Plasmatechnik um Dienste eines rationellen Energieeinsatzes

Autor(en): **Keppner, Herbert / Götz, Michael**

Objekttyp: **Article**

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): **88 (1997)**

Heft 23

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902266

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

Energie sinnvoll und mit hohem Wirkungsgrad einzusetzen und mit ihr sparsam umzugehen, ist in unserer Zeit eine hohe Herausforderung an Wissenschafter, Ingenieure und Techniker. Langfristige und intelligente Energieerzeugungs- und -nutzungskonzepte müssen heute den Grundstein dafür legen, dass auch späteren Generationen eine Chance für einen hohen Lebensstandard und eine hohe Lebensqualität verbleibt. Im vorliegenden Artikel wird an einigen Beispielen gezeigt, dass Plasmaprozesse dabei eine wichtige Rolle spielen können.

Plasmatechnik im Dienste eines rationellen Energieeinsatzes

■ Herbert Keppner und Michael Götz

Der Einzug der Plasmatechnik in unsere moderne Industriegesellschaft hat sich in aller Stille vollzogen. Wenn heute von Plasmen die Rede ist, denkt man meist zuerst an die Bemühungen auf internationaler Ebene, die kontrollierte Kernfusion in den Griff zu bekommen. Diese Anstrengungen basieren auf dem alten Wunsch der Menschheit, über unbegrenzte Energiereserven zu verfügen. Bescheidenere technische Errungenschaften auf dem Gebiet der Plasmatechnik führen deshalb – zu Unrecht – ein Schattendasein. Heute wissen wir, dass die unbegrenzte Nutzung der Energie nicht im langfristigen Interesse der Menschheit ist, ganz im Gegenteil: Möglichst wenig Energie zu «verbrauchen» und sie sinnvoll und mit hohem Wirkungsgrad einzusetzen, ist *die* Herausforderung an Wissenschafter, Ingenieure und Techniker schlechthin. Intelligente und langfristige Energieerzeugungs- und -nutzungskonzepte entscheiden heute darüber, ob auch für spätere Generationen ein akzeptabler Kompromiss zwischen hohem Lebensstandard und sparsamem Energieeinsatz gefunden werden kann. Im folgenden Artikel soll an einigen Beispielen gezeigt werden, dass Plasmaprozesse hier durchaus eine wichtige Rolle spielen können.

Plasmazustand – der vierte Zustand der Materie

Der Plasmazustand wurde 1879 von W. Crooks (neben dem festen, dem flüssigen und dem gasförmigen Aggregatzustand) als der vierte Zustand der Materie bezeichnet. Ein Plasma ist ein Gas, bei dem bei einem Teil seiner Atome durch äussere Energiezufuhr ein oder mehrere Elektronen abgetrennt wurden (Ionisation). Ein Plasma ist somit ein Gemisch von neutralen Gasatomen mit Ionen und Elektronen. Wird die Energiezufuhr abgeschaltet, so kehrt das Plasma allmählich in den ursprünglichen Gaszustand zurück, indem die Ionen und Elektronen wieder zu neutralen Gasatomen rekombinieren. Neben ionisierten Atomen (Atome im Zustand höchster Anregung) existieren im Plasma auch Atome in Zuständen niedriger elektronischer Anregung. In diesem Fall kehrt das Elektron, das sich auf einem Niveau höher Anregung befindet, schrittweise in den Grundzustand unter Aussendung von Licht zurück; Plasmen sind deshalb in der Regel mit einer Leuchterscheinung verbunden.

Bereits im alltäglichen Leben werden wir ständig mit irgendwelchen natürlichen oder künstlichen Plasmen konfrontiert: Blitze, Flammen, Polarlichter oder solare Prozesse gehören dazu; Beispiele

Adresse der Autoren
Herbert Keppner, Dr. rer. nat. P.D., und *Michael Götz,* Institut de microtechnique, Université de Neuchâtel, Rue Breguet 2, 2000 Neuchâtel
Email herbert.keppner@imt.unine.ch

für künstlich erzeugte Plasmen sind Glimmentladungen in Leuchtstoffröhren oder Bogenentladungen bei Elektroschweissbrennern. Bild 1 zeigt einen Überblick über die Vielzahl von Plasmen, wobei die Elektronendichte (Anzahl freie Elektronen pro cm^3) und die Elektronentemperatur (kinetische Energie) den Typ des jeweiligen Plasmas charakterisieren.

Plasmen und Biosphäre

Plasmen stehen zur Biosphäre in einem ambivalenten Verhältnis. Bei Hautkontakt mit einer Flamme, beispielsweise, erfährt man, dass selbst ein sehr sanftes Plasma eine für Lebewesen eher destruktive Rolle spielt und dass man mit solchen Phänomenen vorsichtig umgehen sollte. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch die Tatsache, dass die Rekombinationsrate der Ionen von Sauerstoff und Stickstoff (wichtigste Bestandteile der Luft) gerade bei Normaldruck (1 bar) die höchsten Werte aufweist [2]; offensichtlich soll die Biosphäre möglichst frei von Plasmen sein. Ein weiterer, naturgegebener Schutzeffekt entsteht durch das Zusammenwirken des Erdmagnetfeldes mit dem Sonnenwind: der sogenannte Van Allensche Gürtel schützt uns vor hochenergetischen geladenen Teilchen, die vom Sonnenplasma ausgesendet werden.

