# Im Blickpunkt = Points de mire

Objekttyp: **Group**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 11

PDF erstellt am: **28.05.2024**

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

## Energietechnik – Technique de l'énergie

### Die ersten gasisolierten Hochspannungskabel in Japan

[Nach *Y. Watanabe* u.a.: Construction of first Gas insulated Transmission Line in Japan. IEEE Trans. PAS 100(1981)10, S. 4312...4329.

In Zusammenarbeit mehrerer Firmen wurde in 10jähriger Forschungstätigkeit die Grundlage einer gasisolierten Übertragungsleitung (GIL) für 500 kV geschaffen. Um praktische und wirtschaftliche Erfahrungen zu sammeln, wurden zuerst 1979 eine 154 kV; 210 MW; 2×190 m lange und 1980 eine 275 kV; 1500 MW; 100 m lange Leitung gebaut und in ein Hochspannungsnetz zwischen Freileitung und Schaltstation eingebaut. Dabei wurden folgende Materialien und Konstruktionen gewählt:

*Metalle für Leiter und Mantel:* Für die Leiter (100/80 bzw. 160/140 mm ∅ wurde die Al-Legierung 6063 (0,7 % Mg, 0,4 % Si) mit guter Leitfähigkeit sowie preislich günstig gewählt, für die Mäntel (340/330 bzw. 480/466 mm ∅) die Al-Legierung 5052 (2,5 % Mg, 0,25 % Cr) wegen guter Korrosionsbeständigkeit. Das kleinere Aussenrohr wurde gepresst, das grössere nahtgeschweisst. Die Oberflächen sind oxydiert.

*Stützisolatoren:* Als Isoliermaterial wurde ein Epoxyharz mit einer Durchschlagfestigkeit von mindestens 90 kV/mm bei einem Stoss und 78 kV/mm bei 10000 Stössen gewählt. Es wurden 3 Formen benutzt: einfache Abstützer (Post-Typ) und ringförmige Isolatoren (Scheiben oder Konus); diese erlauben, das Kabel abschnittweise gasdicht zu unterteilen. Alle Isolatoren wurden in der Fabrik scharf geprüft: 390 kV; 1 min für das 154-kV-Kabel, 552 kV; 1 min beim 275-kV-Kabel.

*Gasfüllung:* $SF_6$-Gas unter 4 bar. Der Gasdruck wird dauernd überwacht. Nachfüllen nur in Ausnahmefällen.

*Verbindungselemente:* Stecker aus einer Al-Legierung oder Kupfer jeweils versilbert, wobei 2 Typen zur Verfügung standen: mit einem Hub von 5 mm (normale Verbindung) oder 50 mm (zur Kompensierung der thermischen Ausdehnung). Analog wurde zwischen den Mänteln ein Wellrohr aus einer Al-Legierung verwendet, das besser als ein Stahlwellrohr ist.

*Fabrikationslängen:* Mit Rücksicht auf den Transport wurde eine Länge von 12 m festgelegt; ein Versuch für das 154-kV-Kabel mit Längen von 18 m wurde auch unternommen.

Die *elektrische Festigkeit* wurde mit Gleichstromstössen vom 1,6fachen der Wechselspannung geprüft. Die *Strombelastbarkeit* wurde durch Festlegung der Maximaltemperatur auf 90 °C bestimmt.

*Erdung:* Der Mantel des 154-kV-Kabels wurde mit Epoxylack bestrichen und an beiden Enden geerdet. Beim 275-kV-Kabel wurde er in Abständen von nur einigen Metern geerdet. An beiden wurden die Erdungen besonders sorgfältig ausgeführt, um im Mantel fast den gleichen Strom wie im Leiter zu erhalten.

Montage: Alle Verbindungen wurden in einer leichtmontierbaren, gasdichten Kammer ausgeführt. Für die Luftreinheit wurde Klasse 200.000 gemäss US Standard 209a eingehalten und dauernd kontrolliert. Zum Schluss wurden Druck (6 bar), Vakuumdichtigkeit (Abfall max. 0,5 mm Hg/5 h), Gasdichtigkeit und Spannungsfestigkeit geprüft.

