme – genauer gesagt die inhomogene Brechzahl – für eine Lichtablenkung. Während bei der holografischen Interferometrie diese Brechzahl direkt gemessen wird, entsteht bei Schlierenaufnahmen die erste Ableitung der Brechzahl, bei Schattenaufnahmen die zweite Ableitung. Ähnlich wie die Geschwindigkeit eines be-

Die Phase vier unserer Untersuchungen begann damit, daß wir die Tankflamme direkt mit einer High-Speed-Kamera fotografierten. Dabei stellte sich heraus, daß die Flammenintensität groß genug war, um 5000 Bilder pro Sekunde aufzunehmen. Diese Phase ist der Schlüssel zu unseren Ergebnissen geworden.

Unser Wunsch war es immer, Flamme und Interferogramm gleichzeitig, auf dem gleichen Film abzubilden – eventuell beide Bilder fototechnisch zu überlagern. Solch eine Überlagerung wäre jedoch auf fast unüberwindliche technische Schwierigkeiten gestoßen: Bei der hohen Geschwindigkeit die jeweils entsprechenden Streifen zur gleichen Zeit, an der gleichen Stelle wiederzubekommen, scheint kaum möglich zu sein.

Es ergab sich auch eine theoretische Schwierigkeit: Zwei Kameras können nicht zur gleichen Zeit an der gleichen Stelle stehen – aber wir brauchten das Hologramm und das Flammenbild exakt

und ist sehr wellenlängen- und intensitätsstabil.

Zudem wollen wir – das sind unsere Planungen für die nächsten Monate – vor die Tankflamme eine Mattscheibe setzen, um die ganze Flamme ausleuchten zu können. Das geht auf Kosten der Lichtleistung, auch dafür brauchen wir den stärkeren Laser.

Turbulenzen in der Flamme

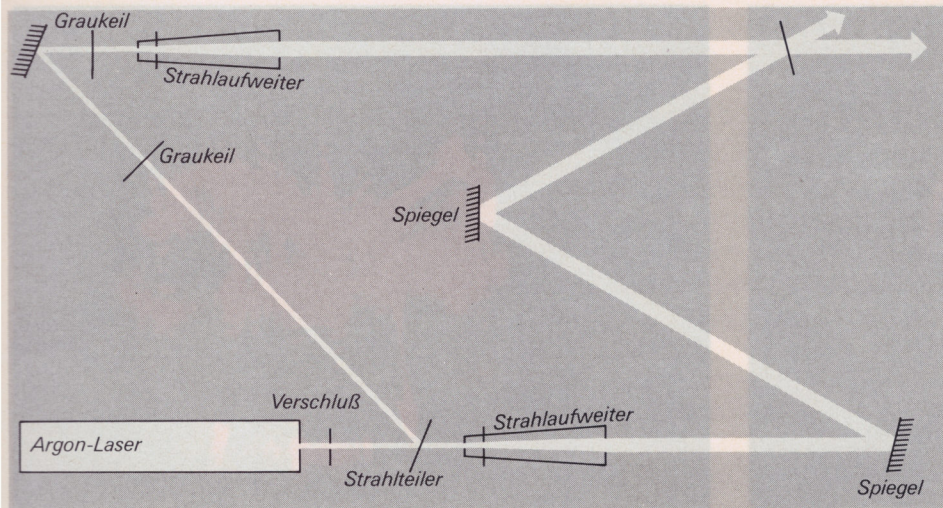
Ein zunächst unüberwindbar scheinendes Problem waren die mechanischen Schwingungen. Jede Schwingung, schon im Bereich von Millionstel Millimeter Wellenlänge, mußte verschwinden. Besonders stören auch die Frequenzen um 10 und 20 Hz. Das sind in erster Linie die Gebäudeschwingungen. Hinderlich war auch die Wasserkühlung des Lasers. Die Schwingungen des fließenden Wassers konnten wir jedoch relativ einfach beseitigen.

Gleichzeitig erhöhten wir den Tankdurchmesser auf 50 mm, wir wollen ja schließlich echte Tankbrände simulieren. Unsere Modelltanks waren zylindrische Behälter, die oben offen sind. Es brennt nicht die Flüssigkeit selbst, sondern der aufsteigende Dampf. Die Abbrandrate beträgt ungefähr 3 mm/min., um diese Rate senkt sich der Flüssigkeitsspiegel, was abhängig ist vom Durchmesser des Tanks. Die Geschwindigkeit des aufsteigenden Dampfes beträgt etwa 1 cm/sec.

