Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 101 (2010)

Heft: 9: 100 Jahre Diskurs zur schweizerischen Energiepolitik = 100 ans de discussion sur la politique énergétique suisse

Artikel: Organische Elektronik mit Perspektive

Autor: Ruhstaller, Beat / Reinke, Nils A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856125

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: 09.12.2025

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

Organische Elektronik mit Perspektive

OLEDs, OFETs und OFV vor dem kommerziellen Durchbruch

Organische Materialien wie Polymere werden in der Elektronik entweder aufgrund ihrer isolierenden, halbleitenden oder metallischen Eigenschaften eingesetzt. Bereits heute sind halbleitende organische Materialien in kommerziellen Produkten wie Displays und Leuchtmitteln auf Basis organischer Leuchtdioden, organischer Solarzellen und Transistoren zu finden. Denn polymere Materialien sind kostengünstig und einfach zu verarbeiten.

Beat Ruhstaller, Nils A. Reinke

Als vor über 30 Jahren das erste leitfähige Polymer synthetisiert wurde, war noch nicht klar, welchen Einfluss diese Entdeckung auf die Wissenschaft und Technik haben wird. Ende der 80er-Jahre wurden in Forschungslabors von Kodak in den USA mit organischen Leuchtdioden und Solarzellen die ersten organischen Bauelemente entwickelt. Seitdem forschen Wissenschaftler an den grundlegenden physikalischen Mechanismen in organischen Bauelementen und ihrer technischen Weiterentwicklung. Vereinzelt findet man organische Elektronik seit über 10 Jahren in kommerziell erhältlichen Produkten, wie etwa Mobiltelefonen und Digitalkameras.

Organische Halbleiter

Organische Moleküle bestehen wie auch Lebewesen und Pflanzen aus Kohlenstoffverbindungen. Die Vielfalt der uns umgebenden Natur spiegelt sich in der Vielfalt der möglichen organischen Moleküle wider, die je nach Anwendungsgebiet spezifisch synthetisiert und optimiert werden. Massgeschneiderte Eigenschaften können bei Polymeren durch Variation der chemischen Struktur ihrer Wiederholungseinheiten erreicht werden. In den 50er- und 60er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden die Elektrolumineszenz von organischen Einkristallen bei hohen Spannungen und metallische Leitfähigkeit in Polymeren entdeckt. Erst später wurde untersucht, wie sich organische Moleküle mit halbleitenden Eigenschaften gezielt synthetisieren lassen. Die Entwicklung von Dünnschichttechnologien führte Ende der 80er-Jahre zu einem Durchbruch dieses Forschungsgebiets. Organische Halbleiter sind konjugierte organische Verbindungen mit in weiten Bereichen durchstimmbaren funktionellen Eigenschaften. Zu diesen Eigenschaften gehören beispielsweise die Leitfähigkeit sowie das Emissions- und Absorptionsverhalten.

Der energetische Abstand zwischen dem höchsten besetzten und dem niedrigsten unbesetzten Molekülorbital ähnelt mit Energien zwischen 1 und 4 eV der Bandlücke in anorganischen Halbleitern, entsprechend dem infraroten bis ultravioletten Wellenlängenbereich. Ein wesentlicher Unterschied zwischen anorganischen und organischen Halbleitern ist ihr Bindungstyp. Während die Moleküle in organischen Halbleitern durch Van-der-Waals-Kräfte zusammengehalten werden, wirken zwischen Atomen in anorganischen Halbleitern kovalente Bindungskräfte. Dieser Unterschied wirkt sich auf die mechanischen und thermodynamischen Eigenschaften organischer Halbleiter aus, beispielsweise in einer geringeren Härte und einer niedrigen Schmelztemperatur. Vor allem aber bewirken die schwachen intermolekularen Bindungskräfte in organischen Halbleitern eine Lokalisierung der elektronischen Wellenfunktion, während sich diese im anorganischen Halbleiter über mehrere Kristallgitterperioden erstrecken kann. Dies hat weitreichende Konsequenzen auf die elektrischen und optischen Eigenschaften von organischen Halbleitern. So erfolgt der Ladungstransport über einen Hüpfmechanismus, und es besteht eine grosse Ähnlichkeit zwischen den Absorptions- und Emissionsspektren des gasförmigen und festen Zustands.

