Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 85 (1994)

Heft: 11

Artikel: Elektrisch leitende Polymere : eine vielverprechende Neuheit : die Entwicklung intrinsich leitender Polymere eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten für Kunststoffe

Autor: Fiorucci, David

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902570

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: 09.07.2025

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

Im Laufe der letzten Jahre sind bei der Herstellung intrinsisch leitender Polymere (ILP) beachtliche Fortschritte erzielt worden. Die elektrische Leitfähigkeit bestimmter Kunststoffe wird dabei durch eine Dotierung der Molekularketten erreicht. Damit kann man den zahlreichen Füllstoffen (z.B. Russ) ausweichen, mit denen bisher Kunststoffe für bestimmte Anwendungen leitend gemacht wurden, welche dabei aber oft die mechanischen Eigenschaften des Materials verschlechterten. Je nach Herstellprozess besitzen intrinsisch leitende Kunststoffe unterschiedliche, technisch interessante elektrische, magnetische und optische Eigenschaften. Obwohl viele Anwendungsmöglichkeiten wegen industrieller und militärischer Geheimhaltung noch nicht bekannt sind, werden andere bereits zahlreich genutzt. Der Markt für solche Anwendungen scheint sich sehr rasch zu entwickeln.

Elektrisch leitende Polymere – eine vielversprechende Neuheit

Die Entwicklung intrinsisch leitender Polymere eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten für Kunststoffe

■ David Fiorucci

Jedermann kennt die Kunststoffe, die zur Herstellung von alltäglichen Gegenständen verwendet werden. Im allgemeinen handelt es sich dabei um sehr gute (elektrische) Isolatoren. Nun gelingt es aber seit kurzem, durch Zusätze und spezielle Verfahren, die isolierenden Kunststoffe in gute elektrische Leiter umzuwandeln. Auf diese Weise können die elektrischen Eigenschaften der Metalle mit den Vorteilen der Kunststoffe, die bereits in den 30er Jahren das Interesse geweckt haben, verbunden werden. Die neuen, elektrisch leitenden Polymere werden manchmal auch intrinsisch leitende Polymere (ILP) genannt, um jegliche Verwechslung mit den Kunststoffen zu vermeiden, welche durch Füllstoffe wie Russ- oder Metallpartikel zu elektrischen Leitern gemacht wurden und welche den Nachteil haben, dass die genannten Partikel die mechanischen Eigenschaften des Polymers verschlechtern.

Polymere, deren Gerüst eine grosse Anzahl von konjugierten π-Elektronen enthält, zeigen sehr interessante elektronische Eigenschaften, die sich sehr stark von den

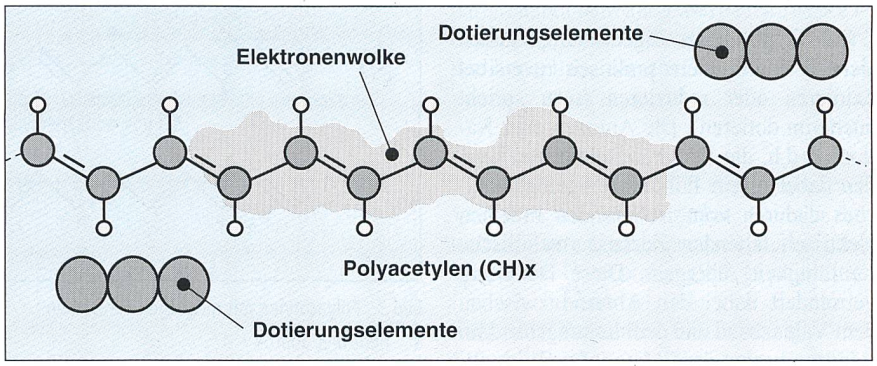


Bild 1 Elektronen-Delokalisierung in einer Polyacetylen-Kette

Dieser Aufsatz ist eine erweiterte Fassung des Vortrages, den der Autor an der ETG-Tagung vom 9. November 1993 in Boudry NE hielt.

Adresse des Autors:
David Fiorucci, Ing.-chimiste ETS, Laboratoire d'Essais des Matériaux, Câbles Cortaillod S.A., 2016 Cortaillod.

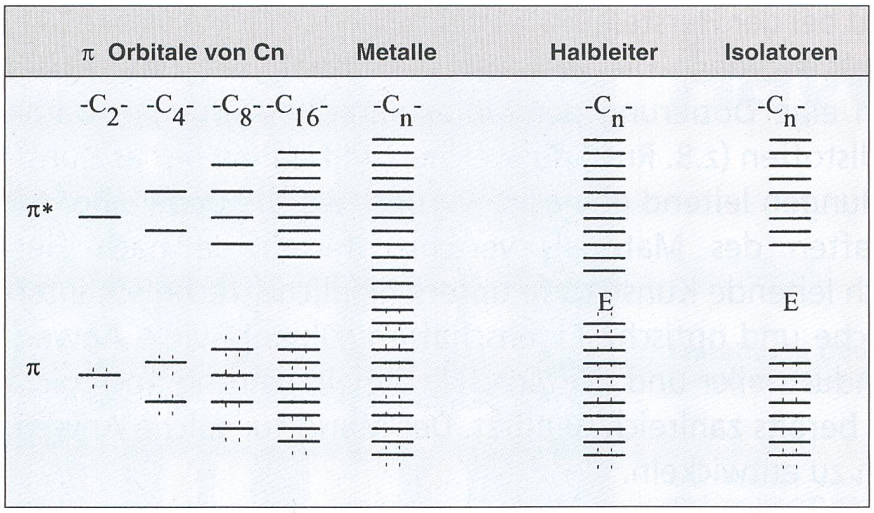


Bild 2 Entwicklung der Energiebänder in Polymeren bei zunehmender Anzahl Doppelbindungen

π^* Molekularorbitale, welche das Leitungsband bilden
π Molekularorbitale, welche das Valenzband bilden
E Energielücke

Eigenschaften der klassischen Polymere unterscheiden. Der Gedanke ist nicht abwegig, dass diese neuen Materialien in Zukunft eine zu den gewöhnlichen Kunststoffen gleichwertige Stellung einnehmen werden. Viele Industriezweige interessieren sich dafür und investieren sehr viel Geld in die entsprechenden Forschungsbereiche.

Die elektrische Leitfähigkeit von Polymeren

Die Struktur elektrisch leitfähiger Polymere wird im allgemeinen bestimmt durch eine Folge von Einfach- und Doppelbindungen. Das Polyacetylen $(CH)_X$ (Bild 1) ist das einfachste Modell dieser Art. Die Eigenschaften solcher Materialien stehen in engem Zusammenhang mit folgenden Phänomenen:

- das Vorhandensein von optischen Übergängen mit niedriger Energie
- eine kleine potentielle Energie der Elektronen
- eine oft grosse elektronische Affinität.

