

UNI VER SUM

S P E Z I A L

DIE FACHTAGUNG

BIONIK

AN DER SCHNITTSTELLE ZWISCHEN BIOLOGIE UND TECHNIK
TIERGARTEN SCHÖNBRUNN - 24. UND 25. SEPTEMBER 08

- ZUR BEGRÜSSUNG** Testimonials **2**
- ZUR EINFÜHRUNG** Der Natur auf der Spur **4**
- ZUR BEACHTUNG** Das Programm **12**
- ZUR VORSTELLUNG** Die Referenten **14**
- ZUM BEGREIFEN** Bionik in Beispielen **16**

FOTO: LW MEDIA-ARCHIV/SHUTTERSTOCK

bm 





BIONIK IST ZUKUNFT
Vernetzung, und damit auch Bionik,
ist Teil der Zukunft und hilft, die
Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.



WERNER FAYMANN

Forschung und Entwicklung sind in einem modernen Industrieland zentrale Bereiche einer offensiven Technologiepolitik. Ein leistungsfähiges und effizientes Innovationssystem bleibt auch in einer arbeitsteiligen, international vernetzten Informations- und Wissensgesellschaft Voraussetzung für einen attraktiven und leistungsfähigen Wirtschaftsstandort.

Forschungsergebnisse sichern die Wettbewerbsfähigkeit und damit das Wirtschaftswachstum in Österreich. Gesellschaftliche, wirtschaftliche und technologische Entwicklungen stellen dabei immer komplexere Anforderungen an Forscherinnen und Forscher. Querschnittstechnologien und horizontale Vernetzung der Wissenschaftsdisziplinen spielen eine zunehmend wichtigere Rolle. Insbesondere Forschergruppen mit BiologInnen und TechnikerInnen haben Technologiesprünge erzielen können.

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie setzt deshalb einen Schwerpunkt in der Unterstützung von Forschung und Technologieentwicklung. Damit werden wissenschaftliche Kompetenz sowie Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Wirtschaft gestärkt. Ziel ist es, neue Forschungsfelder und Fragestellungen aktiv zu erschließen, um so zusätzlichen Raum für Innovationen und - damit verbunden - Wachstum und Beschäftigung zu schaffen. Bionik ist eines dieser Zukunftsfelder und zeigt in vielen Bereichen der Forschung überraschende und unkonventionelle Lösungen, die auf der Natur und ihrer Evolution aufbauen.

Werner Faymann
*Bundesminister für Verkehr, Innovation
und Technologie*



BIONIK HAT POTENZIAL
Österreichs Unternehmen können
vom Potenzial der Bionik, aus der
„Schatzkiste der Natur“ profitieren.

ANDREAS BLUST

Neue Forschungsfelder und -fragen mit hohem Nutzenpotenzial für die Wirtschaft haben heute vor allem interdisziplinären Charakter. Die Bionik verbindet als charakteristische Querschnittswissenschaft Biologie mit Technik, indem sie sich mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktionen, Verfahrenen und Entwicklungsprinzipien biologischer

scher Systeme befasst. EU-Staaten wie Großbritannien oder Deutschland haben dieses Potenzial der Bionik bereits erkannt und fördern Forschungsaktivitäten in diesem Themenfeld.

Bionik bietet vielen Kompetenzfeldern und Branchen eine hervorragende Möglichkeit für eine Zusammenarbeit von Industrie und Forschung. Österreichische Unternehmen haben die Chance, von den großen Potenzialen der Bionik für ihre Innovationen zu profitieren. Mit den Bionik-Aktivitäten des Ministeriums werden vor allem Forschung und Wirtschaft angesprochen, denn in „der Schatzkiste der Natur“ lassen sich vielfältigste Ideen entdecken.