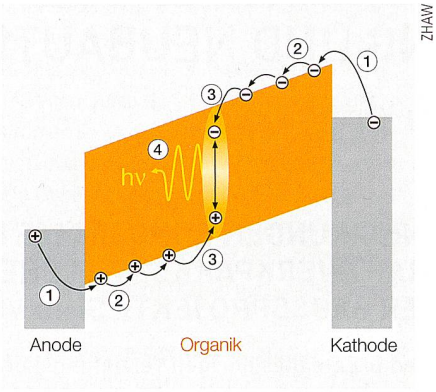


Bild 1 Das Energiediagramm einer OLED. Nach oben ist die Energie aufgetragen, nach rechts die Position innerhalb der halbleitenden Schicht. Wenn die Ladungsträger rekombinieren, strahlen sie Licht aus. In der organischen Solarzelle laufen diese Prozesse in umgekehrter Reihenfolge ab.

Organische Leuchtdioden

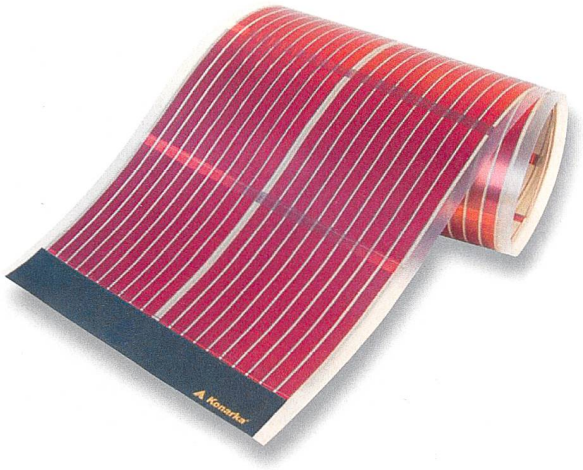
Der besondere Reiz organischer Leuchtdioden (OLEDs) liegt in ihrer dünnen Bauart, des grossen Betrachtungswinkels und der hohen theoretisch erreichbaren Effizienz. OLEDs bestehen aus einer oder einer Abfolge mehrerer dünner organischer Schichten, die von zwei metallischen Elektroden umschlossen werden. In modernen OLEDs können bis zehn oder mehr funktionelle Schichten zum Einsatz kommen. Die Funktionsweise einer OLED beruht auf dem Prinzip der Elektrolumineszenz. Ladungsträger werden über Elektroden in den organischen Halbleiter injiziert. Bei der Injektion von Ladungsträgern werden positiv geladene Molekülkationen (Löcher) generiert, indem anodenseitig Elektronen des HOMO-Niveaus (höchstes besetztes Molekülorbital) der organischen Schicht an die angrenzende Elektrode abgegeben werden. Auf der gegenüberliegenden Seite entstehen an der Kathode durch Elektroneninjektion in das LUMO-Niveau (niedrigstes unbesetztes Molekülorbital) der halbleitenden Schicht negativ geladene Molekülanionen. Treffen Elektronen und Löcher aufeinander, entsteht ein Molekül im angeregten Zustand, das durch Abstrahlung von Licht wieder in den Grundzustand zurückkehrt (Bild 1).

Organische Feldeffekttransistoren

Organische Feldeffekttransistoren (OFETs) stellen neben OLEDs eine weitere Klasse elektronischer Bauelemente dar, die für die Forschung und Industrie interessant sind. Wie in ihrem anorganischen Pendant lässt sich der Stromfluss zwischen Source- und Drain-Kontakt durch Anlegen einer Gatespannung steuern. In OFETs beruht dieser Effekt auf einer Erhöhung der Ladungsträgerkonzentration mit zunehmender Gate-Spannung in einer wenigen Nanometer dicken Schicht des organischen Halbleiters oberhalb des Gate-Oxids. Die Entwicklung von OFETs ermöglicht es, elektronische Schaltungen druckbar zu machen. Die damit verbundene Kostenreduktion für elektronische Schaltkreise erlaubt beispielsweise die Entwicklung intelligenter Produktverpackungen.