Als Folge dieser Eigenschaften lassen sich diese Polymere praktisch reversibel oxidieren oder reduzieren (man spricht auch von dotieren). Die Anionen oder Kationen (d.h. die Dotierungselemente) werden dabei in ein Polymer eingefügt, welches dadurch vom isolierenden in einen elektrisch leitenden Zustand (metallische Leitfähigkeit) übergeht. Diese Dotierung vermindert dabei den Abstand zwischen dem Valenzband und dem Leitungsband im Bänderschema des Materials (Bild 2). Die Dotierung und der Besetzungsgrad der Elektronenbänder bestimmen schliesslich die elektrische Leitfähigkeit des Polymers.

Die intrinsisch leitenden Polymere (ILP) gehören gegenwärtig sowohl in der Grundlagenforschung wie auch auf der Ebene der potentiellen Anwendungen zu den bedeutendsten Themen. Eine harte Konkurrenz besteht auf diesem Gebiet, weil die kommerzielle Bedeutung beträchtlich ist. Zu betonen ist, dass man in den letzten Jahren grosse Fortschritte in der Herstellung solcher Materialien erzielt hat. Zuvor waren die meisten dieser Materialien unlöslich und unschmelzbar. Heute kann man stabile Lösungen oder Suspensionen von ILP herstellen. Einige davon können bei Temperaturen von weniger als 100 °C geschmolzen werden.

Was heisst Dotierung?

Im Falle der ILP hat der Begriff der Dotierung nicht die gleiche Bedeutung wie in der Elektronik. Bei der Erforschung der ILP haben die Physiker neue Konzepte und Begriffe eingeführt (Bild 3):

- neutrale Solitonen (neutrale, radikale Defekte)
- Polaronen (radikale Kationen)
- Bipolaronen (Dikationen)

Bei der klassischen Dotierung geben die Dotierungselemente Elektronen ab (Donatoren) oder nehmen dem Grundmaterial Elektronen weg (Akzeptoren), je nachdem ob es sich um eine n- oder eine p-Dotierung handelt. Im Falle der ILP schafft das Anion, zusammen mit dem Polymer, neue, geladene oder ungeladene «Teilchen», welche eine grössere Mobilität besitzen und sich dank der Konjugierung von Einfach- und Doppelbindungen verschieben können (ähnlich einer Rolltreppe!). Zusätzlich können diese «Teilchen» von einer Polymerkette zur anderen wandern, entsprechend ihrem im allgemeinen sehr hohen Grad der Delokalisierung (Bild 1).

Die Entdeckung (im Jahre 1977) der Möglichkeit, dünne $(CH)_X$-Schichten mit Elektronenakzeptoren und -donatoren zu dotieren, war der Ausgangspunkt solcher neuer Materialtypen, wobei Leitfähigkeiten von ungefähr 100 S/cm erreicht wurden. Seither wurden grosse Fortschritte mit diesen Materialien erzielt. Die Leitfähigkeit von Polyacetylenfasern konnte bis auf rund 500 000 S/cm erhöht werden, was diesem Stoff eine Leitfähigkeit verleiht, welche mit jener des Kupfers vergleichbar ist.

Die erfolgreiche elektrochemische Dotierung von dünnen $(CH)_x$-Schichten hat

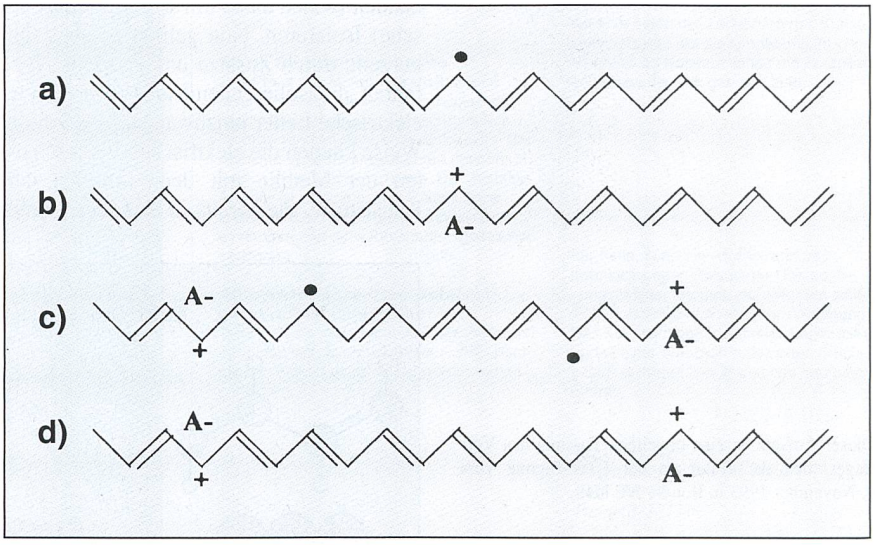


Bild 3 Polyacetylen mit möglichen Fehlstellen

a neutrales Soliton
b geladenes Soliton (Kation)
c Polaron (radikale Kationen)
d Bipolaron (Verbindung von zwei Polaronen)
*A_* dotierendes Anion

eine Welle von Forschungsarbeiten über dieses Material ausgelöst, vor allem in Hinblick auf die Möglichkeit, solche Materialien für wiederaufladbare Batterien verwenden zu können. Leider bleibt das Polyacetylen aber immer ein sehr instabiles Material, das nur in einer inerten Atmosphäre gehandhabt werden kann (d.h. in Abwesenheit von Sauerstoff und Feuchtigkeit).

Erreichbare Leitfähigkeiten

Es existieren jedoch andere elektrisch leitende Polymere, welche eine recht gute Stabilität besitzen. Das zweite Material, welches untersucht wurde, war das Polyparaphenylen (im Jahre 1979); dieser Kunststoff kann ebenfalls bis zu einem hohen Leitfähigkeitsgrad dotiert werden. Danach wurden zahlreiche Polyaromate (Polymere, mit zyklisch konjugierten Strukturen) mit und ohne Heteroatome (d.h. andere Atome als Kohlenstoff C, wie etwa Stickstoff N, Sauerstoff O, Schwefel S usw.) erforscht, so zum Beispiel Polyparaphenylensulfid, Polypyrrol, Polythiophen, Polyanilin usw. Das Bild 4 zeigt die elektrische Leitfähigkeit einiger solcher Polymere in Funktion des Dotierungsgrades. Nicht zu vergessen ist, dass 1965 in Frankreich bereits Untersuchungen über das Polypyrrol und Polyanilin und 1966 in Italien über das Polypyrrol stattgefunden haben. Eine ausgezeichnete Studie wurde damals veröffentlicht, erhielt aber nicht die verdiente Beachtung. Wahrscheinlich waren die Autoren ihrer Zeit voraus!

