

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 13

Artikel: Fortschritte in der beherrschten Durchführung von Atomkern-Verschmelzungsvorgängen
Autor: Ostertag, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-63948>

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: 26.01.2026

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

fassen, wobei zugleich jede Pumpe bei verhältnismässig gutem Wirkungsgrad arbeiten soll.

Zuerst war es notwendig, das Gerippe für die Leistungsunterteilung zu finden, welches die zweckmässigste Stufung sowohl der Fördermenge als auch der Förderhöhe ergibt. Dabei sollen sich mit Rücksicht auf eine rationelle Fabrikation möglichst viele Hauptabmessungen wie Laufraddurchmesser, Gehäusebohrung, Stutzenlichtweite (Flanschenabmessungen) und Lagereinheiten wiederholen. Es war gegeben, für die Laufraddurchmesser die Normzahlen 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 mm zu verwenden und für die Stutzenlichtweite 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125 mm usw.

Gleiche Laufraddurchmesser ergeben bei gleicher Drehzahl ungefähr die gleichen Druckhöhen. Ferner sollten bei unterschiedlicher Förderhöhe stets einige verschiedene Typen ungefähr die selbe Fördermenge und damit gleiche Stutzenlichtweite erhalten. Eingehende Untersuchungen ergaben nun, dass ein Normzahl-Stufensprung 1,25 für Kreiselpumpen gut passt, weil Korrekturen des Laufraddurchmessers zur Aenderung der Druckhöhe ohne wesentliche Wirkungsgradverluste gerade um diesen Betrag zulässig sind. Für die Fördermenge ergibt der gleiche Stufensprung einen Wert, der um das Zweifache (1,25³) grösser ist. Bei dieser Stufung muss nur mit ganz geringen Wirkungsgradeinbussen in den Grenzzonen gerechnet werden. Zugleich konnte erreicht werden, dass verschiedene Typen gleiche spezifische Drehzahl, d.h. geometrisch ähnliche Abmessungen erhielten, so dass sich einzelne Reihen ohne grosse rechnerische Arbeiten beliebig vergrössern oder verkleinern lassen.

Dieser letztere Umstand hatte nun besonders für den Strömungsmaschinenbau noch einige ganz bedeutende Nebenwirkungen. Die Reihen modellähnlicher Pumpen gaben erstmals die Möglichkeit, systematische Versuche über die Wirkungsgradaufwertung an Kreiselpumpen anzustellen und auch die Kenntnisse über das Kavitationsverhalten zu erweitern. Die Normung und Typisierung hatte also neben den grossen Vorteilen in fabrikatorischer Hinsicht erfreulicherweise auch noch wichtige anderweitige Vorzüge mit sich gebracht.

Wenn nun eine Maschine sowohl funktionell, also bei einer Pumpe hydraulisch und mechanisch, als auch hinsichtlich rationeller Fertigung kaum mehr Wünsche offen lässt und dies bei verschiedenen Fabrikaten in gleicher Weise erreicht wurde, so ist als vierte Entwicklungsstufe noch eine Verbesserungsmöglichkeit in der Formgebung möglich. Ganz deutlich können diese Entwicklungsstufen beim Automobil verfolgt werden. Nach den Erfindungs- und Verbesserungsstadien, in deren Folge der Motorwagen bereits eine ausgefeilte Konstruktion darstellte, setzten die Rationalisierungsbestrebungen mit Typisierung und Laufbandfabrikation ein, um ihn immer preisgünstiger zu gestalten. Nach Abschluss dieser Etappe suchte eine Firma die andere durch gefälligere

Formgebung, wozu neben der Karosserieform auch die Innenausstattung gehört, auszustechen. Dabei können allerdings die Geschmacksrichtungen von Kontinent zu Kontinent etwas anders geartet sein. Auf alle Fälle hat aber auch die europäische Industrie eingesehen, dass von zwei qualitativ gleichwerten Produkten das formschönere sich leichter absetzen lässt, wobei der Begriff der Formschönheit zeit- und modebeeinflusst sein kann.