Damit stellt sich die Frage, ob die verschiedenen Lebensformen auf der Erde ihre Existenz Mechanismen verdanken, welche die Biosphäre frei von Plasmen halten. Die Antwort lautet Ja und Nein. Für ein Ja sprechen die erwähnten Schutzmechanismen, für ein Nein die Hypothese, dass das Leben auf der Erde ohne Plasmen gar nicht hätte entstehen können. Das Schlüsselexperiment, das diese Hypothese stützt, das sogenannte Millerexperiment [3, 4], lässt sich relativ leicht nachvollziehen: Man mische verschiedene Bestandteile der Uratmosphäre wie Methan, Ammoniak, Wasserdampf, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefeldioxid usw. in einem abgeschlossenen Gefäss und produziere darin Blitzentladungen. Nach einiger Zeit findet man Partikel in dem Gefäss, die sich als Aminosäuren identifizieren lassen. Führt man das gleiche Experiment *ohne* Blitzentladungen durch, müsste man vermutlich unendlich lange warten, bis sich die als Bausteine des Lebens geltenden Aminosäuren gebildet haben. Falls sich dieses hypothetische Experiment in der Uratmosphäre wirklich so abgespielt hat, würde dies bedeuten, dass Plasmen am Aufbau der Substanz der Lebewesen in zentraler Weise mitbeteiligt waren.

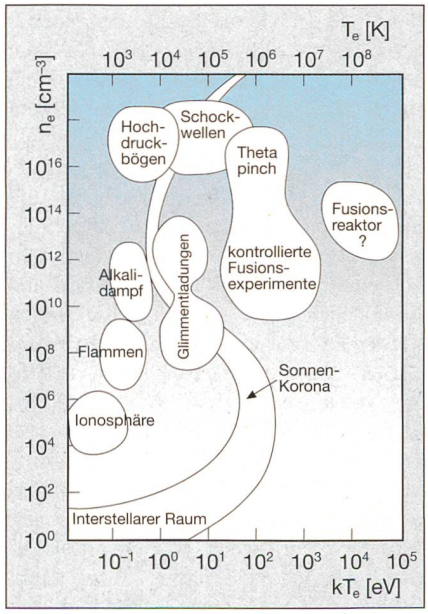


Bild 1 Überblick über Plasmen in Funktion der Elektronenenergie (Temperatur) und der Anzahldichte der Elektronen pro Kubikzentimeter im Plasmavolumen

Nach [1]
n_e Elektronendichte (cm^{-3})
T_e Elektronentemperatur in K
kT_e Elektronentemperatur in eV

Das Plasma als Energieumwandler

Wie bereits erwähnt, kann der Plasmazustand nur aufrechterhalten werden, wenn von aussen dauernd genügend Leistung zugeführt wird, so dass Rekombinationsverluste laufend ausgeglichen werden und damit der Ionisierungszustand aufrechterhalten wird. Bild 2 zeigt schematisch, dass das Plasma als Medium zur Energieumwandlung angesehen werden kann: Die Energie, die benötigt wird, um den Plasmazustand aufrechtzuerhalten, kann je nach Art des Gases und des Plasmareaktors in verschiedensten Formen wieder abgegeben werden, wie es in Tabelle I verdeutlicht wird. Dabei kommt es zu Vorgängen der Energieumwandlung durch Plasmen, wie sie uns im Alltag häufig begegnen.

Einsatz von Plasmen zur Erzeugung von Licht

Was hat nun die Energieumwandlung mit Hilfe von Plasmen mit rationellem Energieeinsatz zu tun? Der Bezug wird klar, wenn man zum Beispiel die Energiebilanz der Erzeugung von Licht mit Hilfe einer Leuchtstoffröhre mit jener einer konventionellen Glühlampe vergleicht. Dabei stellt man fest, dass die Glühlampe eher als Wärmequelle denn als Lichtquelle geeignet ist. Energiesparlampen neuerer Bauart hingegen, die auf

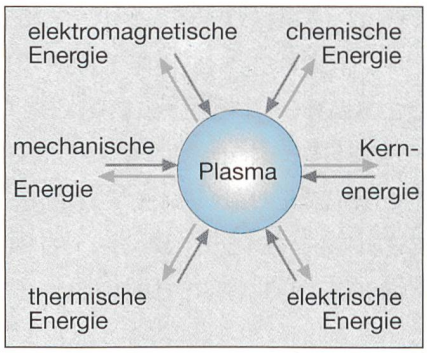


Bild 2 Das Plasma als Medium zur Energieumwandlung

Plasmaprozessen beruhen, erzeugen bei gleicher Leistungsaufnahme fünf- bis sechsmal soviel Licht wie eine konventionelle Glühlampe.

In den Leuchtstoffröhren, ebenso wie in den modernen Sparlampen, wird eine sogenannte Niederdruckentladung erzeugt. Dabei werden im Volumen der Röhre mit Hilfe eines Starters zunächst einige Ionen-Elektronen-Paare erzeugt. Die freien Elektronen werden im elektrischen Feld der Betriebsspannung aufgrund ihrer sehr niedrigen Masse stark beschleunigt. Durch den geringen Druck in der Röhre ($0{,}1 < p < 1$ mbar) ist gewährleistet, dass die Beschleunigungsstrecke für Elektronen lang genug ist, um so viel Energie aufzunehmen, dass beim Zusammenstoss mit den Gasatomen wieder freie Elektronen erzeugt werden (Stossionisation). Das Gas ist nun leitfähig geworden und somit in der Lage, elektrische Leistung zu absorbieren. Der Einsatz von Fluoreszenzstoffen mit geeignetem Wellenlängenbereich ermöglicht dem Plasma, Leistung in Form von Licht abzugeben.