*Übertragungskonstanten:*

| Kabeltype | | 154 kV | 275 kV |
|---|---|---|---|
| Gleichstromwiderstand (Leiter) | μΩ/m | 11,8 | 8,75 |
| Gleichstromwiderstand (Mantel) | μΩ/m | 8,7 | |
| Kapazität | pF/m | 51,5 | 64,2 |
| Induktivität | μH/m | 0,24 | 0,252 |
| Wellenwiderstand | Ω | 74,5 | 64,9 |
| Fortpflanzungsgeschwindigkeit | m/μs | 288 | 281 |
| Dämpfung | db/km | 1,89 | – |

*R. Goldschmidt*

### Mit vernetztem Polyäthylen beschichtetes Kabelpapier als Isolation von ölimprägnierten Hochspannungskabeln

[Nach *T. Kusano* et al.: Practical Use of «Siolap» Insulated Oil-Filled Cables. IEEE Trans. PAS – 100(1981)8, S. 3828...3835]

Kabelpapier, beschichtet mit vernetztem, hochdichtem Polyäthylen wurde unter der Bezeichnung «Siolap» als Isolation eines ölgefüllten 275-kV-Kabels verwendet und seine mechanischen, sonstigen physikalischen und dielektrischen Eigenschaften im Hinblick auf den praktischen Einsatz untersucht. Im Vergleich zum konventionellen, papierisolierten ölgetränkten Kabel wurden folgende Unterschiede festgestellt:

– Der Verlustfaktor (das Produkt aus Dielektrizitätskonstante und $tg\delta$) beträgt etwa 30...50 % des Wertes eines konventionellen Kabels.
– Die Durchschlags- und Stossfestigkeit ist 10...20 % höher.
– Der Wärmewiderstand, der aus der an verschiedenen Punkten der Isolierschicht gemessenen Temperaturdifferenz berechnet wurde, beträgt mit 400...450 °C · cm/W etwa 80 % des Wertes des Papierkabels.

Es wurden ausserdem Dauerversuche an Al-ummantelten Probekabeln im Gelände angestellt, wobei auch speziell entwickelte Kabelverbinder ausprobiert wurden. Die Versuche erstreckten sich über 10 Monate, und zwar wurde die angelegte Spannung schrittweise von 200 auf 350 kV und damit die Feldstärke von 15 auf 26 kV/mm gesteigert. Die Leitertemperatur wurde während dreier Monate auf 85 °C und für die restlichen sieben Monate auf 95 °C eingeregelt mit einem täglichen Belastungszyklus von 11 h auf «Ein» und 13 h auf «Aus». Der Verlustfaktor wurde monatlich bei einer Meßspannung von 159 kV gemessen und betrug bei dem mit vernetztem Polyäthylen beschichteten Kabelpapier 0,17...0,19 % bei Raumtemperatur und 0,07...0,08 % bei 85 °C. Die entsprechenden Werte beim konventionellen Kabel liegen bei 0,17...0,19 % bei Raumtemperatur und 0,15 % bei 85 °C. Die übrigen Werte, beispielsweise der spezifische Widerstand, die Viskosität des Öls usw., zeigten keine merklichen Änderungen, so dass aus allen diesen Versuchen der Schluss berechtigt ist, dass das neue Kabel sich praktisch bewährt.

Für die künftige Entwicklung können also Kabel mit noch höherer Betriebsspannung ins Auge gefasst werden. Es wurde deshalb bereits eine Probelänge eines 500-kV-Kabels mit einem Querschnitt von 2000 mm² hergestellt, dessen Durchmesser und Gewicht analog dem 275-kV-Kabel reduziert werden konnte. Die Messergebnisse, die mit diesem Kabel erzielt werden konnten, sind vielversprechend.