In Deutschland hat sich der VDI/VDMA-Gemeinschaftsausschuss «Technische Formgebung» in den letzten Jahren dieses Problems angenommen und an Tagungen und in Sonderheften zu zeigen versucht, wie man sich technisch gute Formen vorstellt. Man hat sogar Richtlinien für die Gestaltung von Produktionsgütern aufgestellt, die dem Konstrukteur einige wichtige Hinweise geben, was er tun und was er lassen soll, damit sein Produkt ansprechende Formen erhält.

Viele Konstruktionen werden aus ihrer Funktion heraus von selbst schön, denken wir nur an die schnittigen Formen der Flugzeuge, aber auch an Kaplan-Turbinräder oder an Spiralgehäuse von Turbinen oder Pumpen. Gerade bei diesen ist es aber nicht gleichgültig, ob neben dem funktionstechnisch schönen Spiralgehäuse das Lagergestühl zu hochbeinig oder zu plump wirkt, ob die Linienführung streng eckig oder mit weichen Rundungen erfolgt, ob am Lagergehäuse ein herausstehender Winkelölstand, der unruhige Konturen schafft, oder ein eingepasstes Schauglas verwendet wird und ob die Manometer vorstehend angeschraubt oder versenkt werden.

Das Bestreben, formschöne Maschinen zu bauen, zwingt zu intensivem Studium von Konstruktion und Fertigung. Es ist aber für den Hersteller eine erfreuliche Tatsache, dass formschöne Aggregate verkaufsfördernd wirken; denn es entspricht einem ganz natürlichen Empfinden des Menschen, dass bei Maschinen gleicher technischer Qualität und gleicher Preise das schönere Erzeugnis vorgezogen wird. Letzten Endes müssen wir uns bewusst sein, dass die Erzeugnisse des Maschinenbaues nicht nur hergestellt, sondern auch verkauft werden müssen, wobei das Mittel der technisch schönen Form eine vornehme Waffe im Konkurrenzkampf darstellt.

Wenn es mir gelungen ist, Ihnen am Beispiel der Kreiselpumpen anzudeuten, wie vielfältig das Problem des heutigen Maschinenbaus ist, so möchte ich meine Ausführungen nicht schliessen, ohne noch einmal hervorzuheben, wie viel die Werke von Prof. Dr. C. Pfeiderer dazu beigetragen haben, in mir jene Liebe zu den Kreiselpumpen zu wecken, welche die Arbeit zur Freude macht. Sie hat dazu geführt, dass mir heute diese hohe Ehrung zuteil geworden ist, für welche ich der Technischen Hochschule Braunschweig auf das allerherzlichste danken möchte.

Adresse des Verfassers: Dr. Ing. h. c. K. Rütschi, Pumpenbau, Brugg AG.

Fortschritte in der beherrschten Durchführung von Atomkern-Verschmelzungsvorgängen

DK 621.039

Bekanntlich finden in Wasserstoffbomben explosionsartige Atomkern-Verschmelzungsvorgänge statt. Bei solchen Reaktionen vereinigen sich die Kerne von zwei schweren Wasserstoffatomen (Deuterium) zu Helium 3. Dabei werden einige Neutronen ausgesandt und es wird eine sehr grosse Energiemenge freigesetzt. Dieser Vorgang kann durch die Gleichung



ausgedrückt werden. Es ist nun gelungen, sie beherrscht durchzuführen. Damit ist ein erster Schritt in der Umwandlung der Reaktions-Energie in Nutzform, z.B. in Elektrizität, getan. Bisher stand diesem Vorhaben die sehr hohe Temperatur von einigen Millionen °C im Wege, die die Durchführung einer solchen Reaktion voraussetzt.