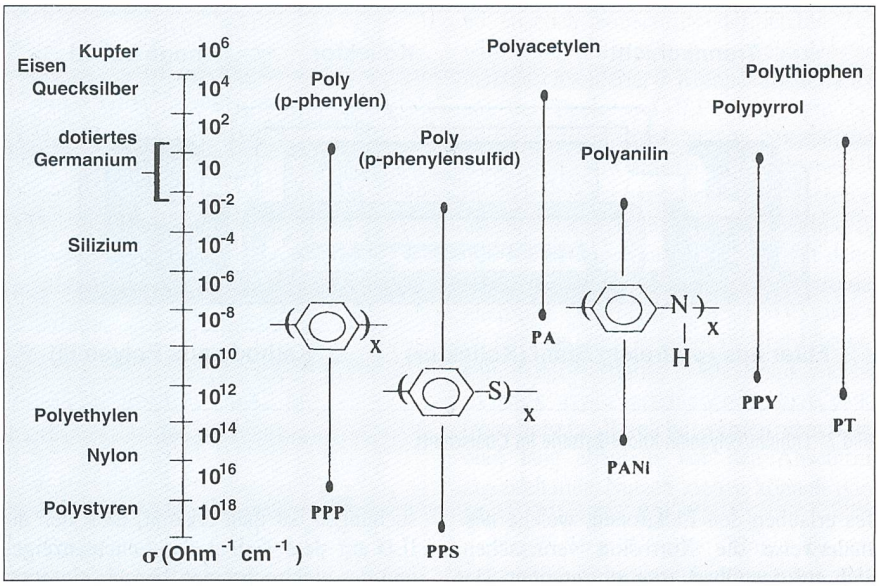


Bild 4 Elektrische Leitfähigkeit leitender Polymere
Durch Dotierung erreichbare Leitfähigkeit von Polymeren, im Vergleich mit konventionellen Materialien.

Herstellverfahren

Die Verfahren zur Synthese der ILP können verschiedenen Typen zugeordnet werden, so unter anderem den konventionellen Polymerisations-Methoden und den chemischen oder elektrochemischen Oxydationen. Die Oxydationsmethode unterscheidet sich von den anderen durch die Eigenschaft, dass sie direkt zu einem dotierten (p-)leitenden Material führt. Die Wahl der Oxidations- und Lösungsmittel ist in diesem Fall ausschlaggebend für die Eigenschaften des Polymers (Bild 5).

Die Dotierungs-Reaktion führt im allgemeinen zu starken Veränderungen in der Polymerkette. Es wurde gezeigt, dass verschiedene chemische Gruppen mit spezifischen Eigenschaften in die ILP-Kette eingebaut werden können. Diese chemischen Gruppen können Redoxpaare, biologisch aktive Gruppen (Enzyme), Spin-Träger usw. sein. Dank der erzielten Fortschritte ist es heute möglich, ohne grossen Aufwand Komposite mit den meisten der klassischen Polymere herzustellen. Sehr dünne und durchsichtige Schichten, aber auch Beschichtungen mit Konzentrationsprofilen (und damit Leitfähigkeitsprofilen) können heute erzeugt werden.

Physikalische und elektrochemische Eigenschaften von ILP

Elektrochemische Eigenschaften

Das Polypyrrol

Das Polypyrrol (Bild 6) kann als dünne Schicht auf elektrochemischem Weg hergestellt werden. Dies geschieht durch Oxydation des Pyrrols und ist in verschiedenen Lösungsmitteln (z.B. in Wasser) möglich. Die Dicke eines solchen Films ist direkt proportional zur elektrischen Ladung (Anzahl Coulomb), welche den Stromkreis durchflossen hat. Der Film ist im dotierten Zustand schwarz und leitfähig. Wird der Film aber reduziert, so nimmt er eine gelbe Farbe an und verliert seine leitenden Eigenschaften. Der auf einer Elektrode abgelagerte Film kann in reversibler Art und Weise nacheinander reduziert und oxidiert werden (Bild 5).

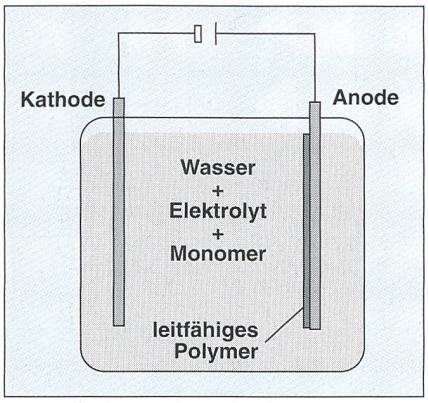


Bild 5 Schematische Darstellung der Elektropolymerisation von ILP

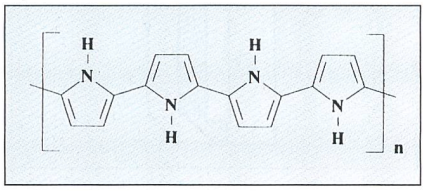


Bild 6 Die Polypyrrolkette

Das Polypyrrol kann auch leicht durch eine chemische Oxydation mit Hilfe von Eisenchlorid hergestellt werden: Ein pulverförmiges Material, mit einem Aussehen wie Russ, ist das Resultat. Falls die Lösung noch einen anderen Stoff enthält, so entsteht ein heterogenes Komposit-Material. Befindet sich ein fester Körper in der Lösung, zum Beispiel ein Stück Glastextil oder PVC, so lagert sich das Polypyrrol vorzugsweise auf dem festen Körper ab. Auf diese Weise lässt sich ein Gewebe präparieren, bei dem alle Fasern elektrisch leitend sind; oder man kann einen PVC-Körper herstellen, dessen Oberfläche leitend ist.