Von diesen Werten her müßte sich formal eine laminare Flamme ergeben, das aber scheint „Ansichtssache“ zu sein: Auf unseren Filmen sind die Turbulenzballen schon mit dem bloßen Auge zu sehen; Flammenfetzen lösen sich ab und steigen nach oben. Das sind zweifelsfrei turbulente Erscheinungen – Tankflammen können also turbulent brennen. Versuche mit nichtturbulenten, also laminaren Flammen, etwa bei einem Bunsenbrenner, ergeben sehr gleichmäßige, ruhige Interferenzbilder.

Je größer der Tankdurchmesser, desto turbulenter wird der Austausch zwischen Flamme und Umgebung. Wir haben Filme mit bis zu 8000 Bildern pro Sekunde, die überraschend scharf und kontrastreich sind.

Bei diesen Untersuchungen zeigte sich, wie wichtig das unmittelbar sichtbare Bild von den Vorgängen ist. Man könnte ja das Laserlichtbündel, das das Interferogramm enthält, auch direkt auf



wegen Gegenstandes die erste Ableitung der durchlaufenen Strecke ist und die Beschleunigung die zweite Ableitung.

Bei vielen Flammen geben Schlieren- und Schattenaufnahmen phantastische und scharfe Bilder. Bei Tankflammen jedoch versagen diese Verfahren normalerweise, weil die Dichtegradienten meist sehr gering sind.

Das wiederum ist jedoch günstig für das Verfahren mit der holografischen Interferometrie. Wäre die Lichtstrahlablenkung durch Dichte-Schwankungen groß, müßte man mit aufwendigen Rechenverfahren diesen Effekt für die Auswertung korrigieren.

aus der gleichen Richtung. Eine Möglichkeit wären halbdurchlässige Spiegel gewesen. Damit hätten wir Flamme und Interferogramm zwar gleichzeitig, aber auf zwei verschiedenen Bildern gehabt. Immerhin gab uns der Film von der Tankflamme allein schon viele Aufschlüsse über das Verhalten der Flamme selbst.

Für Überlagerungsversuche war der Helium-Neon-Laser ungeeignet, in dem roten Laser-Licht wäre die Flamme unsichtbar geworden. Der nächste Schritt führte uns zu einem Argon-Laser, dessen Licht auch auf grün eingestellt werden kann. Er hat darüber hinaus eine wesentlich höhere Leistung (2000 mW)

Synchronfotografie

den Film fallen lassen und bekäme ebenfalls ein „Bild“, das sich auswerten läßt. Man könnte es zum Beispiel mit einem Densitometer abfahren und durch einen Computer auswerten lassen. Aber wir haben immer wieder gesehen, wie unerlässlich das anschauliche Papierbild war, um weiterzukommen.

Eines Tages wurde es spannend, obwohl es zunächst ganz harmlos anging. Wir hatten mit Linsen „gespielt“, und plötzlich sahen wir auf unserem Schirm zusätzlich das Bild der Flamme: Es war orangerot und überlagert vom Grün des Laserlichtes.

Unsere erste Frage war: Wo kommt das Flammenbild her? Wir hatten es vorher bei unseren Holografieversuchen ja nie gesehen. Das Spiel mit den Linsen war freilich ein zielgerichtetes, planmäßiges Spielen gewesen. Wir wollten ja versuchen, beides zusammen abzubilden, Flamme und Interferogramm. Dennoch überraschte uns das Ergebnis. Durch Zufall hatten wir gefunden, daß

wir ein Bild der Flamme bekommen, wenn wir eine zusätzliche Linse an der richtigen Stelle zwischen Flamme und Filmkamera setzten; dabei wird das Interferogramm mit abgebildet.

Sofort tauchte natürlich die Frage auf, ob sich die Abbildungsmaßstäbe für die Flamme und die einzelnen Interferenzlinien entsprechen. Durch Rechnung und Experiment konnten wir nachweisen, daß Flamme und Interferogramm in gleichem Verhältnis abgebildet werden.

Das ist nicht ganz selbstverständlich, denn das Bild des Interferogramms entsteht durch Abbildung von parallelen Lichtbündeln, während das Flammenbild durch Abbildung von divergenten Lichtbündeln zustandekommt. Wichtig war dabei, daß die Flamme in dem Teil des Strahlenganges stand, der geradlinig von der Hologrammplatte bis zur Kamera verlief. Sonst wäre keine Abbildung der Flamme möglich gewesen.