*E. Müller*

### Hochdruck-Natriumdampflampen

[Nach *J.A.J.M. van Vliet* und *J.J. de Groot:* High-pressure sodium discharge lamps. IEE Proc. – A 128 (1981)6, S. 415...441]

Die Realisierung der im Jahre 1965 erstmals auf den Markt gebrachten Hochdruck-Natriumdampflampe – gekennzeichnet durch einen Natriumdampfdruck grösser 5 kPa und eine Leistungsdichte über 100 W/cm³ – basiert auf der Entwicklung eines gegen aggressive Natriumdämpfe hoher Temperatur resistenten und lichtdurchlässigen, polykristallinen Aluminiumoxyds, das als Material für die Entladungsröhre dient. Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten haben zum heutigen guten Verständnis der Entladungsphysik und zu Verbesserungen der Lampeneigenschaften geführt. Die besonders in der Aussenbeleuchtung weit verbreitete Hochdruck-Natriumdampflampe arbeitet mit einer Wandtemperatur der Entladungsröhre um 1500 K, emittiert ein gold-weisses Licht (Farbwiedergabeindex 23) und ermöglicht Lichtausbeuten bis 140 lm/W. Besondere Materialprobleme waren für den vakuumdichten Verschluss der Keramik-Entladungsröhre zu lösen; es kommt dabei entweder eine Niobiumkappe mit eingelegten dünnen Folien aus Ti, Zr und V oder ein Multikomponenten-Oxydverschlussglas zur Anwendung.

Die Energiebilanz einer Hochdruck-Natriumdampflampe 400 W sieht folgendermassen aus: Von der aufgenommenen Lampenleistung 400 W entfallen auf sichtbares Licht 118 W, IR-Strahlung 80 W, UV-Strahlung 2 W, Wärmeleitungsverluste 176 W und Elektrodenverluste 24 W. Die negative Strom-Spannungs-Charakteristik der Entladung erfordert zur Zündung einen elektronischen Starter,

der in Kombination mit einem induktiven Vorschaltgerät einen hohen Startimpuls liefert; als Zündhilfsgas dient Xenon. Übliche Stabilisierungselemente sind eine Drosselspule oder ein Hochreaktanztransformator. Die Entwicklung neuer elektronischer Komponenten ermöglicht neuerdings auch Vorschaltgeräte für den Hochfrequenz- und Pulsbetrieb, mit stark abweichenden Wellenformen gegenüber 50 oder 60 Hz. So wird beim Betrieb einer 400-W-Hochdruck-Natriumdampflampe mit 20 kHz von einer Lichtausbeuteerhöhung um 8 % berichtet.

Anfänglich waren Hochdruck-Natriumdampflampen nur mit einer Leistung von 250 W oder mehr erhältlich; die Serien wurden seither um die Lampenleistungen 150, 100, 70 und 35 W ergänzt. Die zunehmende Anwendung der Hochdruck-Natriumdampflampen resultiert aus deren besonderen Eigenschaften: hohe Lichtausbeute und lange Lebensdauer; angenehme Lichtfarbe mit angemessenen Farbwiedergabeeigenschaften; Lampenserie mit grossem Lichtstrombereich 3...14 klm; Lampen mit klarem oder diffusem Aussenkolben.

Grösse und Form der Hochdruck-Natriumdampflampen ermöglichen die Umrüstung von Leuchten, in denen bisher Hochdruck-Quecksilberdampflampen eingesetzt waren. Mit den neuen Lampen und Vorschaltgeräten ergibt sich ein höheres Beleuchtungsniveau oder eine Reduktion der Leistung um etwa 50 % bei gleichem Lichtniveau. Es wurden auch spezielle Hochdruck-Natriumdampflampen entwickelt, die, als Ersatz ohne Vorschaltgerätewechsel gedacht, mit den gleichen Vorschaltgeräten wie die Quecksilberdampflampen betrieben werden können, wobei sich als Gewinn eine etwa 10 bis 15 % geringere Leistungsaufnahme oder 40 % mehr Licht ergibt. Der reduzierte Energiebedarf ist zweifellos das stärkste Argument für den Einsatz der Hochdruck-Natriumdampflampen. Die laufenden Weiterentwicklungen versprechen eine weitere Steigerung der Lichtausbeute sowie Verbesserung der Farbwiedergabequalität; damit wird die Bedeutung dieser Lampenart auch für Innenraumbeleuchtungszwecke steigen. Schliesslich werden die kleinen Abmessungen der Entladungsröhre den Einsatz für Spotlights mit ähnlicher Lichtverteilung wie Glühlampen erlauben, aber einen geringeren Leistungsbedarf erfordern.