Wesentlich ist – wie am Beispiel der Lampe gezeigt wurde – die Tatsache, dass Elektronen im elektrischen Feld sehr leicht Energie aufnehmen können und dass es bei Zusammenstössen mit den (viel zahlreicheren) Atomen zu Elementarprozessen verschiedenster Art kommen kann. Die schweren Neutralteilchen und Ionen andererseits nehmen dabei praktisch keine Energie auf. Somit bleibt die Gastemperatur, die durch die Verteilung der kinetischen Energie der Gasatome bestimmt ist, sehr niedrig, und eine Leuchstoffröhre fühlt sich deshalb bei Berührung relativ kalt an. Betrachtet man hingegen nur die Elektronen, so zeigen diese eine Energieverteilung, die einer Elektronentemperatur von typischerweise 30 000 K und mehr entspricht. Im beschriebenen Fall spricht man von einem «kalten» Plasma oder einem Nichtgleichgewichtsplasma, wie es in Bild 3 schematisch dargestellt ist. Es ist natürlich denk-

Input-Energie	Plasma	Output-Energie	Reaktor	Wirkung
elektrisch	Glimmentladung	elektromagnetisch	Leuchtstoffröhre	Licht
chemisch	Flamme	thermisch	Ofen	Wärme
elektrisch	Bogen	mechanisch	Blitz	Lärm
elektrisch	Glimmentladung	chemisch	PECVD-Reaktor	Beschichtungen
mechanisch	Fusionsplasma	elektromagnetisch	Sonne, Sterne	Licht, Wärme
thermisch	Flamme	elektrisch	MHD*-Generator	Elektrizität

Tabelle I Übersicht über häufige Plasmaerscheinungen, deren Reaktoren und deren «Wirkung»
*MHD-Generator: magneto-hydrodynamischer Generator

bar, dass man das Gas einer Leuchtstoffröhre allein durch Zufuhr von thermischer Energie zum Leuchten bringen könnte, hierfür wären aber sehr hohe Gastemperaturen (>1000 °C) erforderlich. Im Falle einer Flamme geschieht dies auch in dieser Weise; dabei wird aber wohlgemerkt chemische Energie aufgewendet. Die besondere Eigenschaft kalter Plasmen besteht also darin, dass damit elektrische Energie sehr spezifisch in eine andere Energieform umgewandelt werden kann.

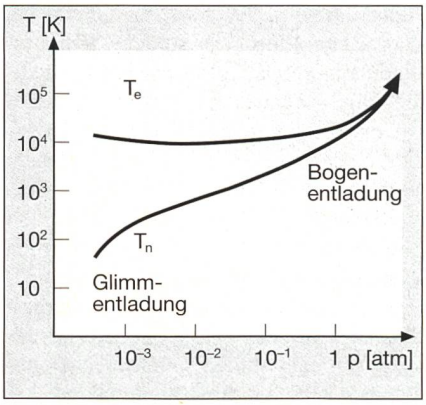


Bild 3 Gleichgewichts- und Nichtgleichgewichtsplasmen
Ein Nichtgleichgewichts- oder nichtisothermes Plasma liegt vor, wenn Elektronen und Gastemperatur sehr verschieden sind. Bei Gleichheit liegt ein Gleichgewichtsplasma vor. Darstellung nach [5].
T_e Elektronentemperatur
T_n Temperatur der Neutralteilchen und der Ionen

Verwendung kalter Plasmen für die Trinkwasserentkeimung

Kalte Plasmen werden mit ähnlich gutem Erfolg für die Herstellung gebräuchlicher chemischer Substanzen eingesetzt. Als besonders wichtiges Beispiel sei hier die Herstellung von Ozon für die Entkeimung von Trinkwasser erwähnt. Die Nachfrage nach Wasser von Trinkwasserqualität steigt proportional mit der Weltbevölkerung; die Schwierigkeit, sie zu befriedigen, steigt zudem mit dem Grad der Verschmutzung des Grundwassers. Die Wichtigkeit einer effizienten Wasseraufbereitung steht damit ausserhalb jeglicher Diskussion. Ozon entsteht entsprechend folgender Reaktion:

- $e^- + O_2 \rightarrow e^- + 2O$
  Dissoziation durch das Plasma
- $O + O_2 + A \rightarrow O_3$ (Ozon) + A
  Ozonbildung; A ist irgendein anderes Gasmolekül

Ozon ist ein Dreifach-Sauerstoff, der eigentlich unstabil ist und somit – im Vergleich zum normalen Sauerstoff – eine stärker oxidierende Wirkung besitzt. Überschüssiges Ozon rekombiniert nach einiger Zeit zu normalem molekularem Sauerstoff, das heisst, es verschwindet im Gegensatz zu alternativen Chemikalien rückstandslos. Erste Pionierversuche zur Erzeugung von Ozon gehen auf das Jahr 1857 zurück, als Werner von Siemens einen ersten Ozongenerator, wie schematisch in Bild 4 gezeigt, vorstellte. Die oben dargestellte Plasmareaktion erfolgt in einer speziellen Art der Entladung, in einer Korona-Entladung, die als «stille Entladung» bezeichnet wird. Korona-Entladungen können bei jedem Druck (im vorliegenden Fall bei Atmosphärendruck) erfolgen. Typisch ist dabei die hohe Betriebsspannung von 5–20 kV. Korona-Entladungen können in der Natur als sogenanntes St.-Elms-Feuer beobachtet werden; ähnliche Korona-Entladungen erfolgen in unserem Alltag in Fotokopiermaschinen.

Die ersten grosstechnisch eingesetzten Ozongeneratoren wurden 1907 in Nizza und 1910 in St. Petersburg in Betrieb genommen. Heute funktionieren weltweit etwa 1500 Trinkwasser-Aufbereitungsanlagen nach diesem Prinzip; etwa 25 Installationen arbeiten mit Leistungen von mehr als 1 MW und produzieren stündlich etwa 100 kg Ozon [6].