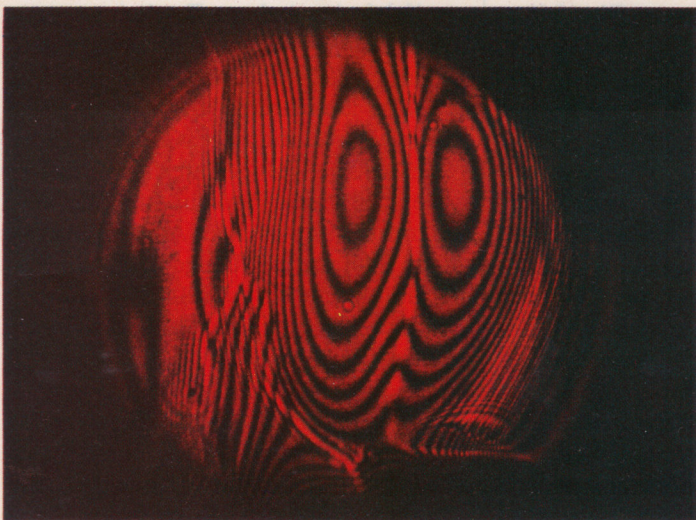
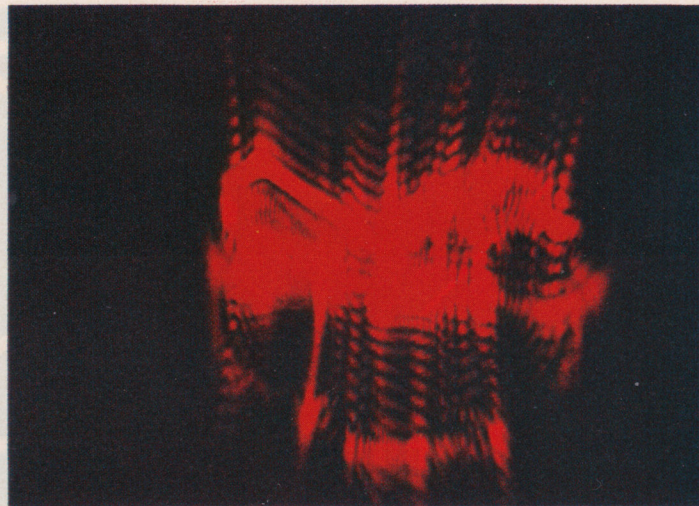
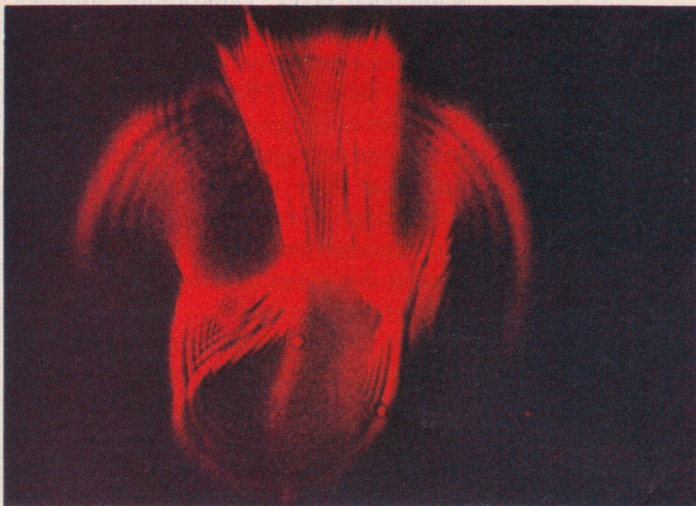
Die sichtbare Flamme muß völlig scharf abgebildet sein. Zusätzlich muß

das Bild des Interferogramms auf das entsprechende Format gebracht werden. Die Flamme hat nur an einer ganz bestimmten Stelle ein scharfes Bild und muß an dieser Stelle die richtige Größe haben. Hier nun liegt das große wissenschaftliche Verdienst von Frau Hailer-Hamann: Sie hat diese fotografischen Probleme in erfreulich kurzer Zeit gelöst. Das war für unsere Forschungen von überragender Bedeutung.