*H. Hauck*

## Informationstechnik – Informatique

### «Sprechende Sirene»: Rat geben – nicht Angst machen

In der Bundesrepublik Deutschland wird zurzeit mit dem Pilotprojekt «Sprechende Sirene» das Konzept von neuen Sirenenanlagen geprüft. Die zwei hervorstechendsten Vorteile gegenüber dem herkömmlichen System sind die netzunabhängige Signalabgabe und die Möglichkeit der Sprachdurchsagen über Mikrofon, Band, Funk oder Telefon. Auch bei Stromausfall, wenn weder die Elektrosirene (sie benötigt einen Drehstromanschluss) noch das netzbetriebene Radio funktionieren, kann die Bevölkerung alarmiert und informiert werden. Über zwei vorher gepufferte Akkus sind dann noch mindestens 20 Alarme möglich. Sind die Akkus erschöpft, kann jede Autobatterie als Ersatz verwendet werden. Die Verwendung von Solargeneratoren wird erprobt. Unzugänglich liegende Sirenenanlagen wären dann völlig unabhängig von einer Netzversorgung.

Ein weiterer Vorteil ist die bessere Flächenausnutzung bei der Warnung der Bevölkerung, weil durch die Anordnung der Lautsprecher eine optimale Anpassung an topographische Gegebenheiten möglich ist. Das Warnsystem ESA 15 von *Wandel & Goltermann* kann zudem jederzeit unbemerkt von einem Grossteil der Bevölkerung mit Zimmerlautstärke geprüft werden. Die Lautsprecherkombinationen und der Mast sind wartungsfrei. Lediglich die Akkus müssen alle vier bis fünf Jahre ausgetauscht werden. Die Bausteine der elektronischen Sirene ESA 15 sind in einem wetterfesten Schrank untergebracht.

Dem Zivil- und Katastrophenschutz sowie den Feuerwehren steht mit der elektronischen Sirene nicht nur im Verteidigungs- und Katastrophenfall, sondern auch im Frieden ein Warn- und Informationssystem hoher Zuverlässigkeit zur Verfügung.

*(Mitteilung Wandel & Goltermann)*

### Die Radaranlage der Nimrod-Frühwarnflugzeuge

[Nach *A. C. Leacy:* AEW Nimrod: the Mission System Avionics. IEE Proc.-F 128(1981)7, S. 403...407]

Der Verfasser beschreibt das «Mission System Avionics» (MSA) als Teilsystem der Gesamtausrüstung für die Nimrod-Frühwarnflugzeuge AEW (Airborne Early Warning Aircraft), welches eine Frühwarn-Radaranlage mit sehr grosser Reichweite enthält. Seine Hauptaufgaben sind die Erkennung, Klassifizierung und laufende automatische Vermessung (Tracking) von Zielobjekten sowie deren Bedrohungsabschätzung im überwachten Raum. Die Ausrüstung besteht aus Radar- und IFF-Anlage (Freund-Feind-Kennung), dem Störanalysator (ESM), der Übertragungsanlage und der Datenverarbeitungs- und Darstellungskonsole. Das System wurde im Auftrag des UK-Verteidigungsministeriums von Marconi Avionics und British Aerospace entwickelt.