Das Beispiel der Ozonbildung ist wieder typisch für die Möglichkeit, mit kalten Plasmen Stoffe herzustellen, die auf klassisch chemischem Wege nur bei sehr hohen Temperaturen gebildet werden können. Vereinfacht gesehen arbeiten hier kalte Plasmen wie ein Katalysator, der die Aktivierungsenergie eines chemischen Prozesses herabsetzt, das heisst den chemischen Prozess bei tieferer Temperatur ermöglicht. Für den Einsatz kalter Plasmen erfolgt die chemische Reaktion nach einem Prinzip, wie es in Bild 5 schematisch skizziert ist.

Bild 5 zeigt den Reaktionsweg einer (exotherm) verlaufenden chemischen Reaktion mit den Ausgangsstoffen und den Endstoffen. In der klassischen Chemie muss am Übergang, energetisch gesehen, ein Potentialberg der Höhe E_A überwunden werden. Mit Hilfe einer Niederdruckentladung wird ein molekulares Gas (Ausgangsstoff) entweder durch Elektronenstoss bereits in reaktive Bruchstücke zerlegt, die dann unter vermindertem Energieaufwand $E_A - E_A'$ zum Fertigprodukt weiter reagieren können. Im zweiten Fall kann das Ausgangsprodukt – wieder durch Elektronenstoss – elektronisch angeregt werden, wird damit chemisch reaktiver und kann somit, ebenfalls unter reduziertem Energieaufwand, zum Endprodukt gebracht werden. Im Mittelpunkt dieser Vorgänge steht immer die Tatsache, dass freie Elektronen sehr leicht Energie in einem elektrischen Feld aufnehmen und dann scheinbar mühelos chemische Reaktionen bewirken können.

Einsatz von Plasmen in der Müllverbrennung?

In enger Anlehnung an das Verfahren der Ozonherstellung mit Hilfe von Korona-Entladungen wird an der Zersetzung besonders gefährlicher organischer Verbindungen gearbeitet. Wie allgemein bekannt ist, bereiten sehr stabile toxische Substanzen wie PCB, Dioxine, Pestizide

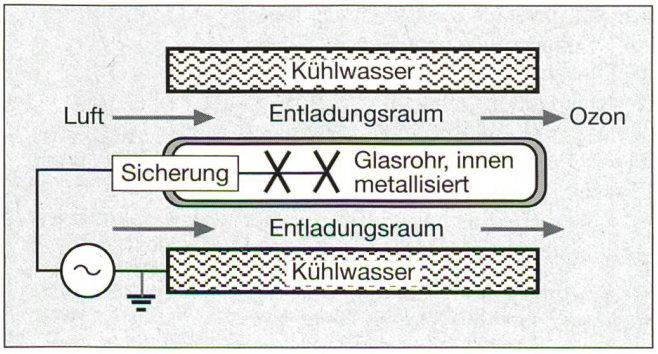


Bild 4 Schematische Darstellung einer Grundeinheit eines Ozongenerators
Nach [6]

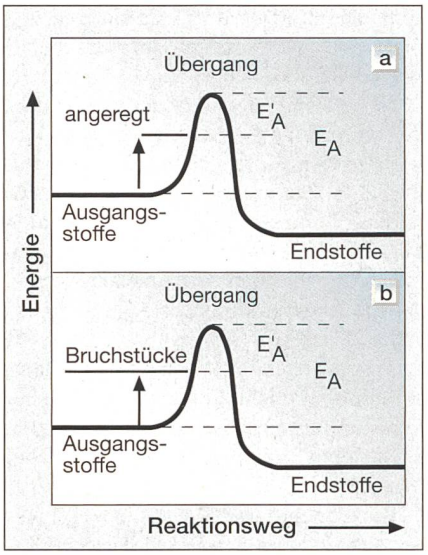


Bild 5 Schematischer Reaktionsweg vom Ausgangsstoff zum Endprodukt

Mit Hilfe eines Plasmas kann die Aktivierungsenergie der Reaktion (wie bei der Anwendung eines Katalysators) herabgesetzt werden.

a Aktivierung durch Anregung der Ausgangsstoffe

b Aktivierung durch Dissoziation der Ausgangsstoffe

usw. grosse Probleme in der Müllverbrennung; die Zersetzung dieser Stoffe erfordert extrem hohe Temperaturen, die wiederum mit einem sehr hohen Energieeinsatz einhergeht[1]. Der Einsatz von Plasmabehandlungen des Rauchgases mit der stillen Entladung könnte hier gezielt auf die Zersetzung oder Umwandlung (Entschärfung) der Problemstoffe optimiert werden; einige wissenschaftliche Arbeiten berichten über Ergebnisse und Perspektiven [6–8].