Gewöhnlich ist man bei interferometrischen Aufnahmen bestrebt, das störende Eigenlicht des Objekts (hier der Flamme) zu eliminieren. Dieses Vorgehen schließt natürlich die Herstellung eines überlagerten Bildes von Flamme und Interferogramm aus.

Es gibt grundsätzlich zwei Methoden, um Interferogramme aufzunehmen: die Doppelbelichtung und die experimentell weitaus schwierigere Real-Time-Methode.

Bei der Doppelbelichtungsmethode wird als erster Schritt die Vergleichswel-



Synchronfotografie

le mit Hilfe einer Referenzwelle auf der Hologrammplatte gespeichert. Beim zweiten Schritt zündet man die Flamme und speichert mit derselben Referenzwelle wie vorher die nun durch die Flamme veränderte Vergleichswelle, die „Objektwelle“. Sie ist deformiert durch das Flammenfeld. Man hat dann zwei Wellen gespeichert: Die Vergleichswelle und die deformierte Objektwelle.

Bei dieser Methode ist klar, daß das Eigenlicht der Flamme bei dem zweiten Schritt stört, denn sie belichtet auch die Hologrammplatte.

Bei der Real-Time-Methode stört das Eigenleuchten der Flamme nicht: Zunächst machen wir eine „Nullaufnahme“ ohne Flamme, wir speichern die Vergleichswelle mit der Referenzwelle. Die entwickelte Hologrammplatte setzen wir genau an die ursprüngliche Stelle und zünden jetzt die Flamme.

Mit der Referenzwelle wird nun die Vergleichswelle ständig freigesetzt und überlagert sich momentan mit der Ob-

jektwelle. Dadurch ergibt sich eine kontinuierliche Beobachtungsmethode, mit der man die physikalischen Veränderungen der Flamme im direkten Bild und im Interferogramm verfolgen kann. Das schwache Eigenleuchten der Flamme stört dabei nicht, denn wir wollen die Flamme ja mit im Bild haben. Der Kontrast des Interferogramms ist sehr gut.

Bevor die Flamme gezündet wird, stellen wir ein Nullfeld ein, das heißt, wir justieren durch sehr geringes Kippen eines Spiegels die Platte so ein, daß die Bildfläche gleichmäßig hell ausgeleuchtet ist. Wenn wir dann die Flamme zünden, entstehen die hellen und dunklen Interferenzstreifen.

Das Interferenzbild enthält Aussagen über die Temperaturverteilung in Tankflammen. Wichtig ist zunächst, ob sich geradlinige Streifen bilden, größere oder kleinere Ringe, mehr oder weniger große dunkle oder helle Flächen. Daraus ergeben sich qualitative Aussagen auch über die Umgebung der Tankflamme.

Ziel der Untersuchungen ist das Studium turbulenter Vorgänge, auf die sich zusätzlich auch Turbulenztheorien anwenden lassen. Dabei dürften sich auch neue Erkenntnisse über turbulente Vorgänge in der Atmosphäre ergeben, die bisher noch weitgehend unbekannt sind, besonders bezüglich einer quantitativen Beschreibung. Mit dem bloßen Auge lassen sich nur großräumige Strukturen erkennen, bei der Flamme einzelne Flammenfetzen – aber vollkommen strukturlos. Aus den Interferenzlinien, die ja etwa auch Linien gleicher Temperatur sind, können wir zwar schon sehr viel herauslesen, aber es lassen sich daraus noch weiterreichende Schlüsse ziehen. Die quantitative Auswertung ist in Bearbeitung.