Für Österreichs Unternehmen und Forschungsinstitutionen geht es nun darum, bestehende und zukünftig geplante Aktivitäten im Bereich Bionik zu bündeln, um so kritische Massen aufzubauen und erweitern zu können. Der Dialog zwischen BiologInnen und TechnikerInnen ist Kernaufgabe für die Zusammenarbeit. Es sind „Übersetzer“ gefragt, die nicht nur die Sprache aus beiden Bereichen kennen, sondern auch die unterschiedlichen Arbeitsweisen aufeinander abstimmen können. Eine solche Vernetzung – soll sie nachhaltig und erfolgreich sein – bedarf dabei einer gezielten und strukturierten Unterstützung. Diesen öffentlichen Auftrag will dabei das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie wahrnehmen. Es werden in unserem Haus diesbezüglich bereits erste relevante Schritte gesetzt. Konkret werden in Zukunft gezielte Investitionen in Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Bionik getätigt.

Andreas Blust

*Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie*

DAGMAR SCHRATTER

Wenn ich durch den Tiergarten gehe, dann erstaunt mich die unbeschreibliche Variationsbreite an Strategien, Formen und Strukturen unserer Tierwelt. In vielen Gehegen entdeckt man Tiere, die uns mit ihren Problemlösungen beeindrucken. Da gibt es die perfekt organisierte Distributionslogistik eines Blattschneiderameisenvolkes, den dichten Hautschleim der Clownfische als Nesselschutz vor Anemonen, die stromlinienförmigen Pinguinkörper, die pfeilschnell und scheinbar ohne Widerstand durchs Wasser schießen, Eisbären mit rutschfestem Sohlenprofil und perfekter Kälteisolation, Geckos, die wie von Zauberhand gehalten an glatten Oberflächen kleben, die stabilen Leichtkonstruktionen aus Wachs der Honigbienen, Vögel mit effizienter Flügelbauweise, Insekten mit widerstandsfähigem, elastischem und wasserabweisendem Exo-



BIONIK LERNT VON DER NATUR

Von der Natur kann man vieles lernen. Die wichtigste Lektion: Die Natur verschwendet nicht.

skelett. Diese Liste lässt sich wohl beliebig fortsetzen, und Prinzipien daraus sind in viele Lebensbereiche des Menschen zu übertragen. Die Natur hatte Millionen von Jahren Zeit, ihre biologischen Systeme zu optimieren. Davon kann der Mensch profitieren, wenn er es schafft, diese Prinzipien zu erkennen und dann kreativ für eigene Innovationen einzusetzen. Die junge Wissenschaft Bionik beschäftigt sich genau mit diesem Thema: Sie enträttselt die genialsten Erfindungen der Natur und macht sie für den Menschen nutzbar. An einem Prinzip der Natur sollte sich der Mensch jedoch ebenso dringend ein Beispiel nehmen: Natur verschwendet nicht. Sie setzt Materialien und Energien sparsam ein, tauscht nur beschädigte Elemente aus und ist ein Meister in der Wiederverwertung.

Dagmar Schratter

Direktorin des Tiergarten Schönbrunn

MENSCH MIT FISCHHAUT

Schwimm-Star Michael Phelps in seinem Element. Sein Anzug ist der Haut des Haifischs nachempfunden. Ein Paradebeispiel für die Bionik. Wenn auch nicht ganz klar ist, ob seine Erfolge vom Anzug selber rühren.





DER NATUR AUF DER SPUR

EIN BERICHT VON URSEL NENDZIG

Bionik verspricht revolutionäre Konzepte und bahnbrechende Innovationen. Die Fachtagung „An der Schnittstelle zwischen Biologie und Technik“ im Tiergarten Schönbrunn gewährt einen Blick hinter die Kulissen von Forschung und Technik. Ein Stück mit ungewöhnlichen Hauptdarstellern: Eisbären, Fröschen, Muskeln und Grillen.