Im Einsatz haben mehrere AEW-Flugzeuge den Kampfraum über Land und See in zugeteilten Sektoren zu überwachen (Mission). Sämtliche georteten Freund- und Feind-Objekte werden auf Sichtgeräten dargestellt; gleichzeitig werden über eine praktisch vollautomatische Datenübertragungsanlage die Kenndaten an eine zentrale Einsatzstelle in der Luft, auf See, oder auf Grund weitergeleitet. Im Flugzeug werden die 3 Sensoren Radar, IFF und ESM von nur wenigen Operateuren bedient. Die einzelnen Geräte sind mit automatischen Selbstprüf-Einrichtungen versehen. Die mit modernster Technologie ausgerüstete Pulsdoppler-Radaranlage verfügt über 2 getrennte Cassegrain-Antennen mit abschattungsfreien Primärstrahlern, welche eine äusserst geringe Seitenstrahlung aufweisen und uneingeschränkte Sicht nach vorne und hinten ermöglichen. Die wechselweise Signalverarbeitung erfolgt in einem gemeinsamen Empfänger, dessen Doppler-Auswertung die Flugzeugbewegung sowie die Drehbewegung der Antennen zu unterdrücken hat. Die IFF-Anlage benützt die Radarantennen für Abfrage und Empfang und klassifiziert die georteten Ziele nach NATO-Regeln. Der Störanalysator ESM analysiert sowohl elektronische Störungen (ECM) als auch die «Intelligenz» feindlicher Radaranlagen, was den Einsatz gezielter Gegenstörungen (ECCM) ermöglicht. Die integrierte Datenverarbeitungs- und -übertragungseinheit erfüllt die Anforderung der Verfügbarkeit von Echtzeit-Zieldaten mit Hilfe von Mikroprozessoren. Sichtgeräte mit Rollkugelsteuerung gestatten den Operateuren, bis zu 5 Radarziele in ihren Kenndaten automatisch zu erfassen. Die rechnergesteuerte Bedrohungsabschätzung ermöglicht die Prioritätsfestlegung bei der Bekämpfung feindlicher Ziele durch den Einsatzleiter.

Das AEW-MSA-System wurde 1977 erstmals im Flug erprobt, das Gesamtsystem mit Einsatzleitung über das integrierte Datenübertragungssystem wurde 1979 überprüft. Heute befinden sich 6 Ausrüstungen in der Systemsprüfung und werden anschliessend an die RAF abgeliefert.

*H. Klauser*

### Schnittstellen-Netzwerke

[Nach *Tse-yun Feng:* A Survey of Interconnection Networks. Computer 14(1981)12, S. 12...27]

Im Rahmen eines Sonderheftes über Schnittstellen-Netzwerke stellt der Aufsatz eine dem Praktiker gut zugängliche, klare und recht vollständige Übersicht über Schnittstellen-Netzwerke dar. Derartige Netzwerke verbinden Prozessoren untereinander, die Problem-

lösungen so weit als möglich gleichzeitig, in Parallelbetrieb und damit rascher als bisherige konventionelle Rechnersysteme bearbeiten sollen. Man spricht in diesem Zusammenhang von array processing (SIMD: single instruction multiple data stream processing) oder auch von multiple processing (MIMD: multiple instruction – multiple data stream processing). Der Entwurf der aus einzelnen Schaltelementen bestehenden Schnittstellen-Netzwerke hängt zur Hauptsache vom Aufbau (Topologie) des eigentlichen Rechnernetzes ab. Dasselbe kann ein- oder auch mehrdimensional aufgebaut sein, also z.B. Ring- oder Ring-/Stern-Verbindungen aufweisen. Sein Aufbau kann zudem fix oder rekonfigurierbar sein.