Das Polyanilin

Obwohl das Polyanilin ein komplexeres Verhalten als Polypyrrol hat, ist es in dotiertem Zustand stabiler als letzteres. Eine detaillierte Untersuchung hat gezeigt, dass für verschiedene Metalle eine Beschichtung mit Polyanilin ein wirkungsvoller Korrosionsschutz ist. Die Struktur und die elektrische Leitfähigkeit dieses Kunststof-

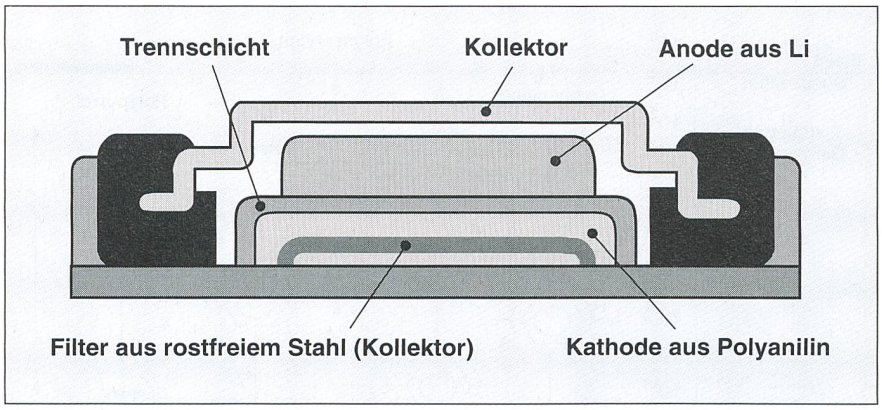


Bild 7 Lithium/Polyanilin-Knopf-Batterie im Querschnitt

fes erlauben den Elektronen, welche normalerweise die Korrosion verursachen, sich auf der Oberfläche zu verteilen. Der Korrosionsprozess wird damit verhindert.

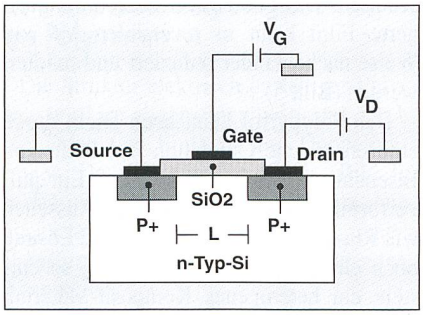
Physikalische Eigenschaften

Optische Eigenschaften

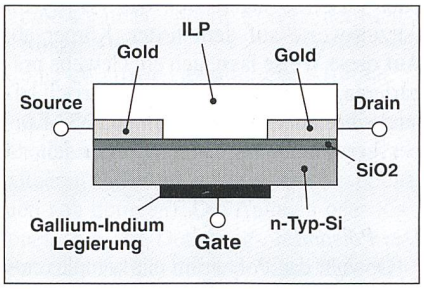
Das Polypyrrol kann auf eine optisch-durchsichtige Elektrode, hergestellt durch eine Beschichtung von Glas mit Indium(tri)oxyd (ITO), aufgetragen werden. Mit Hilfe einer elektrochemischen Zelle, welche die Aufnahme von Transmissionsspektren erlaubt, kann man die Filme spektroskopisch im oxydierten oder dotierten Zustand untersuchen. Durch solche Untersuchungen hat man erkannt, dass sich die ILP auf dem Gebiet der Leuchtanzeigen und der elektrochromen Fenster einsetzen lassen.

Elektrische Leitfähigkeit

Leitfähigkeitsmessungen gehören zu den wichtigsten Methoden zur Untersuchung von ILP. Die Parameter, welche die Leitfähigkeit bestimmen, sind einerseits struktureller Art. Andererseits hängt sie aber auch wesentlich von der Natur der dotierenden Ionen und somit von den Herstellbedingungen ab. Herstellmethoden von ILP sind daher oft streng gehütete Labergeheimnisse.



(a)



(b)

Bild 8 Feldeffekt-Transistor

a Schematische Darstellung eines konventionellen Metall-Isolator-Halbleiter-Feldeffekt-Transistors (MISFET)

b Feldeffekt-Transistor mit intrinsisch leitendem Polymer (ILP)

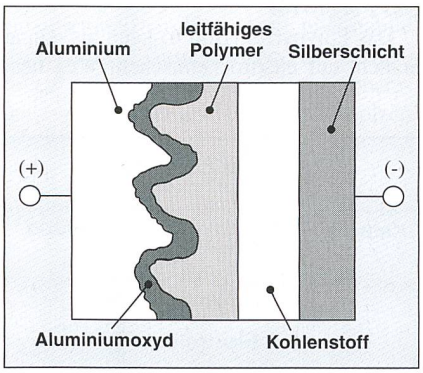


Bild 9 Querschnitt durch einen Polypyrrol-Elektrolyt-Kondensator

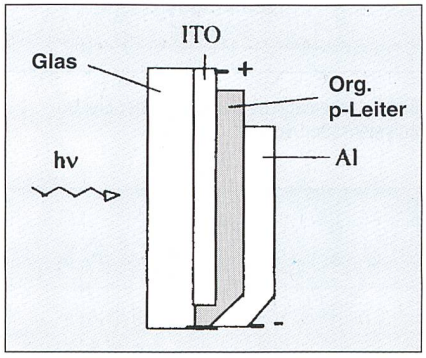


Bild 10 Struktur einer organischen Schottky-Zelle im Querschnitt

Polythiophen, Polyparaphenylen und andere Polymere

Das Polythiophen ist eines der am meisten untersuchten ILP. In Japan wird dieser Kunststoff für elektrochrome Anzeigen in Betracht gezogen. Es handelt sich hier ebenfalls um die Wiederaufnahme von Untersuchungen, die in Frankreich bereits beschrieben wurden (vor allem durch das CNRS-Labor in Thiais). Kürzlich wurden sehr interessante Ergebnisse über Polythiophen-Derivate (z.B. Poly[octyl-3 thiophen]: POT) veröffentlicht. Das POT ist in vielen Lösungsmitteln löslich und bei einer Temperatur von wenig mehr als 100 °C schmelzbar.

Schliesslich existieren noch viele andere ILP. Man kann hoffen, dass eines Tages in einigen dieser Polymere Supraleitung gefunden wird – und dies vielleicht sogar bei Raumtemperatur. In der Tat haben die Theorien der verschiedenen Leitfähigkeitsarten sehr viele Ähnlichkeiten und gemeinsame Begriffe (Polaronen, Solitonen).

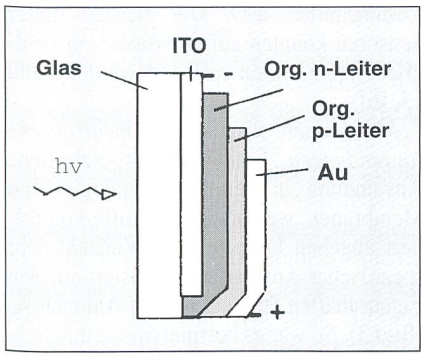
Mögliche Anwendungen der ILP

Die zahlreichen bekannten Anwendungsmöglichkeiten im wissenschaftlichen und technischen Bereich sind ein grosser Ansporn für die Erforschung der elektrisch leitenden Polymere. Viele Anwendungsmöglichkeiten sind wahrscheinlich heute noch nicht bekannt und werden erst in dem Masse zutage treten, wie sich die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet weiter entwickelt. Neue Basispolymere, aber auch Legierungen mit Materialien verschiedenster Art werden dazukommen. Gewisse Anwendungen unterliegen heute der industriellen oder militärischen Geheimhaltung.