Manchmal ist man sich nicht ganz sicher: Mensch oder Fisch? Michael Phelps, Schwimm-Star und Olympia-Rekordathlet, hat in der Tat von beidem etwas. „Fast Skin“ heißt das Material, aus dem Ausrüster Speedo seinem derzeit prominentesten Kunden einen Schwimmanzug auf den Leib schneiderte. Die Haut des Haifischs, die nicht aalglatt, sondern mit vielen kleinen, wie Spoiler wirkenden Schuppen und Rillen übersät ist, war Vorbild für den „LZR Racer“. Speedo präsentierte ihn als Ergebnis von drei Jahren Entwicklungszusammenarbeit mit der amerikanischen Weltraumbehörde NASA

und gab damit das Startsignal für das Wett-rüsten der Schwimmhersteller. „Ich fühle mich wie eine Rakete“, sagt Michael Phelps selbst über seine zweite Fischhaut und benimmt sich auch so: Acht Medaillen und sieben Weltrekorde erschwamm der US-Amerikaner bei der Olympiade in Peking diesen August. Für Rudolf Bannasch steckt hinter dem „LZR Racer“ allerdings mehr Promotion als tatsächliche technologische Innovation. Die reine Kopie der Haifisch-Haut mache noch keine Schwimmrekorde. „Bionik ist derzeit einfach sexy und schürt die Phantasie von der perfekten Natur als Vorlage für die Technologie“, relativiert der Vorstandsvorsitzende



UNWIDERSTÄNDLICH

An Land unbeholfen, im Wasser elegant und geschmeidig. Pinguine sind – des geringen Wasserwiderstandes wegen – die perfekten Vorbilder für U-Boote.

der Forschungsgemeinschaft Bionik-Kompetenznetzwerk BIONIKON in Berlin, die Erfolge des Produkts. „Offensichtlich weckt bereits die Einbildung, in der Haut eines Hais zu stecken, die Energiereserven.“ Das schreit nach einer Definition der „derzeit wohl angesagtesten“ Disziplin der Naturwissenschaften am Schnittpunkt zwischen Technik und Biologie.

„Der Kern der Bionik“, sagt Reinhard Mundl, „ist das Lernen von der Natur.“ Nicht das reine Nachahmen, sondern das Verstehen und Nachstellen. Sprich: Abläufe aus der Biologie zu untersuchen und auf technische Funktionalitäten umzulegen. Reinhard Mundl weiß, wovon er spricht. Als einer der Ersten in Österreich versuchte sich der Ingenieur am Prinzip der Bionik. Beim Reifenhersteller Semperit war Reinhard Mundl beschäftigt, sein Betätigungsfeld: die Entwicklung von Winterreifen. „Reifen sind im Prinzip ausentwickelt“, beschreibt er die Stagnation, mit der er sich konfrontiert sah. „Rund, schwarz, Gummi – die Entwicklung beschränkt sich auf Detailoptimierung.“

Legionen von IngenieurInnen hätten sich an der Weiterentwicklung versucht, aber dem Innovationsdruck, der auf dem Markt herrschte, nur mit großem Aufwand entsprechen können. „Wie auch, bei einem Produkt, das schon so lange besteht?“

„Meine Erfahrung“, sagt Reinhard Mundl, „sagte mir, dass es sich lohnt, in fremden Gärten zu wildern.“ Er streckte seine Fühler aus, erlaubte sich selbst, auch abwegig zu scheinende Felder zu durchforsten. Und erinnerte sich, dass er von russischen EntwicklerInnen von einer neuen Wissenschaft gehört hatte, einer, die das Lernen von der Natur zur Grundlage habe. Der Begriff für diese Wissenschaft, „Bionik“, war erst Anfang der 1960er-Jahre erschaffen worden. Ein Kollege bei Semperit trieb ein Buch darüber auf. Für Reinhard Mundl der Startschuss einer neuen Ära der Entwicklungsarbeit.