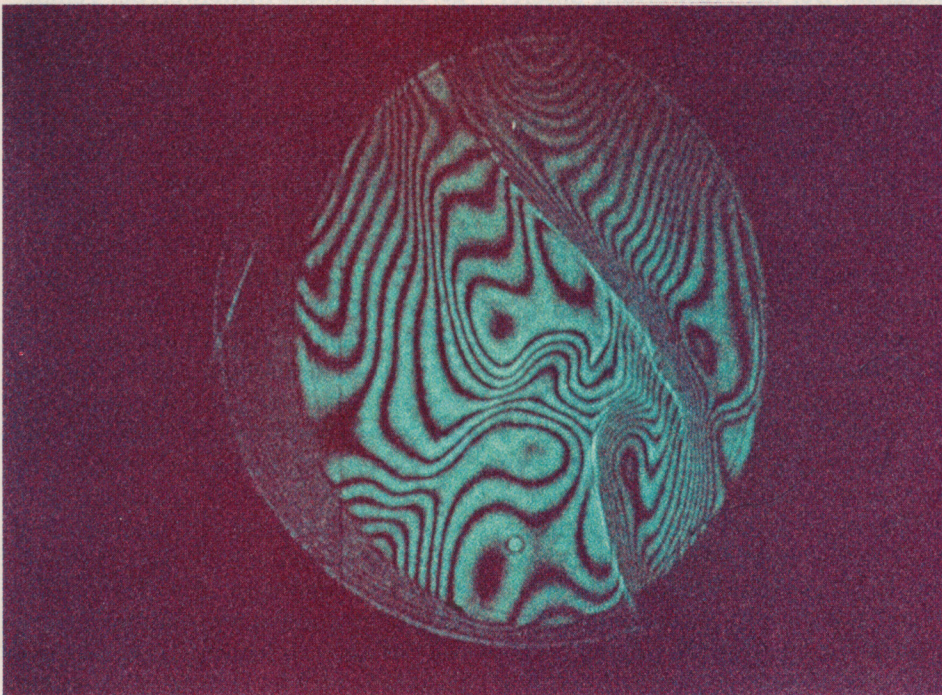
Eine Schwierigkeit bei der synchronen Fotografie von Interferogramm und Flamme war die unterschiedliche Lichtstärke der beiden. Das Interferogramm erlaubte bis zu 9000 Bilder/s, die Flamme dagegen höchstens 5000 Bilder/s. Das Problem schien zunächst gelöst zu sein: 5000 Bilder/s für das Interferogramm und 5000 Bilder/s für die Flamme. So konnte man also beides gleichzeitig aufnehmen. Dabei hatten wir jedoch nicht berücksichtigt, daß das direkte Bild von der Flamme noch durch die Hologrammplatte geschwächt wird. Und diese schluckt rund 50% des Lichtes.

Großbrand im Modell

Mit Hilfe von Polaroid-Standaufnahmen suchten wir nach den richtigen Belichtungszeiten. Den Laser mußten wir in der Intensität „hochtrimmen“, damit er lichtstabil ist, und anschließend mit Filtern die Lichtstärke wieder vermindern, um sie der Helligkeit der Flamme anzugleichen. Schließlich ergab sich eine optimale Filmgeschwindigkeit von 2000 Bildern pro Sekunde.

Die Mikrovorgänge in turbulenten Flammen verlaufen mit unerwartet hohen Geschwindigkeiten. Die turbulenten Vorgänge bei der Vermischung der umgebenden Luft mit den Flammengasen und mit den Abgasen spielen sich offenbar im Millisekundenbereich ab.

Bei diesen Filmen sieht man sehr schön gleichzeitig die Dynamik der Flamme und die Dynamik der Interferenzlinien. Man kann sich das grüne Interferenzfeld symbolisch als glatte Wasseroberfläche vorstellen. Wenn man mit einem Kamm hindurchfährt,



Die Versuche, das Dichtefeld von Tankflammen fotografisch zu erfassen, begannen mit „klassischen“ Aufnahmeverfahren: mit Schattenaufnahmen (ganz links oben) und mit der Schlierenmethode (daneben). Der nächste Schritt war die Verwendung der Holografie (ganz links unten). Zur scharfen Darstellung der Interferenzlinien waren Aufnahmen mit Hochgeschwindigkeitsfilmen nötig, 3500 bis 9000 Bilder

pro Sekunde. Die unerwartet hohen Geschwindigkeiten in der Flamme zeigten sich auch in einem Film, der nur das optische Bild der Flamme zeigt (links unten). Ein wichtiger Entwicklungsschritt war die Verwendung des grünen Lichtes eines Argon-Lasers (oben). Damit gelang schließlich die gleichzeitige Darstellung der sichtbaren Flamme mit dem zugehörigen Interferogramm.

gibt es ähnliche Wirbelspuren wie auf unseren Interferogrammen, bedingt durch die Tankflamme: Turbulente Flammenfetzen rasen über das grüne Feld und hinterlassen bestimmte Interferenzlinien-Muster.

Wir hatten erwartet, daß die Flammenvorgänge sehr viel langsamer verlaufen – aus der Erfahrung heraus, daß eine Flamme, mit bloßem Auge beobachtet, als relativ langsamer Vorgang erscheint. Aus unserer Messung, daß die Interferenzlinien erst bei 1000 bis 2000 Bildern ein scharfes Bild liefern, folgt aber, daß es sich hier doch um recht schnelle Vorgänge handelt.