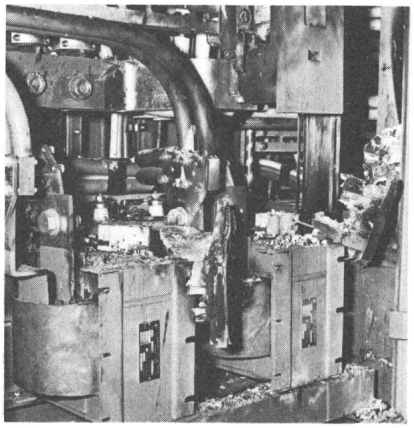
Für die Steuerung der Schnittstellen-Netzwerke werden Kommunikationsprotokolle benötigt, die einerseits den Zustand der Schaltelemente festlegen (routing controls) und andererseits die Verbindungen zwischen den Einzelrechnern überwachen und steuern (link controls). Eine wesentliche Kennziffer der Schnittstellen-Netzwerke ist ihre Bandbreite, d.h. die Anzahl angenommener Anfragen pro Zeiteinheit (z.B. pro Zykluszeit). Sie hängt stark vom Aufbau des Netzwerkes ab und kann nur mit verhältnismässig teurem Netzaufbau verbessert werden. Bei der Beurteilung der Zuverlässigkeit von Schnittstellen-Netzwerken unterscheidet man Fehlerdiagnose und Fehlertoleranz. Mittels gezielter Fehlerermittlungs- und Fehlerlokalisierungstests können Fehlerquellen in Verbindungen oder Schaltelementen ermittelt werden.

Der Veröffentlichung ist ein Verzeichnis von 75 Literaturstellen beigefügt, welches schriftliche Arbeiten von 1968 bis 1981 umfasst und dem interessierten Leser einen vertieften Einblick gestattet.

*C. Villalaz*

**Der Nutzen von Brandmeldeanlagen**

Um durchschnittlich 86% geringere Brandschäden in der Industrie meldet die als Pionier der Frühwarn-Brandmeldung weltweit anerkannte Schweizer Firma *Cerberus* als Ergebnis einer während 20 Jahren geführten Statistik. Dass die Zahl nicht aus der Luft gegriffen ist, beweisen analoge Berechnungen offizieller englischer Stellen. Die Cerberus-Statistik stützt sich auf 5022 Brandfälle, die



sich in 6425 Betrieben verschiedenster Branchen und unterschiedlichster Grösse ereigneten. In Hotels und Spitälern erreichte die durchschnittliche Schadenminderung gar 95%, in Waren- und Lagerhäusern 94% und in der Forschung und im Erziehungswesen ebenfalls 94%. Die breite Basis der Erhebungen verleiht den Werten einen repräsentativen Charakter.

## Verschiedenes – Divers

**Quantenmechanisches Grundlagenexperiment – eine neue Methode für Oberflächenuntersuchungen**

Im *IBM Forschungslabor in Rüschlikon* ist es gelungen, ein Grundlagenexperiment über das Wellenverhalten von Elektronen erstmals durchzuführen. Darin «durchtunneln» Elektronen ein dünnes luftleeres Gebiet, ein Vakuum, welches sie nicht durchdringen könnten, wären sie kleine harte Teilchen, wie dies in der klassischen Physik gelehrt wird. Nach der Quantenmechanik besitzen solche Teilchen gleichzeitig die Eigenschaften von Teilchen und Wellen. Ihre Wellennatur überwiegt, wenn sie auf eine Sperrschicht, z.B. auf ein Vakuum, auftreffen: Sie prallen nicht einfach ab, sondern dringen ein kurzes Stück in die Sperrschicht hinein. Falls diese genügend dünn ist, kann sie von einem Teil der Welle durchdrungen werden, was einem elektrischen Strom gleichbedeutend ist. Man nennt diesen Vorgang «tunneln».

Dieses Phänomen wurde bereits 1957 in dünnen Feststoffsperrschichten nachgewiesen und ist inzwischen eingehend untersucht worden, weil es über das Verhalten von Elektronen in der Materie genaue Aufschlüsse liefern kann. Nebst dem rein wissenschaftlichen Interesse an diesem Vorgang stellt das Tunneln von Elektronen in Feststoffen die Entwicklungsgrundlage für mehrere elektronische Komponenten dar, so beispielsweise auch für die Tunnel-Diode.