Einsatz von kalten Plasmen bei der Herstellung von Solarzellen

Der Gesichtspunkt des reduzierten Energieeinsatzes spielt bei der Herstellung energieerzeugender Systeme wie zum Beispiel bei der Herstellung photovoltaischer Zellen eine grundlegende Rolle. In der Forschung ist es zwar gelungen, hocheffiziente Solarzellen herzustellen (24% Wirkungsgrad mit kristallinen Siliziumsolarzellen); man hat jedoch zur Kenntnis nehmen müssen, dass neben dem hohen Wirkungsgrad der Aspekt der Kostenreduktion mindestens ebenso bedeutungsvoll ist. Ein wichtiger Kostenfaktor einer Solarzelle ist neben dem Preis der Rohstoffe und des Herstellungsaufwandes der Energieaufwand zur Herstellung der Zelle selbst. Man redet von der sogenannten Energierücklaufzeit und versteht damit die Zeit, die die Solarzelle benötigt, um so viel Energie zu produzieren, wie man für ihre Herstellung benötigt. Bei der Amorphen-Silizium-Technologie steht wiederum die Dissoziation des Gases Silan (SiH_4) durch ein Plasma im Mittelpunkt. Vergleichsweise müssen bei der Herstellung kristalliner Solarzellen etwa 20 kWh Bruttoenergie für ein installiertes Watt Modulleistung (1 W elektrisch bei 100 mW/cm^2 Sonnenleistung) aufgebracht werden, während bei der Herstellung amorpher Siliziummodule nur etwa 7 kWh pro Watt Modulleistung aufgewendet werden müssen. Gegenwärtig wird am IMT der Universität Neuenburg (Prof. A. Shah) an einem Verfahren gearbeitet, bei dem die Effizienz der Dissoziation durch einen Plasmaprozess noch weiter gesteigert werden kann. Mit dem sogenannten VHF-GD-(Very High Frequency Glow Discharge)-Plasma wird gegenwärtig an der Herstellung von kristallinen Dünnschichtsolarzellen gearbeitet. Im Mittelpunkt dieses Forschungsvorhabens geht es darum, die Vorteile der Kostenreduktion bei der Amorphen-Silizium-Technologie mit den Vorteilen der Kristallinen-Silizium-Technologie (hoher Wirkungsgrad) zu kombinieren. Die Erfolge dieser Arbeiten basieren auf dem VHF-GD-Prozess; mit der sogenannten Mikromorph-Zelle konnten Wirkungsgrade bis zu 12% realisiert werden [9, 10] (Bild 6).

Oberflächenbehandlung mit Plasmen

Die bisherigen Beispiele haben sich im wesentlichen mit Plasmachemie im Inneren spezieller Plasmareaktoren bei Atmosphärendruck oder unter Niederdruckbedingungen befasst. Um die Rahmenbedingungen dieser Plasmabehandlungen mit Hilfe speziell zu optimierender Plasmareaktoren zu erfüllen, ist in allen Fällen weniger Energie aufzuwenden als bei alternativen Prozessen. Zum Abschluss sei noch auf ein weiteres Beispiel für den rationellen Energieeinsatz von Plasmen für eine Oberflächenbehandlung eingegangen. Es handelt sich dabei um die Vorbehandlung von Wolle, welche einen qualitativ einwandfreien Textildruck gewährleisten soll. Rakowski [11] berichtet, dass für 120 t bedruckter Wolle pro Jahr 27000 m^3 Wasser, 44 t Natriumhypochlorid, 16 t Natriumbisulphit, 11 t Schwefelsäure und 685 MWh Energie mit einem Niederdruck-Plasmaprozess (2–6 mbar) gegenüber dem konventionellen Chlorierungsverfahren eingespart werden können. Für die Energieeinsparung bedeutet das eine Reduktion von 7 kWh/kg auf 0,6 kWh/kg Wolle. Die Oberflächenbehandlung mit Plasmen wird ebenfalls für die Vorbehandlung von Klebeflächen und Beschichtungsverfahren eingesetzt. Kompetenz auf dem Gebiet der Oberflächenbehandlung durch Plasmen wurde an der Universität Freiburg (Prof. Schlapbach) erarbeitet.

Schlussfolgerung

Die vorliegenden Beispiele haben nicht nur gezeigt, dass die Technik kalter Plasmen schon seit langem eine wichtige Rolle in unserer Gesellschaft spielt, sondern lassen uns auch prophezeien, dass der Aspekt der bei tiefer Prozesstemperatur ablaufenden Nichtgleichgewichtschemie in Zukunft ein grosses industrielles Einsatzpotential finden wird, nicht zuletzt deshalb, weil diese eine Reduktion des zu leistenden Energieeinsatzes verspricht.

Ein Kurs zur Vermittlung des grundlegenden Verständnisses über die Möglichkeiten und Anwendungen kalter Plasmen im industriellen Umfeld wird im Rahmen der Formation continue an der Universität Neuenburg im Sommer 1998 angeboten. Weitere Informationen können dort erfragt werden (http://www.unine.ch/).

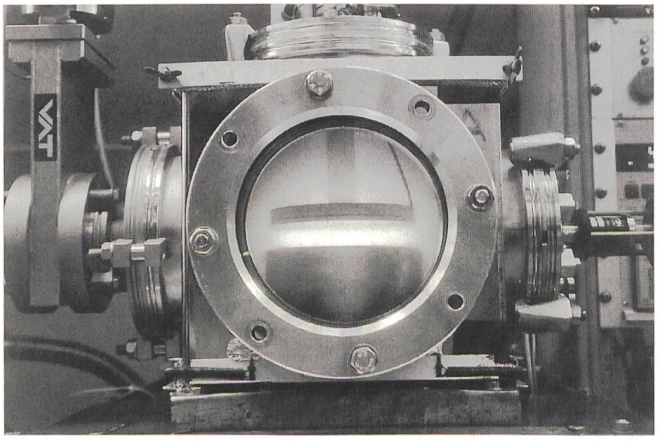


Bild 6 Blick in einen Labor-Parallelplattenreaktor

Er wird eingesetzt für die Abscheidung von Solarzellen aus einer Glimmentladung, die im VHF-Bereich angeregt wird.

[1] In der Schweiz befasst sich die Firma Moser-Glaser mit Szenarien der Müllentsorgung mit Hilfe von Plasmen.

Literatur

[1] *Wulf B. Kunkel:* Plasma Physics in Theory and Application. Mc Graw-Hill, New York, 1966, St. Louis, London.

[2] *G. Janzen:* Plasmatechnik. Hüthig-Verlag, Heidelberg, 1992. ISBN 3-7785-2086-5.

[3] *S. L. Miller:* J. Am. Chem. Soc. 77(1955), p. 2351.

[4] *P. H. Abelson:* Proc. Nat. Acad. Sci., USA 55(1966), S. 1365.