Alle unsere Versuche stehen unter dem Gesichtspunkt, eventuell auftretende Tankbrände zu beherrschen. Kürzlich konnten wir einen simulierten Erdgasbrand filmen. Eine Wanne, 4×4 m groß, war dabei gefüllt mit flüssigem Erdgas, das entzündet wurde. Es wurden dann Löschversuche mit Löschpulver, Löschschaum und Wasser unternommen. Bei der Auswertung unserer Bilder stellte sich heraus, daß die meisten auftretenden Erscheinungen hier dieselben waren wie bei unseren Versuchen: Es traten Flammenballen auf, auch die Wärmeverteilung war die gleiche. Es zeigte sich qualitativ das gleiche Verhalten.

Wenn wir die Wärmestrahlung in der Flammenachse messen, finden wir drei Maxima der Wärmestrahlung an bestimmten Stellen, wobei noch nicht klar ist, warum sie gerade hier auftreten.

Die genaue Kenntnis der Wärmestrahlung ist jedoch für den Bau von Tanklagern erforderlich. Aber es geht hier nicht nur um Tanklager, sondern allgemein um Anlagensicherheit, um Sicherheitsabstände zwischen Tanks oder zwischen Tank und Nachbaranlagen.

In den bisherigen Bestimmungen beträgt der Sicherheitsabstand weniger als ein Tankdurchmesser. Grundlage dafür waren Messungen in Flammen, die ma-

ximal 800 bis 900 °C ergaben. Wir fanden jedoch wesentlich höhere Temperaturen, nämlich mindestens 1200 °C. Das heißt, die bisherigen Sicherheitsabstände dürften zu klein sein.


Die Temperaturen lassen sich unter anderem aus unseren Interferogrammen ablesen. Das Nullfeld, also der äußere Bereich unseres Interferogramms, entspricht Raumtemperatur. Das ist der Bezugspunkt. Die einzelnen Linien kann man nun abzählen und den Temperaturunterschied von einer Interferenzlinie zur anderen berechnen. In der Mitte oder an irgendeiner kreisförmigen Interferenzlinie kommt man so zur Temperaturspitze.

Unerwartet hohe Temperaturen bei Tankbränden: Maximum 1600 °C

Bei Messungen mit Thermoelementen kam heraus, warum die maximalen Temperaturen so niedrig angegeben wurden: Für die rasanten Flammenvorgänge sind die Thermoelemente zu träge. Der zeitliche Mittelwert der Temperaturen, die das Thermoelement anzeigt, liegt wesentlich niedriger als die höchsten auftretenden Temperaturen.

Mit zunehmendem Tankdurchmesser findet man die Temperaturmaxima immer näher an der Flammenachse liegen, bei kleineren Tanks mehr außen. Wir haben Temperaturmaxima von 1500 bis 1600 °C gefunden. Mit unseren optischen Methoden ließen sich auch die Stellen finden, an denen man mit Thermoelementen höhere Temperaturen messen kann, und die entsprechenden Messungen haben dann wiederum unsere optischen Ergebnisse bestätigt.

Um große Brände wissenschaftlich in den Griff zu bekommen, muß man mit kleineren Modellen anfangen. Die prinzipiellen Vorgänge, die bei großen Tankbränden ablaufen, sind die gleichen wie bei den kleineren Versuchstanks. Das hat sich bei der laufenden Vergrößerung der Tankdurchmesser bei unseren Versuchen bestätigt.

Aufgrund dieser Versuche sind wir in der Lage, die Wärmestrahlung bei Tankbränden sehr viel detaillierter zu berechnen, als das bisher möglich war. Allerdings bestehen zum Teil noch Unterschiede zwischen gemessener Wärmestrahlung und berechneter. Wir hoffen jedoch, daß auch diese Probleme mit Hilfe unseres Interferenzverfahrens zu lösen sind. 

Der Filmausschnitt zeigt hintereinanderliegende Bilder eines Hochgeschwindigkeitsfilms (1000 Bilder pro Sekunde). Die Bewegungen der Flammenfetzen und die aus den Interferenzlinien ermittelte Temperaturverteilung lassen sich einander zuordnen. Das ermöglicht eine quantitative Beschreibung der physikalischen Vorgänge in turbulenten Flammen.