Es ist einleuchtend, dass die Deuterium-Atomkerne infolge ihrer gleichnamigen Ladung mit sehr grosser Geschwindigkeit gegeneinander bewegt werden müssen, bis sie sich entgegen den beträchtlichen abstossenden Kräften so nahe kommen, dass sie sich verschmelzen. Eine Möglichkeit, ihnen diese Geschwindigkeiten zu erteilen, besteht im Steigern der Temperatur wesentlich über 10⁶ °C hinaus. Verschmelzungsvor-

gänge von Atomkernen, die auf solche Weise entstehen, heißen thermonukleare Reaktionen.

Die volle wirtschaftliche Bedeutung dieser Prozesse ergibt sich aus dem Umstand, dass Deuterium in grossen Mengen im natürlichen Wasser vorkommt, allerdings in sehr geringer Konzentration¹⁾. Immerhin kann nach Schätzungen der United Kingdom Atomic Energy Authority die Energieversorgung der Welt beim heutigen Jahresverbrauch für 10⁹ Jahre als gesichert betrachtet werden, wenn es gelingt, das im Meerwasser vorhandene Deuterium in elektrische Energie umzusetzen. Demgegenüber sollen die bestehenden Energiequellen einschliesslich Uran und Thorium nur für etwa 500 Jahre reichen.

Die Forschung zur beherrschten Durchführung der genannten Kernverschmelzungsreaktion sind in den USA und in England intensiv gefördert worden. So hat das Atomic Energy Research Establishment, Harwell, eine Versuchsapparatur aufgebaut, die am 12. August 1957 in Betrieb kam und unter dem Namen «Zeta»²⁾ bekannt ist. Ausführlich Beschreibungen finden sich in «The Engineer» und «Engineering» je in den

1) rd. 0,03 g Deuterium pro 1 Wasser.

2) Zeta = Zero Energy Thermonuclear Assembly.

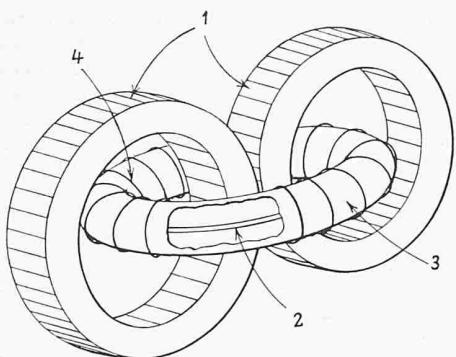


Bild 2. Schema der Wicklungen zum Erregen der magnetischen Felder bei der Zeta-Apparatur.

- 1 Primäre Transformerwicklung
- 2 Gasfüllung (sekundärer Transformerkreis)
- 3 Ringförmiges Aluminiumrohr
- 4 Wicklung um 3 für das zusätzliche Magnetfeld

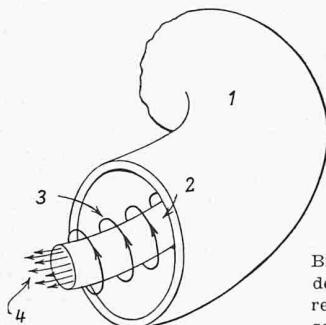


Bild 3. Schema der stabilisierenden magnetischen Felder

- 1 Ringabschnitt
- 2 Füllung mit ionisiertem Deuteriumgas
- 3 Magnetisches Feld, das vom Strom in der Gasfüllung erzeugt wird und die Gasfüllung nach der Rohrmitte drängt (Pinch-Effekt)
- 4 Stabilisierendes Magnetfeld, das durch die Wicklung 4 (Bild 2) erzeugt wird

Heften vom 31. Jan. 1958. Die prinzipielle Anordnung geht aus den Bildern 2 und 3 hervor, während Bild 1 die Anlage zeigt.