[5] *J. D. Cobine:* Gaseous Conductors. Dover Publications Inc., New York, 1958.

[6] *B. Eliasson and U. Kogelschatz:* IEEE Trans. on Plasma Sci., 19(1991), p. 1063.

[7] ENEL Research on Electrostatic Technologies for Pollution and Emission Control: Results and Perspectives. Italian Nat. Electricity Board, Thermal and Nuclear Center, 1988, p. 38.

[8] *R. S. Sheinson and N. S. Smyth:* Proc. 8th Int. Symp. on Plasma Chem., 1987, pp. 648–653.

[9] *J. Meier et al.:* 17th Internat. Conf. on Amorphous and Microcrystalline Semiconductor, 5(1997), to be published.

[10] *A. Shah und R. Tscharner:* Auf dem Weg zu leistungsfähigen Dünnschicht-Solarzellen. Bulletin SEV/VSE 86(1995)23, S. 21–26.

[11] *W. Rakowski:* Plasma Modification of Wool under Industrial Conditions. Melliand Textilberichte 70(1989), pp. 780–785.

Les plasmas au service d'une consommation plus rationnelle d'énergie

La technique des plasmas s'est introduite dans le secteur industriel d'une manière latente pour le consommateur. Elle fut tout d'abord étudiée au niveau international dans le but de maîtriser la fusion nucléaire. La perspective d'une source d'énergie inépuisable a grandement motivé ces recherches et a focalisé l'attention du grand public. Si, de nos jours, cette source d'énergie n'est pas atteinte, la recherche sur les plasmas aura permis d'autres découvertes moins spectaculaires, débouchant sur des applications très concrètes mais souvent ignorées par les profanes.

Sur le plan énergétique, force est de constater qu'il n'est pas dans l'intérêt de l'humanité de disposer des sources d'énergie illimitées, cette «course en avant» à la consommation d'énergie pourrait avoir des effets irreversibles à long terme. Seul des concepts intélligents de production et de consommation d'énergie donneront aux générations futures la chance de jouir d'un environnement de qualité et en même temps de garder le haut standard de vie actuel.

L'article donne quelques exemples sur d'importantes applications possibles grâce à la technique des plasmas.

SEV/ASE

Kennen Sie die ITG?

Die Informationstechnische Gesellschaft des SEV (ITG) ist ein *nationales Forum* zur Behandlung aktueller Probleme im Bereich der Elektronik und Informationstechnik. Als *Fachgesellschaft des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins* (SEV) steht sie allen interessierten Fachleuten und Anwendern aus dem Gebiet der Informationstechnik offen.

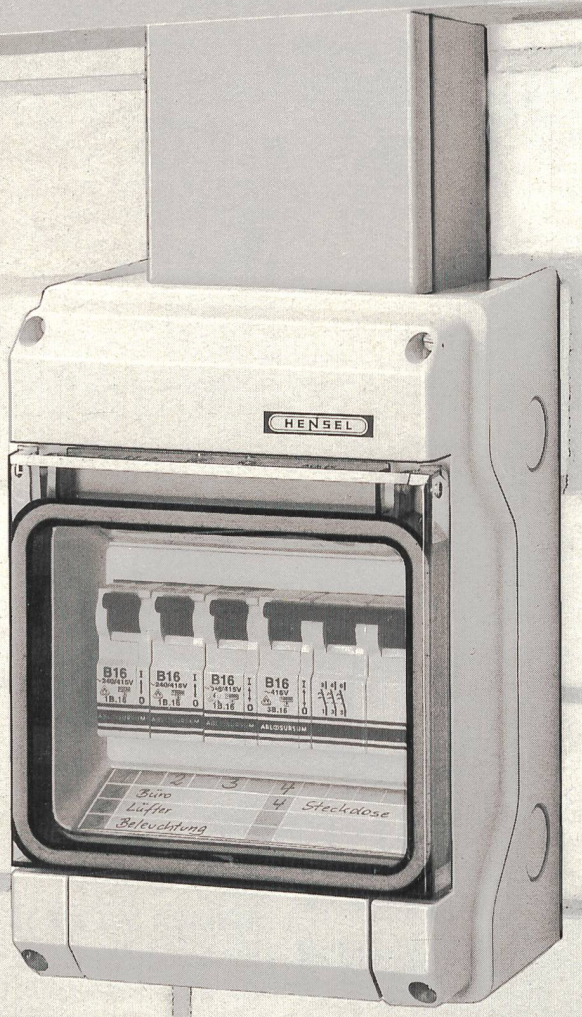
Auskünfte und Unterlagen erhalten Sie beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verein, Luppmenstrasse 1, 8320 Fehraltorf, Tel. 01 956 11 11, Fax 01 956 11 22, Internet http://itg.sev.ch.

HENSEL

Elektroinstallations- und Verteilungssysteme

neu

AP-Kleinverteiler «KV 90»



- neue Ausführungen für 3...9 Module
- neue Technik
- neue Kabeleinführungs-blenden IP 65 (ohne Verschraubungen)