DOKUMENTATION

Ernährung

Gut essen und gesund bleiben

Ernährungs-Beratungs-System

Im zweiten Teil der Berichterstattung über das von „bild der wissenschaft“ mitgetragene ernährungswissenschaftliche Forschungsprogramm „Gut essen und gesund bleiben – EBS“ berichteten Teilnehmer an der Aktion über Motivation und Erfolg. Sie sind davon überzeugt, daß sie nicht wieder zu den krankmachenden Ernährungsgewohnheiten zurückkehren werden. „Überhaupt fühle ich mich“, so ein Teilnehmer, „schon viel wohler“. Kein Wunder, sein Blutzuckerspiegel zum Beispiel pendelte sich schon nach drei Wochen Teilnahme auf normale Werte ein.

dva

bild der wissenschaft

Jahrgang 14, Heft 11, November 1977, S. 15 – 23

Physik

Synchronfotografie – Geheimnis der lodernen Flamme

Dagmar Hailer-Hamann/Axel Schönbacher

Erstmals ist es mit einer neuen Fototechnik gelungen, das Interferogramm einer Flamme und diese selbst gleichzeitig auf einem Bild darzustellen. Dadurch wurde es jetzt möglich, die Vorgänge in turbulenten Flammen zu untersuchen, die mit unerwartet hoher Geschwindigkeit ablaufen. Die Temperaturspitzen sind nach diesen Untersuchungen viel höher als bisher gemessen. Dies hat Bedeutung für die Sicherheitsbestimmungen etwa bei der Planung von großen Tanklagern.

dva

bild der wissenschaft

Jahrgang 14, Heft 11, November 1977, S. 88 – 94

Archäologie

Die Paläste des Königs Artaschir

Georg Gerster/Dietrich Huff

Um 220 n. Chr. erhob sich der persische Regionalfürst Artaschir I gegen seinen parthischen Großkönig Artaban V. Er hatte Erfolg und schwang sich zum neuen Großkönig von Gesamt-Iran auf. Er gründete das zweite, das sassanidische Großreich Irans, das sich etwa 500 Jahre lang hielt. Die Überlieferungen dieser Zeit sind zum Teil stark legendenhaft, doch lassen sie sich bei einiger Vorsicht durchaus nutzen: Altertumsforscher zum Beispiel konnten die „Geburt“ des Sassaniden-Reiches in vielfältigen archäologischen Funden in der Ebene von Firuzabad nachvollziehen.

dva

bild der wissenschaft

Jahrgang 14, Heft 11, November 1977, S. 48 – 60

Elektronik

Hochintegrierte Schaltungen

Manfred Kage/Peter Killius

In den letzten Jahren hat die Elektronik atemberaubende Fortschritte gemacht. Industrielle und alltägliche Prozesse werden heute – statt von röhrengespickten Ungetümen – über winzige „Chips“ gesteuert, deren Einzelheiten nur noch unter dem Mikroskop zu erkennen sind.

dva

bild der wissenschaft

Jahrgang 14, Heft 11, November 1977, S. 96 – 118

Geologie

Ätna

Hans-Dieter Heck

Der Ätna, Europas größter und höchster Vulkan, gehört zu den aktivsten der Erde. Seine Schlote reichen durch die gesamte Erdkruste bis zu den schmelzenden Gesteinsmassen des Erdmantels. Die Ausbrüche im Sommer dieses Jahres bewiesen erneut, daß der Ätna das Zentrum seiner Haupttätigkeit immer weiter nach Norden verlagert – er „wandert“. Die Beobachtungen lassen Rückschlüsse zu auf Spannungen zwischen der afrikanischen und der europäischen Platte.

dva

bild der wissenschaft

Jahrgang 14, Heft 11, November 1977, S. 64 – 86

Medizin

Zur Verteidigung des Subjektiven in der Medizin

A. David Jonas

„Messen und zählen“ macht Wissenschaft exakt, objektiv und reproduzierbar. Aber, so der Psychiater Jonas, dies ist nicht die ganze Wissenschaft. Es muß hinzukommen das Subjektive, ja das Spekulative, um Wissenschaft vollständig zu machen. Jonas tritt für eine Stärkung der nach seiner Meinung vernachlässigten subjektiven Komponente ein.

dva

bild der wissenschaft

Jahrgang 14, Heft 11, November 1977, S. 125 – 128