Die Zeta-Apparatur besteht aus einem ringförmigen Aluminiumrohr von 1 m Innendurchmesser und 3 m mittlerem Ringdurchmesser, das mit Deuterium-Gas unter sehr hohem Vakuum (10^{-4} mm Hg) gefüllt ist. Das Gas wird durch Hochfrequenzentladung leicht elektrisch leitend gemacht. Der Ring durchdringt an zwei Stellen die Primär-Wicklungen eines sehr grossen Stosstransformators mit Eisenkern, dessen sekundärer Teil die ionisierte Gasladung des Ringes bildet. Die Primärwicklungen sind mit einer Kondensatorenbatterie verbunden, die mit elektrischer Energie bis zu $5 \cdot 10^5$ Joule aufgeladen werden kann. Durch stossweises Entladen auf den Transformer wird in dessen kurzgeschlossenem Sekundärkreis, also im Gasring, ein gleichgerichteter Stromstoss induziert, der während etwa 4 Millisekunden andauert und alle 10 Sekunden wiederholt werden kann. Stromspitzen im Gas bis zu 200 000 A und Stossdauern bis zu 5 Millisekunden konnten erreicht werden.

Bei der Verwirklichung dieses Prozesses bestand eine Hauptaufgabe darin, das leitende und durch die hohen Stromstärken äusserst stark erhitzte Gas von den Wandungen des Ringes fernzuhalten. Dazu hat man die magnetische Kontraktionswirkung ausgenützt, die als Pinch-Effekt bekannt ist. Sie besteht darin, dass der sehr starke elektrische Strom im Gasring ein entsprechend starkes magnetisches Feld erzeugt, dessen Kraftlinien in Bild 3 angedeutet sind. Durch dieses wird das Gas nach der Mitte der Röhre zusammengedrängt und dadurch weiter erwärmt. Dieser Effekt würde für sich allein nicht ausreichen, um eine Berührung des Gases mit der Wand zu verhindern, da die Wechselwirkung zwischen den geladenen Gasteilchen und dem Feld nicht genügend stabil ist. Daher unterstützt man ihn durch ein zusätzliches magnetisches Feld, das parallel zur Achse des Ringes in dessen Innerem und zwar in der Richtung des elektrischen Stromes im Gas verläuft. Dieses zweite Feld wird durch eine Wicklung