Organische Fotovoltaik

Mit wachsendem industriellen Interesse an OLEDs ist die organische Fotovoltaik (OFV) Anfang dieses Jahrtausends verstärkt ins Rampenlicht der Forschung gerückt (Bild 2). Die starke Absorptivität von OFV-Materialien erlaubt Schichtdicken, die eine bis drei Grössenordnungen geringer sind als bei anorganischen Technologien. Dies führt zu enormen Materialeinsparungen. Die höchste im Labor erreichte Effizienz beträgt aktuell 8,1 % (Solarmer). Bis Ende 2011 will Solarmer eine Effizienz von 10 % erreichen. Im Vergleich dazu erreichen kommerzielle Silizium-Solarzellen zwischen 10 und 20 %. Die Licht absorbierende Schicht besteht bei organischen Solarzellen nicht aus einem reinen Material, sondern es werden zwei Materialien gemischt als Schicht aufgebracht. Durch Absorption eines Photons wird ein gebundenes Elektron-/Lochpaar, das Exziton, erzeugt. Der Grenzschicht zwischen den Materialien kommt eine besonders wichtige Rolle zu, da diese für die Aufspaltung des Exzitons in freie Ladungsträger verantwortlich ist. Die einzelnen Materialien der Kompositschicht sind für den Elektronen- bzw. Lochtransport optimiert und sollten in derselben Schicht gut durchmischt sein.



Konarka

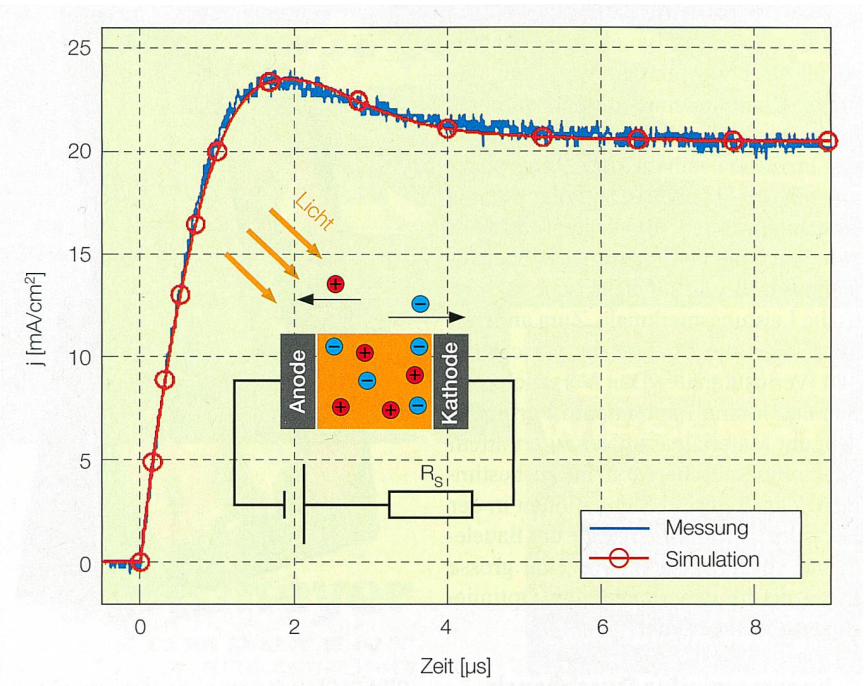
Bild 2 Organisches Solarzellenmodul auf einer Plastikfolie.

Organische Bauelemente auf dem Prüfstand

Im Labor werden organische Bauelemente in der Regel durch Aufnahme-Kennlinien charakterisiert. Am Beispiel von organischen Leuchtdioden oder Solarzellen lassen sich daraus wichtige Eigenschaften wie Konversionseffizienzen von elektrischer Leistung in optische Leistung oder umgekehrt ablesen. Allerdings erlauben solche stationären Untersuchungen nur einen begrenzten Einblick in die physikalischen Prozesse, welche sich innerhalb der Bauelemente abspielen.