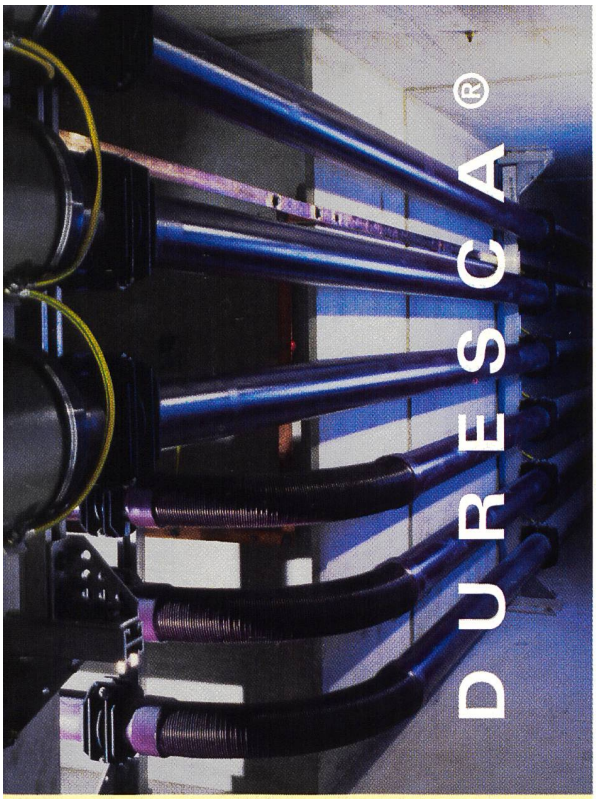
404

OTTO FISCHER AG

Elektrotechnische Artikel en gros, Aargauerstrasse 2, Postfach, 8010 Zürich
Telefon 01/276 76 76, Romandie 01/276 76 75, Ticino 01/276 76 77
Telefax 01/276 76 86, Romandie 01/276 77 63, Ticino 01/276 77 95

Coupon für Prospekt «Hensel KV 90 NEU»
Otto Fischer AG
Aargauerstrasse 2
Postfach
8010 Zürich

Firma: _____
zuständig: _____
Adresse: _____
PLZ/Ort: _____
Tel.: _____ Bu



Die beste Wahl innovativer Technologie

Seit ihrer Gründung 1914 hat sich MGC zu einem führenden Hersteller von Leistungstransformatoren, Messwandlern sowie isolierten Stromschienensystemen etabliert. Vertreten in über 20 Ländern bietet MGC weltweit hochentwickelte, kundenspezifische Lösungen an. Profitieren Sie von unserem Know-how, unserer Qualität und Flexibilität. Auf Ihre Kontaktaufnahme freut sich:

MGC MOSER-GLASER

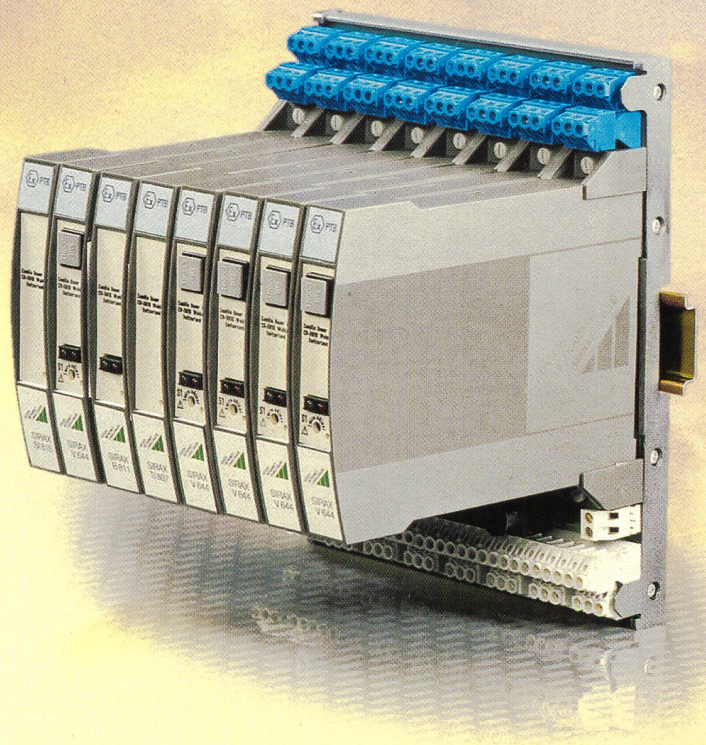
MGC Moser-Glaser & Co. AG
Energie- und Plasmatechnik
Hofackerstrasse 24
CH - 4132 Muttenz / Schweiz

Telefon 061 / 467 61 11
Telefax 061 / 467 63 11
Internet www.mgc.ch

Sparen Sie Zeit und Geld mit intelligenten Lösungen in der Prozessdatenerfassung!

- **SIRAX Backplane** ermöglicht höchste Packungsdichten
- **SIRAX Systeme** sind flexibel ausbaubar und frei codierbar
- **SIRAX Gerätemodule** und Funktionen zwischen Prozess und PLS
- **SIRAX** bietet volle Berührungssicherheit auch bei Teilbestückung
- **SIRAX EX-i** ist mit allen Baumusterprüfbescheinigungen erhältlich
- **SIRAX EX-i** kann direkt mit 230VAC betrieben werden
- **SIRAX** Vorprojektierung und Vorverdrahtung spart Zeit

Wir beraten Sie gerne auf dem Weg, Ihre Prozessdaten mit **SIRAX** noch schneller und besser zu erfassen. Rufen Sie uns einfach an oder verlangen Sie Unterlagen!



messbar besser!