Die Experimente haben erstmals eindeutig gezeigt, dass Tunneln durch ein Vakuum zwischen zwei Elektroden möglich ist. Es ist ein schwer zu beobachtender Vorgang, weil die Überbrückungsdistanzen äusserst klein sind, nur einige Angström (1 Å = $10^{-10}$ m); ein Atom im Festkörper hat einen typischen Durchmesser von 3 Å. Die geringste Erschütterung kann das Experiment zum Scheitern bringen. Die Wissenschaftler in Zürich verwenden verschiedene Mittel, um die Vibration auf einen tolerierbaren Wert zu reduzieren. Zunächst ist die experimentelle Vakuumkammer auf einer schweren Steinplatte montiert. Diese wiederum «schwimmt» auf Kissen, die mit Autoschläuchen verglichen werden können. Zudem schwebt der Apparat in einem Magnetfeld und hat keinerlei direkten Kontakt mit festen Gegenständen.

Innerhalb des schwebenden Apparates bildet eine Wolframnadel die Tunnelquelle, und eine Platinplatte stellt die Probe dar. Sowohl der Abstand der beiden Elektroden als auch die Position der Nadel gegenüber der Probe müssen sehr genau eingestellt werden können. Dies wird durch Anlegen einer Spannung an piezoelektrischen Klötzen erreicht, auf denen die Probe befestigt ist. Die Empfindlichkeit der piezoelektrischen Träger beträgt etwa 2 Å/V. Daher können die Positionen der beiden Elektroden relativ zueinander bequem auf eine Genauigkeit von 1 Å verändert werden. Auf diese Weise wird die sog. Tunnelmikroskopie möglich. Diese Technik liefert sehr genaue Angaben über die Topographie einer Oberfläche, in welche Elektronen hineintunneln, denn der Tunnelstrom steigt exponentiell mit dem Abstand zwischen der Nadel und der Fläche. So lässt eine Veränderung der Distanz um nur einen Atomdurchmesser den Tunnelstrom um bis zu 1000fach ansteigen. Erstmals wurden für Metall- und Halbleiteroberflächen mit dieser Technik topographische Abbilder erzielt, deren Auflösung bis zum Atomdurchmesserbereich klar bleibt. Dies ist bis zu 100mal besser als bei einem konventionellen Elektronenrastermikroskop.

Für weitere wissenschaftliche Studien hat das Vakuumtunneln den Vorteil eines einfachen experimentellen Aufbaus. Die einzigen kritischen Faktoren sind die Oberflächen und die chemischen Zusammensetzungen der beiden Elektroden. Die Tunnelsperrschicht, ein Vakuum, lässt sich viel besser charakterisieren als die Oxid- oder Halbleiterübergangssperrschichten, die in früheren Tunnelungsexperimenten verwendet wurden. Daher ist das Vakuumtunneln auch für die Untersuchung der zwischenatomaren Kräfte von Molekülen interessant, die von Oberflächen adsorbiert wurden. Man misst dazu die von den tunnelnden Elektronen verlorene Energie (unelastische Tunnelspektroskopie). Noch interessanter ist die Tatsache, dass die grosse räumliche Auflösung beim Vakuumtunneln Daten über bevorzugte Adsorption von Atomen und Molekülen an besonderen Oberflächenmerkmalen wie atomare Stufen liefern dürfte. Daneben ist das Züchten von extrem dünnen Isolationsschichten auf Metallen und Halbleitern für die Industrie von zunehmender Bedeutung. Isolationsfilme von nur einem Atomdurchmesser Dicke können die Tunnelsperrschicht und somit den Tunnelstrom drastisch verändern. Mit der Technik des Vakuumtunnelns können viele Merkmale des Wachstums und des Verhaltens solcher Schichten mit räumlicher Auflösung auf atomarer Ebene beobachtet werden.

*(Mitteilung IBM)*