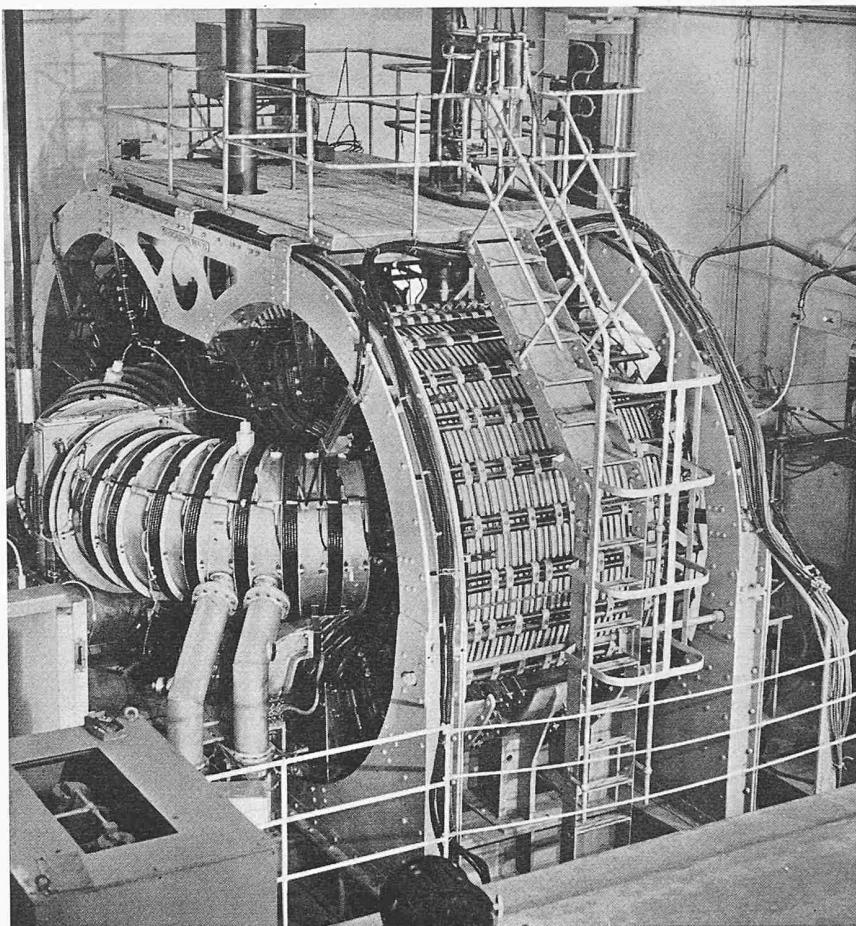


Bild 1. Gesamtansicht der «Zeta»-Apparatur im Atomic Energy Research Establishment in Harwell der United Kingdom Atomic Energy Authority

erregt, die auf der Außenseite des Ringes angebracht und von einem Strom stetig durchflossen wird. Weiter helfen Wirbelströme in der metallischen Ringwandung wirksam mit, die Entladeströme im Gas von den Wandungen fernzuhalten. Die Wandstärke beträgt 25 mm. Der Ring ist aus zahlreichen Rohrelementen aufgebaut, die voneinander isoliert sind, damit der Ring den Transformer nicht kurz schliesst (Bild 4).

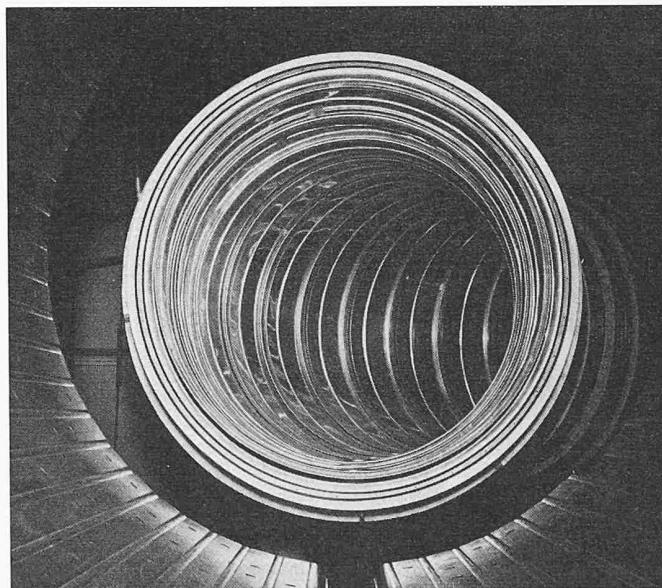


Bild 4. Inneres des Aluminiumringes vor dem Zusammenbau mit dem primären Teil des Transformers

Die Photographien zu den Bildern 1, 4 und 5 sind uns in freundlicher Weise von der Schriftleitung des «Engineering», 36 Bedford Street, London WC 2, zur Verfügung gestellt worden.

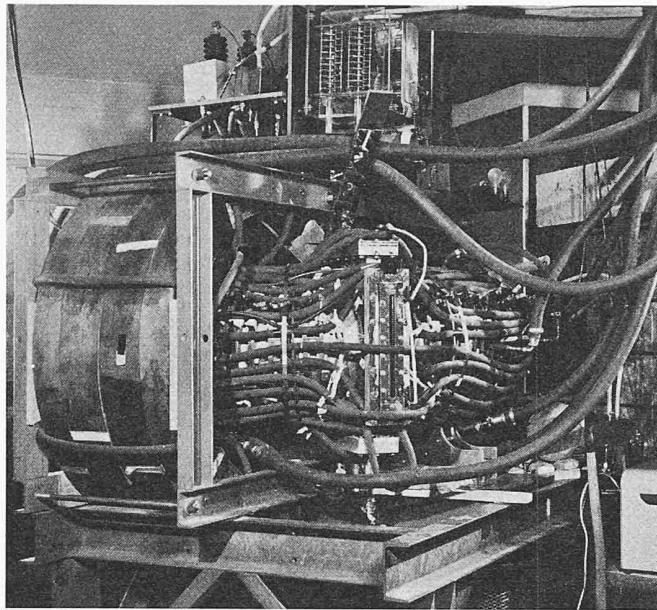


Bild 5. Ansicht der Sceptre III-Apparatur in der Forschungsstätte der Associated Electrical Industries, Ltd., Aldermaston