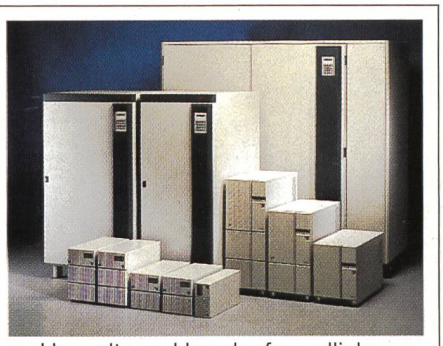
CAMILLE BAUER-METRAWATT AG
Glattalstrasse 63, 8052 Zürich
Tel. 01/302 35 35 Fax 01/302 17 49

GOSSEN METRAWATT CAMILLE BAUER

Datapower™ USV-Anlagen der E-Reihe

Die ***Power-Insurance*** gegen
Produktionsausfälle
für Ihre
EDV- und High-Tech-Produktion

Niedrigste Infrastruktur- und Betriebskosten
gegenüber anderen USV-Technologien



Umwelt- und kundenfreundliche
USV-Anlagen 0,7–4500 KVA

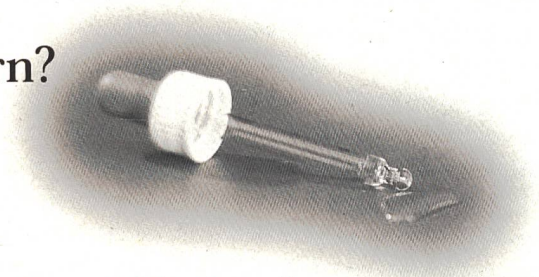
GUTOR ELECTRONIC AG	Tägerhardstrasse 90	5430 Wettingen	Tel. 056/437 34 34	Fax 056/437 34 54
GUTOR ELECTRONIC SA	Ch. des Pionniers 8	1303 Penthaz	Tél. 021/862 77 87	Fax 021/862 77 88

Auch eine gesunde Kabel-Infrastruktur kann beruhigend wirken. BKS liefert: Kommunikationskabel, Koaxial- und Twinaxial-Kabel, Elektronik- und Steuerleitungen, Sonderleitungen, F.O.-Kabel, Anschluss-Systeme.

Unser Lieferprogramm geht aber noch weiter: Von der Einbaudose zum Verteilerschrank, vom Balun bis zum Gigabit Switch... Fortsetzung folgt.

Verlangen Sie doch
unsere Produkteübersicht.

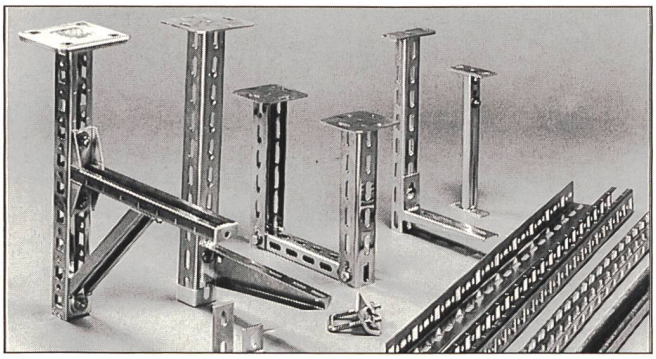
Herzflattern?



BKS Kabel-Service AG
Fabrikstrasse 8
CH-4552 Derendingen
Tel: +41/32-681 54 54
Fax: +41/32-681 54 59

BKS Kabel-Service AG
Chemin de la Sallaz
CH-1400 Yverdon-les-Bains
Tel: +41/24-423 94 09
Fax: +41/24-423 94 10

BKS
Plug in High-Tech!



Poutrelles Consoles Profilés
LANZ MULTIFIX

pour des accrochages rationnels, cadres, constructions et fixations diverses dans l'industrie, la construction, les installations sanitaires, le chauffage, la ventilation, la climatisation:

- **exécutions adaptées à toutes les charges**
- **en acier zingué; pour une protection maximale contre la corrosion également avec revêtement époxi ou en acier inoxydable**
- **prix avantageux**

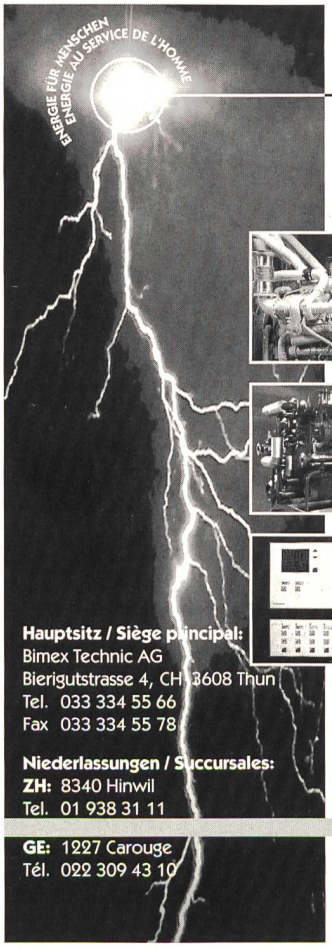
Montage rapide et compétitif avec MULTIFIX.
Téléphonez-nous:
lanz oensingen sa 062/388 21 21 Fax 062/388 24 24

☐ Les **poutrelles, consoles et profilés LANZ** m'intéressent. Veuillez me faire parvenir votre documentation.

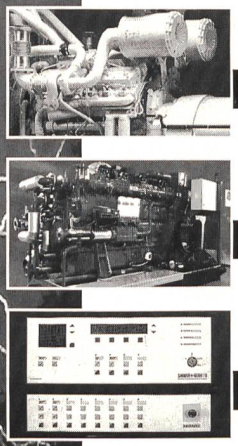
☐ Pourriez-vous me/nous rendre visite, avec préavis s.v.p.?
Nom/adresse: _____

mu3

lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen · Téléphone 062 388 21 21



Notstromanlagen
Blockheizkraftwerke
Groupes électrogènes
Centrales de cogénération



Hauptsitz / Siège principal:
Bimex Technic AG
Bierigutstrasse 4, CH-3608 Thun
Tel. 033 334 55 66
Fax 033 334 55 78

Niederlassungen / Succursales:
ZH: 8340 Hinwil
Tel. 01 938 31 11

GE: 1227 Carouge
Tél. 022 309 43 10

BIMEX®
SAUBER+GISIN
Generator-Set Engineering