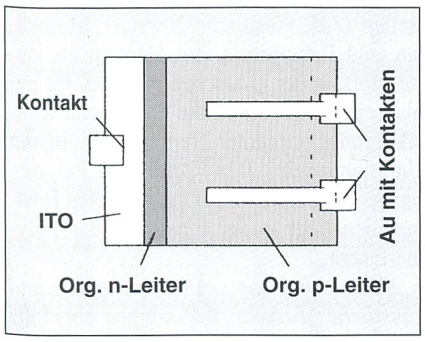
Nachfolgend sollen die bekanntesten Anwendungen und Anwendungsmöglichkeiten für den öffentlichen Bereich kurz beschrieben werden. Sie werden in der Reihenfolge aufgeführt, wie sie realisiert wurden oder wie sie aus heutiger Sicht in Zukunft realisiert werden könnten.

Anwendungen, die bereits auf dem Markt sind

Elektrochemische Generatoren: Es handelt sich dabei um Systeme, die grundsätzlich aus den folgenden Elementen bestehen: eine positive Polyanilin-Elektrode, eine negative Lithium-Aluminium-Elektrode sowie ein Elektrolyt mit Polypropylenkarbonat und einem Lithium-Satz als Grundbestandteile [1, 2]. Eingesetzt werden sie als 3-V-Knopf-Batterien in der Elektronik und Informatik (Bild 7). Vorerst besteht keine Aussicht, solche Elemente in



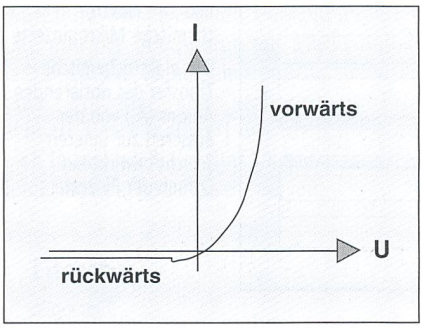
(a)



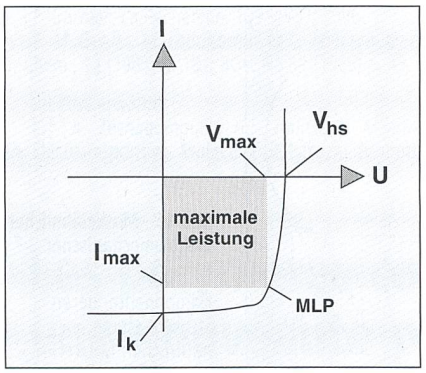
(b)

Bild 11 Struktur einer organischen p-n-Fotozelle

a im Querschnitt
b in Vorderansicht
ITO optisch durchsichtige Elektrode (Indiumtrioxyd)



(a)



(b)

Bild 12 Strom-Spannungs-Kennlinie einer Fotodiode

a unbeleuchtete Fotodiode (p-n oder Schottky)
b beleuchtete Fotodiode (p-n oder Schottky)
I_k Kurzschlussstrom
V_{hs} Leerlaufspannung
MLP Punkt maximaler Leistung von $P_{max} = V_{max} \cdot I_{max}$

Kraftfahrzeugen zu verwenden, weil ihre Leistungsfähigkeit beschränkt ist. In der Tat lässt sich die Stromdichte nur mit grossem Aufwand auf über 5 mA/cm² steigern, und die Energiedichte erreicht keine 100 Wh/l. Dagegen ist die Energie pro Masseeinheit mit Werten bis 100 Wh/kg sehr interessant und die schwache Selbstentladung vorteilhaft, insbesondere auch noch bei Temperaturen über der Raumtemperatur. Gegenwärtig werden in Japan jeden Monat mehr als 100 000 Knopf-Batterien zum Stückpreis von 3 $ verkauft.

Radarabschirmung und andere Anwendungen in Flugzeugen: Eine zweite Anwendung der ILP – auch hier handelt es sich um lackförmiges Polyanilin – wird ebenfalls bereits in grossem Massstab eingesetzt. Es wird benützt, um die Radarsignatur der Militärflugzeuge abzuschwächen. Zukünftig wird man in der Militär- und Zivilluftfahrt wahrscheinlich auch versuchen, Kupferleiter (elektrische Leitungen, Kabel usw.) durch ILP zu ersetzen; das Gewicht der elektrischen Verdrahtung könnte dadurch um ein Drittel reduziert werden.

Antistatischer Schutz und elektromagnetische Abschirmungen: Die ILP werden auf dem Gebiet des antistatischen Schutzes und der Abschirmung gegen elektromagnetische Störungen (EMS) noch stark an Bedeutung gewinnen. Dank der grossen technologischen Fortschritte der letzten Zeit wird die Herstellung verschiedenster, massgeschneiderter Kompositmaterialien auf der Basis von ILP relativ gut beherrscht. Nach Aussage von Spezialisten werden die Anwendungen der ILP speziell im Abschirmungsbereich eine ausserordentlich grosse technische und kommerzielle Bedeutung erhalten. Man denkt dabei an alle Bereiche, bei denen die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) unabdingbar ist, zum Beispiel in Kraftfahrzeugen, in der Luftfahrt, in Elektronik und Informatik usw. Verschiedene andere elektrotechnische Bereiche werden über kurz oder lang ebenfalls von den Abschirmeigenschaften Nutzen ziehen können (Gehäuse, Zubehöre, Kabel usw.).

Metallisierte Gewebe: Einige Firmen, namentlich Schweizer Unternehmen, stellen durch kontinuierliche elektrochemische Verfahren diverse «metallisierte» Stoffe her, das heisst Stoffe, die auf diese Weise mit Polypyrrol und andern ILP beschichtet sind. Solche Stoffe haben vielversprechende Eigenschaften für PC-Bildschirme, Kleidungen und andere Anwendungen.

Mögliche Anwendungen der Zukunft

Heute ist man in der Lage, Lösungen von ILP herzustellen, man kann ILP unter Vakuum aufdampfen oder sie auch in der Gasphase synthetisieren. Diese neuen Herstellungsarten lassen an zahlreiche Anwendungen durch ILP-Beschichtungen von verschiedensten Materialien denken. Solche Schichten können auch durchsichtig sein. Für gewisse Anwendungen dieser Spitzentechnologie werden heute beträchtliche Forschungsmittel eingesetzt.