Wie viel Denkarbeit hinter der Anwendung des Prinzips Bionik steckt, erzählt Reinhard Mundl am Beispiel seines beruflichen Lebensthemas, der Reifen. „Räder gibt es in der Natur nicht“, sagt er. „Also

Der Begriff

Der Begriff Bionik – ein Kunstwort, zusammengesetzt aus Biologie und Technik – stamme vom englischen „bionics“ ab, heißt es. „Bionics“ wurde tatsächlich von Luftwaffenmajor Jack Steele bei einem Kongress 1960 geprägt (siehe Kasten „Die Anfänge“): „Bionics symposium living prototypes – the key to new technology.“ Mittlerweile wird das englische Wort bionics allerdings nicht mehr für Bionik verwendet, da es als dem wissenschaftlichen Anspruch nicht genügend gilt. „Biomimetics“ ist der von Englisch sprechenden Wissenschaftlern am öftesten gebrauchte Begriff. Weil Bionik oft sehr weit gefasst wird, wird fälschlicherweise „Biotechnologie“ synonym benutzt. Dabei meint dieser Begriff etwas anderes: Biotechnologie bezieht sich auf den Einsatz technischer Verfahren in der Biologie – auch Gentechnik wird meist damit abgedeckt. Bionik hingegen meint das Lernen aus der Natur und die Umlegung auf technische Lösungen.

müssen wir in funktionalen Kategorien denken: Was sind die wichtigen Eigenschaften eines Reifens?“ In diesen Kategorien – Lautstärke, Griffbarkeit, Fahrverhalten, um nur einige zu nennen – suchte Reinhard Mundl in der Natur. „In der bewegten Natur zunächst, also bei Tieren.“ Wo gibt es Tiere, die eine möglichst gute Bodenhaftung haben? Wo erfordert dies die Lebensweise und wo hat die Evolution darauf eine Antwort gefunden?

Der erste Schritt bei der Suche nach Antworten führte Reinhard Mundl und seine Kollegen an die Universität Wien, Institut für Zoologie. Eine Bestandsaufnahme wurde in Form einer Studienarbeit gemacht: Ein Screening nach Ansatzpunkten für Lösungen in der Natur, die für Reifen anwendbar sind. „Haifischhaut – als Lösungsansatz gegen Aquaplaning; oder die Pfoten von Eisbären – ein Beispiel für Bodenhaftung auf Schnee und Eis“ waren, so Reinhard Mundl, die Ergebnisse. Auch der Tiergarten Schönbrunn, passenderweise Gastgeber der Bionik-Konferenz im September, war eine Adresse. „Ein Eisbär, Olaf, war kurz zuvor gestorben“, sagt Reinhard Mundl. „Und wir bekamen eine Pfote zu Forschungszwecken zur Verfügung gestellt.“ Das Zusammenspiel von Ballen, Haaren und Krallen bietet den weißen Riesen aus der Arktis perfekte Bodenhaftung im ewigen Eis. „Aufnahmen der Ballen zeigten einen Querschnitt, der wie ein winziges Reifenprofil aufgebaut ist.“ Ein Ansatzpunkt für die Entwicklung eines neuen Reifenprofils, „das leider nie entwickelt wurde“, bedauert Reinhard Mundl heute.

Nach der Schließung des Semperit-Werks im niederösterreichischen Traiskirchen heizte Reinhard Mundl das Thema Bionik bei seinem neuen Arbeitgeber, dem Reifen-Riesen Continental in Hannover, weiter an. „Denn“, so Mundl aus Erfahrung, „zuerst muss man mit diesem Thema Fürsprecher im Unternehmen überzeugen.“ Ohne Unterstützung aus dem Management sehe es sehr schlecht aus. „Die Frage, ob ein Unternehmen auf For-



VORBILDHAFTE SCHWIMMER

Wer den Entwicklern von Festo als Vorbild gedient hat, ist offensichtlich. Die „Aqua Jelly“ (o.) nutzt die Fähigkeiten der echten Qualle. Der „Aqua Ray“ (u.), ein hydraulisch betriebener Fisch, orientiert sich am Mantarochen.



HONIGSÜSSER REIFEN

Die stabile Struktur der Bienenwabe gab einem Reifenprofil den Namen. Die Struktur bekam er zusätzlich von der Beschaffenheit der FüÙe eines Baumfrosches.

schung im Feld der Bionik setzt, hängt fast immer vom Engagement einzelner Persönlichkeiten ab.“ Reinhard Mundl engagierte sich. Etwa an der Universität Saarbrücken, wo Werner Nachtigall, der große Mann am Bionik-Sektor, lehrte. Ein Workshop wurde einberufen, wieder in einem Zoo, dieses Mal Hannover, und ein Vorbild aus der nicht bewegten Natur gefunden. „Winterreifen brauchen für die optimale Bodenhaftung Lamellen, feine Strukturen, die trotzdem kompakt aneinanderliegen.“ Das perfekte Vorbild: Blütenknospen. Ein Prototyp wurde entwickelt, schaffte es aber leider nicht am strengen Auge der Designabteilung vorbei.