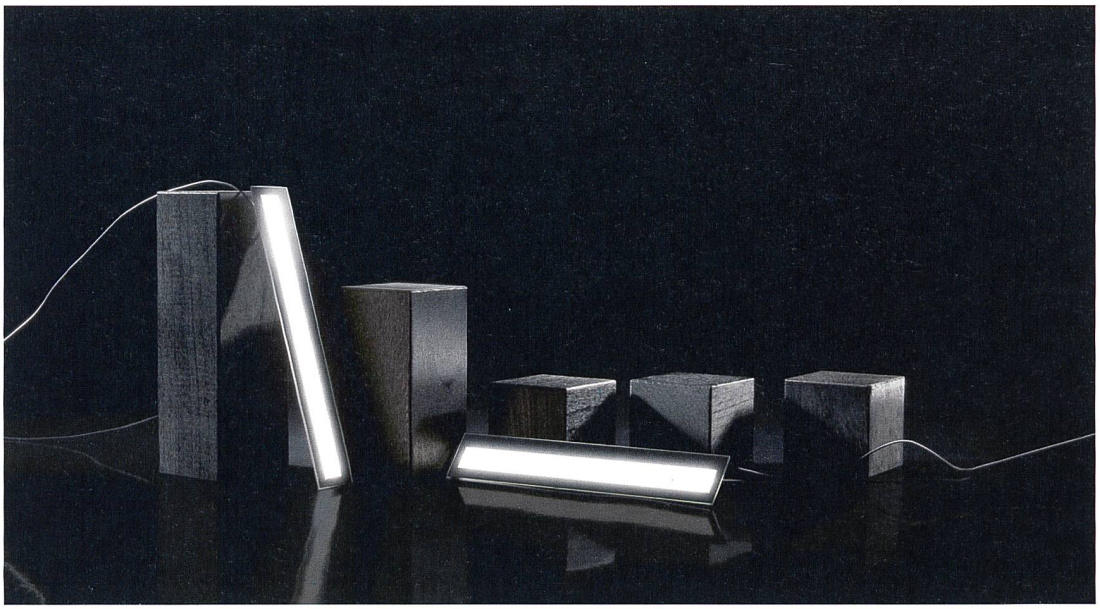
Um die zugrunde liegenden physikalischen Prozesse in organischen Bauelementen sichtbar zu machen, muss auf nicht stationäre Messmethoden zurückgegriffen werden. Dazu gehören beispielsweise die Impedanzspektroskopie und die zeitaufgelöste Messung eines Fotostroms nach kurzzeitiger Anregung einer organischen Solarzelle durch einen Lichtblitz. In der Impedanzspektroskopie wird eine oszillierende Spannung an das zu untersuchende Bauelement angelegt und der Stromfluss für verschiedene Oszillatorfrequenzen gemessen. Daraus lässt sich nicht nur die frequenzabhängige Impedanz des Bauelements frequenzabhängig, sondern auch mittels Ersatzschaltbilder die Beweglichkeit von Ladungsträgern sowie die Konzentration und Verteilung von Fehlstellen ermitteln.

Ähnliche Aussagen lassen sich mit zeitaufgelösten Messungen erzielen. Bei



ZHAW

Bild 3 Vergleich zwischen Messung und Simulation des zeitabhängigen CELIV-Fotostroms einer organischen Solarzelle (Quelle: Martin Neukom, ZHAW).



Philips

Bild 4 Lumiblade-OLED-Lampen von Philips.

einer bereits aus der Anorganik bekannten Charakterisierungsmethode wird eine linear ansteigende Spannungsrampe an das organische Bauelement angelegt (CELIV: Charge Extraction by Linear Increasing Voltage, **Bild 3**). Diese Methode ist im Vergleich zur Impedanzspektroskopie experimentell wesentlich einfacher, allerdings gestaltet sich die Datenauswertung aufwendiger. Die besten Resultate lassen sich durch eine numerische Datenauswertung basierend auf physikalischen Modellen für Ladungsträgergeneration, Ladungsträgerinjektion und Ladungsträgertransport erzielen. Die Entwicklung von geeigneten analytischen Modellen, welche die Auswertung von CELIV-Experimenten erheblich vereinfachen würde, ist ein aktueller Forschungsgegenstand und beschäftigt Forscher weltweit. Die Informationen über die physikalischen Prozesse in organischen Bauelementen, die aus experimentellen Untersuchungen gewonnen werden, helfen Physikern, Chemikern und Ingenieuren bei der gezielten Verbesserung dieser neuartigen Technologie, wodurch die organische Elektronik mehr und mehr Bestandteil unseres täglichen Lebens wird. Da die physikalischen Zusammenhänge in der Regel multikausaler Natur sind, helfen Erkenntnisse aus der Simulation bei der Interpretation und dem Verständnis komplexer Messdaten.