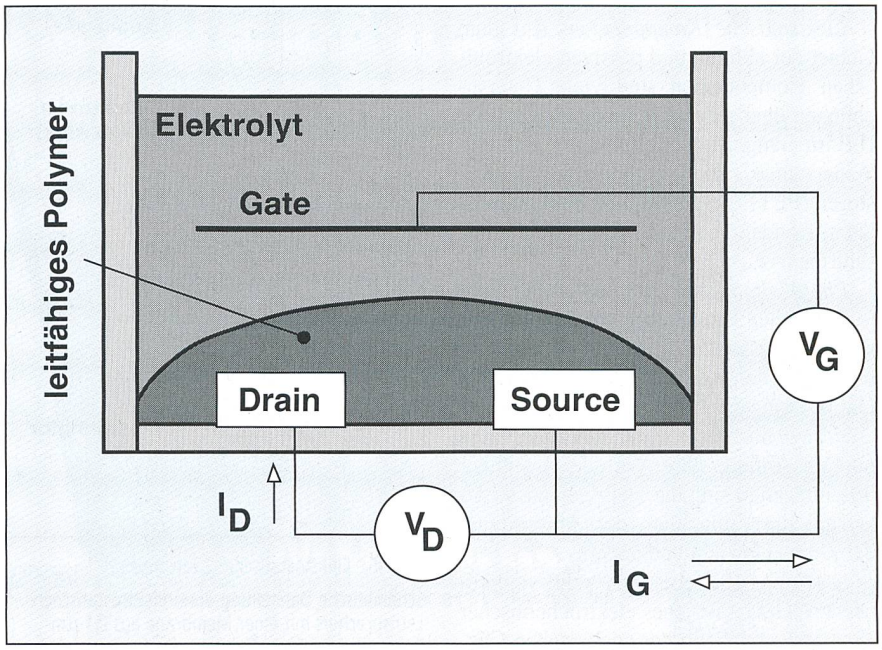


Bild 13 Schematische Darstellung eines elektrochemischen Sensors

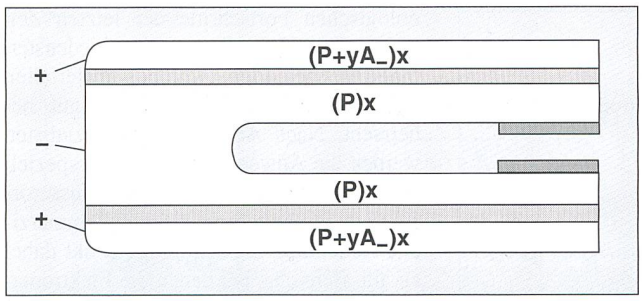


Bild 14 Elektrochemische Mikropinzette

Der elektrochemische Transfer des dotierenden Anions (*A_*) von der äusseren zur inneren Schicht bewirkt ein Öffnen der Pinzette.

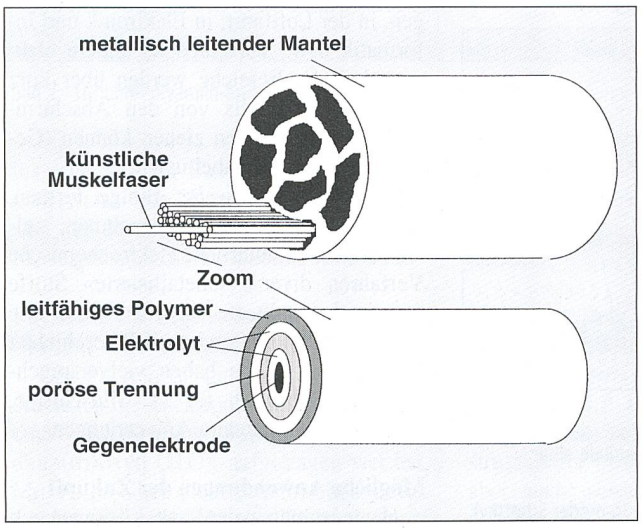


Bild 15 Muskelähnlicher elektromechanischer Aktor

Komponente, deren Struktur einem natürlichen Muskel gleicht. Bei einer elektrochemischen Änderung der Dotierung ziehen sich die Fasern zusammen oder entspannen sich.

Smart Windows: Es handelt sich vorerst um Anzeigesysteme und um elektrochrome Fenster (Smart Windows). Manche ILP haben die Eigenschaft, die Farbe zu wechseln, je nachdem, ob sie dotiert sind oder nicht. Das Polypyrrol zum Beispiel wechselt dabei von Gelb (nicht dotiert) zu Dunkelgrün (dotiert) und umgekehrt. Mehrere Patente über Polyanilin und seine Folgeprodukte sind angemeldet.

Elektronische Komponenten: Auf dem Gebiet der aktiven und passiven elektronischen Komponenten sind viele Untersuchungen über mögliche Anwendungen der ILP im Gang. Sie betreffen unter anderem Widerstände, Dioden, Feldeffekt-Transistoren (FET) (Bild 8, [3, 4]), Superkapazitäten, Kondensatoren (Bild 9), flache Bildschirme usw.

Photovoltaik: Auf dem Gebiet der photovoltaischen Umwandlung (Bilder 10–12) sind interessante Resultate über organische p-n-Fotozellen veröffentlicht worden [5]. Die Wirkungsgrade solcher Fotozellen sind allerdings noch bescheiden, aber dies ist ja nur ein Anfang. Ihre Vorteile gegenüber Siliziumzellen sind die niedrigen Materialkosten, die Einfachheit der Anwendung, das kleine Gewicht und anderes.

Sensoren: Ein ebenfalls sehr versprechendes Gebiet ist jenes elektrochemischer Sensoren, welche in der analytischen Chemie und in der Biologie (Glukose, Harnstoff, Glutamat, ...) verwendet werden können. Denkbar sind spezifische Messzellen für Gase, pH-Werte, Strahlungen, Wasser, Lösungsmittel usw. Die meisten dieser Sensoren könnten auf der Basis von Feldeffekt-Transistoren realisiert werden (Bild 13, [6]).