Tatsächlich sind bereits am 30. August 1957 mit der Zeta-Apparatur Temperaturen im Deuterium-Gas im Bereich von 2 bis $5 \cdot 10^6$ °C erreicht worden. Das heiße Gas konnte während 0,002 bis 0,005 Sekunden von den Wandungen isoliert werden. Die Heizprozesse folgten sich alle 10 Sekunden. Das sind sehr bedeutsame Ergebnisse, die hoffen lassen, dass es grundsätzlich möglich und auch praktisch ausführbar sein wird, diese hohen Temperaturen während viel längeren Zeiten, vielleicht während Sekunden, aufrecht zu erhalten, wie es für eine brauchbare Energieerzeugung als nötig erscheint.

Der Neutronenfluss wurde jeweilen während der ganzen Dauer der Stromstöße beobachtet. Er erreichte bis zu $3 \cdot 10^6$ Neutronen pro Stoß. Zur Messung hat man verschiedene Methoden verwendet, um feststellen zu können, ob und bis zu welchem Anteil dieser Fluss durch thermonukleare Reaktionen erzeugt worden ist. Denn es sind auch noch andere Neutronenquellen möglich. Eine der wichtigsten Messungen ist die der Temperatur. Die Methode beruht auf der Messung des von den heißen Gasatomen ausgesandten Lichtes. Dabei besteht zwar die Schwierigkeit, dass während der Entladevorgänge die Elektronenhüllen der Deuteriumatome völlig abgestreift sind und diese daher kein Linienspektrum aussenden können. Eine Möglichkeit, diese Schwierigkeit zu überwinden, besteht darin, der Gasfüllung eine kleine Menge eines schwereren Gases, z. B. Sauerstoff oder Stickstoff, beizumischen und die Spektrallinien dieser «Verunreinigungen» zu untersuchen.

Die Atome dieser schwereren Gase erleiden viele Zusammenstöße mit den Deuteriumatomen und erreichen so die selbe Energie. Sie bewirken eine Verbreiterung der Spektrallinien nach dem bekannten Doppler-Effekt, wobei der Betrag der Verbreiterung ein Mass für die Ionen-Energie ist. Auf Grund der erhaltenen Messergebnisse kann mit Sicherheit festgestellt werden, dass thermonukleare Reaktionen stattgefunden haben.

Eine zweite, ähnliche, jedoch wesentlich kleinere Apparatur wurde im Research Establishment of Associated Electrical Industries, Ltd., Aldermaston, entwickelt. Sie wird «Sceptre III» genannt. Sie besteht ebenfalls aus einem ringförmigen Aluminiumrohr, das aber wesentlich kleiner ist. Sein Durchmesser beträgt nur 305 mm, seine Wandstärke 12,7 mm, der mittlere Ringdurchmesser 1143 mm. Der Ring ist von einem Eisenkern von 4 t Gewicht umgeben, auf dem sich die primäre Wicklung für das magnetische Feld befindet. Im Gegensatz zur Zeta-Apparatur, bei welcher der Kern aus kaltgewalzten, gestanzten Stücken aufgebaut ist, verwendete man bei der Sceptre-Apparatur paketweise aufgewickelte Streifen von gleichem Material, eine Bauweise also, wie sie heute bei kleinen Transformatoren verwendet wird und bei der die günstigen Eigenschaften des gerichteten Material-Kernes am besten ausgenutzt werden können. Dementsprechend ist die Wicklung nicht quer zum Ring angeordnet, sondern verläuft in seiner Längsrichtung. Bild 5 zeigt die Sceptre III-Anlage.