Résumé

L'électronique organique est pleine d'avenir

Les OLEDs, OFETs et l'OFV sur le point de percer commercialement

Les matériaux organiques comme les polymères sont employés en électronique pour leurs propriétés isolantes, semi-conductrices ou métalliques. Des matériaux semi-conducteurs organiques sont de nos jours déjà utilisés dans des produits commerciaux comme les affichages et sources lumineuses à base de diodes luminescentes, cellules solaires et transistors organiques. En effet, les matériaux polymères peuvent être de prix avantageux et sont faciles à travailler. No

Erkenntnisse aus der Simulation

Um organische Bauelemente zu verstehen und zu optimieren, werden vermehrt Computersimulationen durchgeführt. Dazu müssen die oben beschriebenen Prozesse in einem Modell abgebildet und mit einem numerischen Algorithmus berechnet werden. Im Vordergrund steht zum einen die Optimierung des Schichtaufbaus in Bezug auf elektrische und optische Leistungsmerkmale. Zum anderen interessiert die Analyse der verschiedenen Verlustkanäle. Der Vergleich von Simulation und Experiment ist erforderlich, um Materialparameter zu ermitteln oder physikalische Modelle zu bestimmen. Zum Teil sind Simulationen in der Lage, die Leistungsmerkmale der Bauelemente vorherzusagen, was eine grosse Ersparnis im experimentellen Optimierungsaufwand erlaubt.

Kommerzieller Durchbruch

Sowohl bei organischen Leuchtdioden, Solarzellen und Plastik-Schaltkreisen wird die nahe Zukunft verschiedene kommerzielle Anwendungen hervorbringen. Während OLED-Firmen in Asien die Produktion innovativer Bildschirme ankurbeln, rüstet man sich in Europa für die Herstellung von OLED-basierten Lampen und organischen Solarzellen. Seit wenigen Monaten sind denn auch erste OLED-Lampen von Philips **(Bild 4)** und Osram erhältlich. Mit Interesse wird die Markteinführung des OLED-basierten Flachbildschirms von LG Electronics

LG Electronics

Bild 5 OLED-Fernseher von LG Electronics (Korea) mit 15-Zoll-Bilddiagonale und Markteinführung im Jahr 2010.

mit einer 15-Zoll-Bilddiagonale in diesem Jahr erwartet (Bild 5). Samsung bietet denjenigen, die schon jetzt in den Besitz eines OLED-Displays gelangen möchten, Smartphones mit ein hochauflösenden, sparsamen und kontrastreichen Aktiv-Matrix-Displays (AMOLEDs) an. Auch die eng verwandten Solarzellen und Schaltkreise aus Plastik befinden sich kurz vor dem kommerziellen Durchbruch.

Forschungsprojekte an der ZHAW

An der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) am Institute of Computational Physics (ICP) entwickelt ein Team von Physikern, Mathematikern und Ingenieuren numerische Methoden, um gekoppelte physikalische und chemische Systeme und Prozesse zu modellieren. Einer der Forschungsschwerpunkte ist die organische Elektronik. Hier werden organische LEDs und Solarzellen mithilfe von numerischen Modellen näher untersucht sowie im Labor gemessen. Die Experimente sind wichtig, um die Simulationen zu validieren und Parameter zu extrahieren. Das ICP und seine Spin-off-Firma Fluxim AG arbeiten unter anderem mit Philips Research Eindhoven zusammen und mit den Schweizer Forschungsgruppen an der Empa, dem CSEM und der BASF, letztere beide in Basel.

Links

www.icp.zhaw.ch, www.fluxim.com

Angaben zu den Autoren

Prof. Dr. **Beat Ruhstaller** leitet das Institute of Computational Physics ICP, wo er eine Forschungsgruppe zur organischen Elektronik aufgebaut sowie die Firma Fluxim zur Kommerzialisierung von Simulationssoftware gegründet hat.

ZHAW, Institute of Computational Physics, 8401 Winterthur, beat.ruhstaller@zhaw.ch

Dr. **Nils A. Reinke** ist Dozent für Physik am Institute of Computational Physics ICP und Leiter des Labors für optoelektronische Messtechnik an der ZHAW.