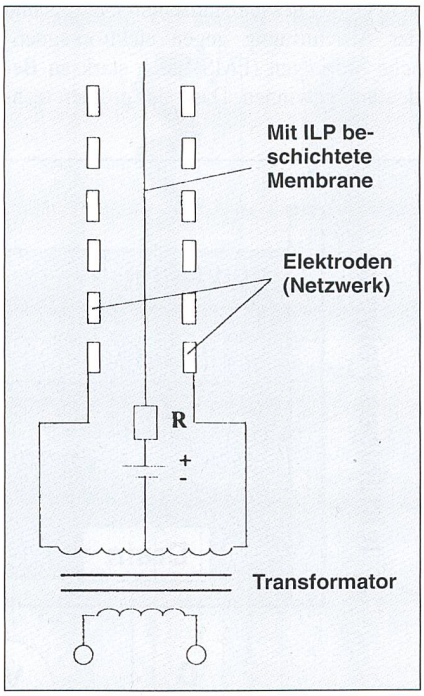


Bild 16 Elektrostatischer Lautsprecher

Schematische Darstellung eines elektrostatischen Lautsprechers mit einer Membrane aus 0,1 µm Polyanilin und 6 µm Polyester (oder piezoelektrisches Polymer zwischen zwei Polypyrrolschichten).

Membranen und andere medizinische Anwendungen: Eine weit fortgeschrittene Anwendung in der Biotechnologie sind Membranen, welche aktive Stoffe kontrolliert abgeben können. Eine Vielzahl sehr spezifischer Anwendungen basiert auf den Eigenschaften der dotierenden Anionen A_ (Bild 3). So war es beispielsweise möglich, aus mit Heparin dotiertem Polypyrrol perfekte, körperverträgliche Implantate herzustellen (z.B. künstliche Nerven). Momentan sind Polypyrrole, mit Heparin als Zusatzstoff, in der klinischen Prüfung. Ihr geplantes Einsatzziel ist die elektrische Kontaktierung getrennter Nerven (z.B. in der Unfallchirurgie). Der Vorteil von Polymeren gegenüber den sonst verwendeten Edelmetallen liegt in der Elastizität der Polymerfasern.

Mikrotechnische Anwendungen und künstliche Muskeln: ILP können ebenfalls für die Herstellung von Komponenten der Mikrotechnik (Mikropinzetten, Mikroventile usw.) eingesetzt werden [6]. Als Beispiel für solche Anwendungen wird in Bild 14 das Schema einer Mikropinzette gezeigt. Die beiden Finger der Pinzette bestehen aus zwei gleichen Polymerschichten, welche durch eine Schicht eines festen Elektrolyts galvanisch getrennt sind. Die Betätigung der Pinzette erfolgt durch elektrochemischen Transfer der Dotierungselemente zwischen den beiden Polymerschichten. Wird bei der in Bild 14 gezeigten Konfiguration die Elektrodenspannung umgepolt, dann wandern die Anionen A_ von der Aussen- zur Innenelektrode und öffnen so die Pinzette. Forscher haben bereits solche elektrochemische Mikroaktoren mit Abmessungen von 200 µm auf 25 µm erfolgreich hergestellt. Der Hauptvorteil einer solchen Pinzette ist die niedrige Spannung (etwa 1 V oder auch weniger), welche für die Betätigung benötigt wird. In der Forschung interessiert man sich im weiteren für die Herstellung von künstlichen Muskeln; sie könnten nach dem gleichen Prinzip funktionieren (Bild 15, [7]).

Diverse Anwendungen: Der Phantasie für weitere Anwendungen der ILP sind keine Grenzen gesetzt. Als Beispiele seien zum Schluss nur noch einige Beispiele zitiert: Materialien für die chemische und elektrochemische Katalyse und Umwandlung (z.B. Brennstoffzellen), Membranen für elektrostatische Lautsprecher (Bild 16) mit piezoelektrischen Polymeren (PVDF) zwischen zwei Polypyrrolschichten, Korrosionsschutz in Sonderfällen usw. [8].

Schlussfolgerungen

In den letzten zehn Jahren haben die Grundlagenforschung und die industrielle Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der leitfähigen Polymere beachtliche Fortschritte erzielt. Grosse Anstrengungen wurden in den letzten drei Jahren vor allem auch in der Herstelltechnologie solcher Materialien unternommen. Diese neuen Werkstoffe eröffnen viele neue Anwendungsmöglichkeiten. Einzelne dieser Anwendungen sind bereits auf dem Markt, und andere, auch für das breite Publikum bestimmte Anwendungen, werden ihnen bald folgen. Für viele andere sind aber noch grosse Forschungsanstrengungen notwendig.

Die Erforschung dieser Art von Materialien setzt eine enge Zusammenarbeit zwischen den Grundlagenforschern, Chemikern und Physikern und der Industrie voraus. Dies wird vielleicht am schwierigsten zu erreichen sein. Obwohl mehrere Dossiers zu diesen Materialien beim neuen Brite-Euram-Programm liegen, gerät man in Europa auf diesem Gebiet immer mehr in Rückstand. Weltweit nehmen die Kenntnisse über die ILP sehr schnell zu. Auch die Anzahl der verschiedenen, technisch interessanten ILP und ihrer Anwendungen wächst ständig.

Trotz des grossen Interesses, welches die ersten Anwendungen weckten, haben die leitfähigen Polymere aber noch nicht die ihnen gebührende Verbreitung gefunden. Aufgrund der erreichten Forschungsresultate und der durchgeführten Marktstudien ist ihr grosses technisches und wirtschaftliches Potential aber unbestritten. Wie schnell dieses realisiert werden kann, wird sich in den nächsten fünf Jahren, oder vielleicht auch schon früher, weisen.

Literatur

allgemein:

R. Kaner et *A. Macdiarmid*. Sci. Amer., 126 (1988) p. 60; Pour la Science, 126 (1988) p. 52.

F. Garnier. La Recherche, 193 (1987) 1306.

E. M. Genies, M. Lapokowski et *C. Tsintavis*. New J. Chem., 12 (1988) p. 181; RGE, No.11 (1989) p. 49.

im Text erwähnt:

[1] *A. Techagumpuch, H.S. Nalwa, S. Miyata*: in Electroresponsive Molecular Polymeric Systems; T.A. Skotheim, ed., Marcel Deker, New York, 1988, p. 257.

[2] *J. Gosch*, Electronics, July 9, 1987, p. 41. Lithium-Polymer-Knopfzelle 2025. Product information sheet. *H. Naarmann*: BASF-Kunststoffe, Forschung und Entwicklung, Nov. 1986, p. 40. *D. Naegele, R. Bittihn*, Sol. State Ionics 1988, 28–30, 983.

[3] *G. Horowitz*: Organic Semiconductors for New Electronic Devices. Adv. Mater. 2 (1990) No. 6/7, p. 287.