Mit dieser Apparatur wurden sehr viele Versuche durchgeführt. Die Entlad-Energien konnten bis auf $4 \cdot 10^4$ Joule gesteigert werden. Man erreichte Stromstärken im Deuteriumgas bis 200 000 A und Temperaturen bis $4 \cdot 10^6$ °C, die spektroskopisch gemessen wurden. Im Temperaturbereich zwischen 2,3 und $3,8 \cdot 10^6$ °C wurden während verschiedenen hundert Mikrosekunden Neutronen ausgesendet, und es scheint, dass während dieser Zeit die Vorgänge stabil sind. Die Versuche bezweckten vor allem, die Bedingungen abzuklären, unter denen Neutronen ausgesendet werden.

Die Untersuchungen sollen an einer verbesserten Zeta-Apparatur weitergeführt werden. Außerdem ist der Bau einer neuen, grösseren Anlage in Aussicht genommen, um noch wesentlich höhere Temperaturen und ein besseres Verhältnis der eingeführten elektrischen zur gewonnenen Wärmeenergie zu erzielen. Dieses beträgt bei der Zeta-Anlage nur etwa 10^{12} : 1. Wird die Temperatur von z. B. $2 \cdot 10^6$ auf $5 \cdot 10^6$ °C gesteigert, so vermehrt sich die Zahl der ausgesandten Neutronen um das 300fache; bei $25 \cdot 10^6$ °C ist die Vermehrung 10 000fach.

Um einen eindeutigen Energiegewinn zu erzielen, müssen Temperaturen von etwa $100 \cdot 10^6$ °C im Deuteriumgas und von etwa $40 \cdot 10^6$ °C in einem Gemisch von Deuterium und Tritium³⁾ angewendet und während wesentlich längerer Zeit aufrecht erhalten werden. Dieses Ziel will man in der nächsten Forschungsetappe mit einer grösseren Apparatur erreichen.

A. O.

³⁾ Tritium ist ein radioaktives Wasserstoffisotop, dessen Atomkerne aus einem Proton und zwei Neutronen bestehen.

Geodätische Methoden zur Bestimmung von Geländebewegungen und von Deformationen an Bauwerken

Von Prof. Dr. F. Kobold, ETH, Zürich

Für die Bestimmung der Distanzen kommt bei den sehr hohen Genauigkeitsansprüchen nur die *Messung mit Invardrahten oder Invarbändern*, wie sie seit 50 Jahren bei den Geodäten für Basismessungen im Gebrauch stehen, in Frage. Aus der reichen Literatur, in welcher Theorie und Erfahrungen solcher Invardrahtmessungen behandelt sind, geht hervor, dass die tatsächliche Genauigkeit wesentlich kleiner ist, als man sie auf Grund der innern Uebereinstimmung der Beobachtungen vermutet. Systematische Fehler, die nicht recht erfasst werden können, machen sich bei allen Invardraht- und Invarbandmessungen in unangenehmer Weise geltend. Kritisch sind das Herstellen der Spannung, das Spielen der Rollen, das Einrichten der Drähte in Lage und Höhe mit Hilfe der kleinen Masstäbe auf die Messstrecke und die Berücksichtigung des Durchhangs. Besonders gefürchtet sind

die von Zeit zu Zeit auftretenden Sprünge in den Längen der Drähte und Bänder.

Es ist aus diesen Gründen seit langem üblich, die Messungen nicht nur mit einer Ausrüstung auszuführen. Vielmehr werden bei allen Deformationsmessungen an Bauwerken — wie übrigens auch bei allen Basismessungen — drei Drähte verwendet. Diese Vorsichtsmassnahme erweist sich immer wieder als gerechtfertigt; denn mehr als einmal, am Anfang häufiger als später, hat bei Beobachtungen von Verformungen an Staumauern und an Tunnels der eine oder andere Draht im Laufe der Messungen plötzlich seine Länge um einige Zehntel Millimeter geändert. Diese Änderungen lassen sich aus den Ergebnissen der zwei andern Drähte feststellen, und nach Einführung geeigneter Korrekturen können auch die Messungen mit dem veränderten Draht verwendet werden.

DK 526.9:624

Schluss von Seite 167