ZHAW, Institute of Computational Physics, 8401 Winterthur, nils.reinke@zhaw.ch

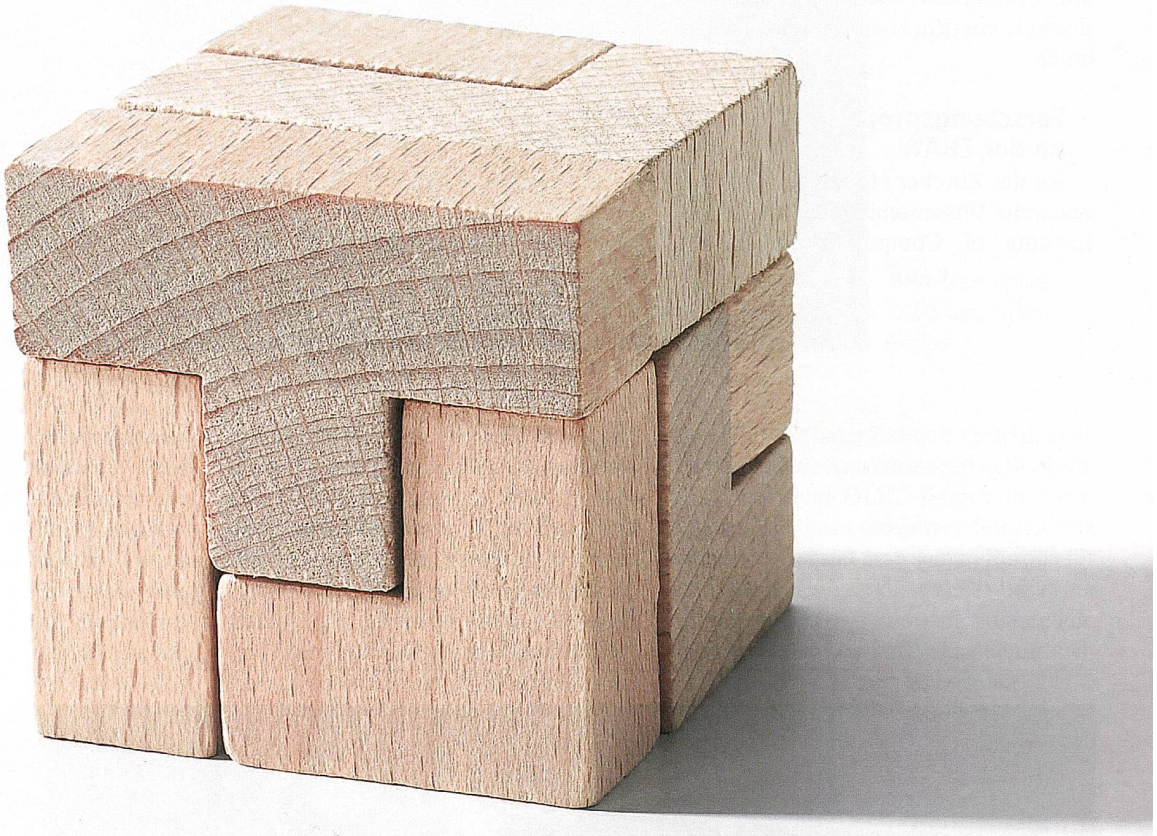
Anzeige

100 JAHRE KOMPETENTER WISSENSTRANSFER

Wir gratulieren dem Bulletin SEV/VSE zum 100. Geburtstag und zur spannenden, informativen und fundierten publizistischen Leistung als Schweizer Fachzeitschrift für die Elektrotechnik.

www.rittmeyer.com

rittmeyer
KOMPETENT
AUS ERFAHRUNG



ihr partner für
1to1
energy

BKW

Setzen Sie Ihren Erfolg zusammen – bauen Sie Ihre Chancen mit uns aus

Energiebeschaffung, Energieverkauf, Produktion und Netz – die BKW deckt alle Stufen der Energieversorgung ab und verfügt über bewährte Lösungen und Systeme sowie über jahrelange Erfahrung mit dem Endkunden. Das entsprechende Know-how und die Infrastrukturen bietet die BKW auch Ihrem Energieversorgungsunternehmen zur Unterstützung auf dem liberalisierten Markt.

Mehr über das Leistungsangebot und die Kooperationsmöglichkeiten erfahren Sie hier:
www.bkw-fmb.ch