[4] *Schoch* and *Saunders*: Conducting Polymers. IEEE Spectrum, June 1992, p. 52.

[5] *D. Wöhrle* and *D. Meissner*: Organic Solar Cells. Adv. Mater. 3 (1991) No. 3, p. 129.

[6] *R. H. Baughman*: Conducting Polymers in Redox Devices and Intelligent Materials Systems. Makromol. Chem., Macromol. Symp. 51, 193–215.

[7] *T. Stevens*, Materials Engineering, 108(#2) (1991) 21.

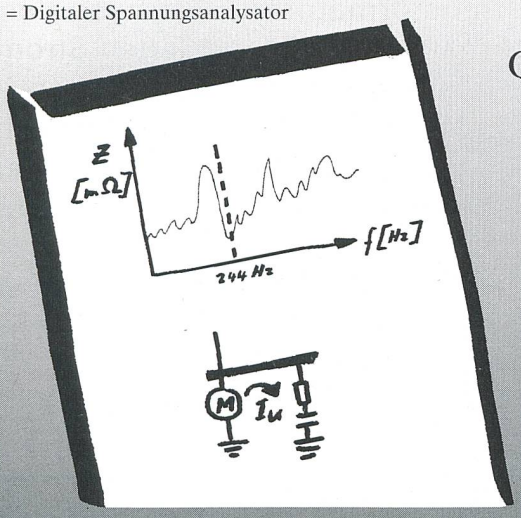
[8] *J. S. Miller*: Conducting Polymers – Materials of Commerce. Research News / Molecular Materials VII**, Adv. Mater. 1993,5,000.

Les polymères conducteurs – une nouveauté prometteuse

Des progrès considérables ont été réalisés au cours des dernières années en matière de polymères conducteurs, obtenus grâce à la modification par dopage de la chaîne de certains polymères. On évite ainsi, pour la réalisation de plastiques conducteurs, les charges importantes, par exemple de noir de carbone, qui dégradent les qualités mécaniques du matériau. Suivant les procédés de préparation utilisés, les produits obtenus présentent des propriétés électriques, magnétiques et optiques différentes mais souvent remarquables. Leurs applications sont déjà nombreuses, et certaines ne sont pas connues, pour cause de secret industriel ou militaire. Le marché correspondant semble devoir se développer très rapidement. Cet article sera publié entièrement en français dans le Bulletin 15/94.

DSA*-Information.....Nr.2

* = Digitaler Spannungsanalysator



Qualität der elektrischen Energieversorgung

Messen der frequenzabhängigen Impedanz in NS-Netzen (6–2500 Hz, Auflösung 3 Hz).

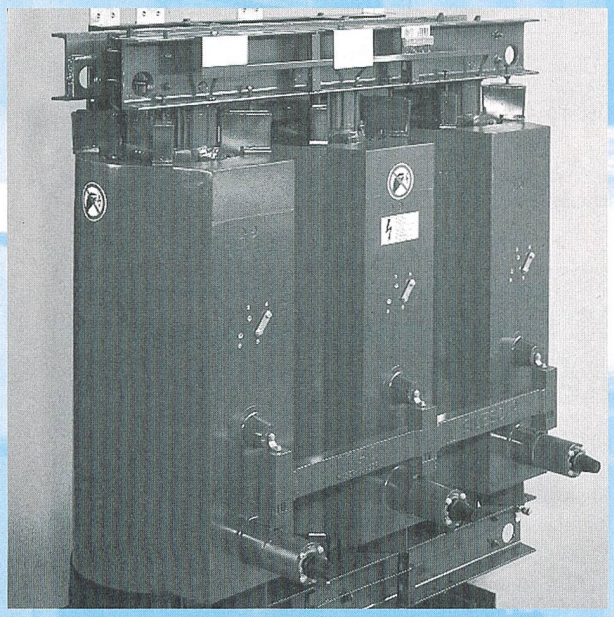
- Bestimmen von Resonanzstellen im Netz.
- Untersuchung von Rundsteuerproblemen.
- Simulation der zu erwartenden Oberschwingungsbeiträge eines projektierten Verbrauchers aus der Impedanz am Verknüpfungspunkt und dem gemessenen Stromspektrum des Verbrauchers.

Die frequenzabhängige Impedanz als Qualitätskriterium.

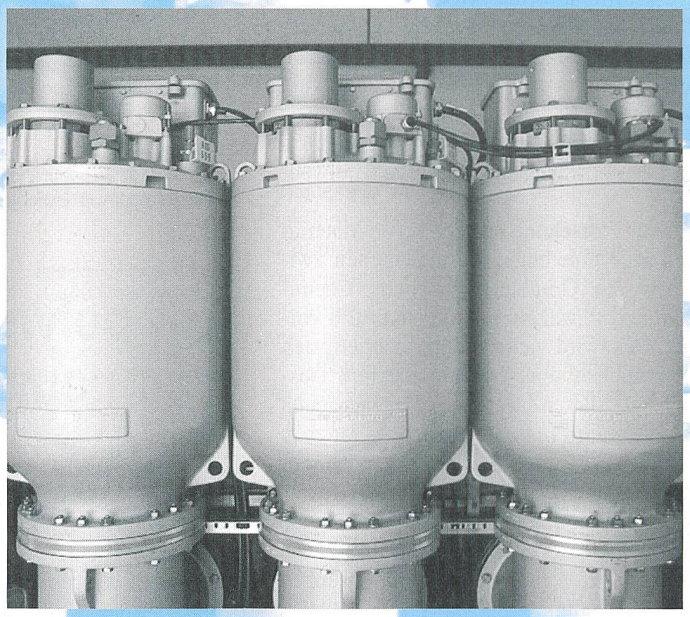
DATENTECHNIK MICHELS

MICHELS DATENTECHNIK, Postfach CH-8820 Wädenswil Tel. (01) 780 34 51 Fax (01) 780 34 61
Westschweiz und Tessin:
CAMILLE BAUER-METRAWATT AG, rte Platy 52 CH-1752 Villars-sur-Glâne Tel. (037) 24 77 57 Fax (037) 24 12 85

Die beste Wahl innovativer Technologie.



SILESCA® Giessharztransformator, Nennleistung 630 kVA, primärseitig mit Steckbuchsen



GASCOIL® SF_6 - isolierte Messwandler für autonome und integrierte GIS Anwendungen

GASLINK® SF_6 - isolierte Stromschienen (Hintergrundbild)

Seit ihrer Gründung 1914 hat sich MGC zu einem führenden Hersteller von Giessharz-Leistungstransformatoren, Messwandlern sowie Giessharz- und SF_6 - isolierten Stromschienensystemen entwickelt. 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