Ein Frosch wurde schließlich doch noch Vorbild für einen marktreifen Reifen. „Ausgangspunkt für diese Entwicklung war nicht das funktionelle Verständnis in der Bionik“, sagt Reinhard Mundl, „sondern die Auswahl aus dem morphologischen Baukasten strukturierter Oberflächen aus der Natur, die für Reibung optimiert sind.“ Die Feinstruktur der Reifenoberfläche stand als Frage offen, die Antwort war ein hexagonales Netz, also eine Netzstruktur bestehend aus Sechsecken – ähnlich einer Bienenwabe –, und kam von Professor Barnes aus Glasgow.

„Er erforschte Baumfrosche auf Trinidad und Tobago und testete deren Reibung auf Oberflächen.“ Ein Begriff, der eine wichtige Basis für die Entwicklung des neuen Reifens war: die gemeinsame Sprache. „Wir Techniker können nicht viel mit lateinischen Begriffserklärungen anfangen, mit solchen wie dem gemessenen Reibungswiderstand aber sehr viel.“ Der Winterreifen mit der hexagonalen Struktur kam 1999 als TS 780 auf den Markt, die Struk-

tur der Froschzehenoberfläche blieb sogar noch dem Nachfolgemodell erhalten.

Inspiration mit Grenzen

Bionik, so scheint es, ist also nicht das reine Nachahmen der Natur. Das sagt auch Axel Thallemer. Der Leiter der Studienrichtung Industrial Design an der Kunstuniversität Linz spricht nicht von Bionik, sondern von „Inspiration aus der belebten Natur“. Das ist sogar als Pflichthauptfach

Die Anfänge

Leonardo da Vinci wollte schon vor gut fünfhundert Jahren wie ein Vogel fliegen, beobachtete Anordnung und Bewegung von Schwingen. Nach heutiger Definition ist dies zwar Teil der technischen Biologie, der Grundgedanke jedoch derselbe. Er sollte nicht der Letzte bleiben, der den Traum vom Fliegen nach Vorbildern aus der Natur träumte, nicht nur nach tierischen Vorbildern. Mitte des neunzehnten Jahrhunderts beispielsweise baute George Cayley den ersten funktionsfähigen Fallschirm. Sein Vorbild: die Früchte des Wiesenbocksbarts. In den 1960er-Jahren wurde der Begriff „bionics“ geprägt. Jack Steele, US-amerikanischer Luftwaffenmajor,

bewunderte das Sonar-Ortungssystem der Fledermäuse und wünschte sich ein ebenso genaues Radarsystem. Erst Anfang der 1990er-Jahre wurde die Bionik wissenschaftlich aufgearbeitet. Zu verdanken ist dies vor allem Werner Nachtigall, emeritierter Professor und Direktor des Zoologischen Institutes der Universität des Saarlandes, Vorsitzender der Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik und Leiter des Bionik-Kompetenznetzwerkes BioKon. Aus seiner Feder stammt unter anderem auch das Standardwerk „Bionik, Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler“ (Springer-Verlag, 492 Seiten, Euro 77,10).

Prominente Vorbilder

Tiergarten Schönbrunn, Schauplatz der Bionik-Konferenz „Bionik - An der Schnittstelle zwischen Biologie und Technik“. Hier wimmelt es nur so von viel zitierten tierischen Vorbildern für technische Lösungen. Arktos und Nanuq, die Eisbärenzwillinge, stehlen mit ihrem unerreichten Grip auf Schnee und Eis jedem Reifen die Schau. Rochen, vor allem die Mantarochen, gleiten vorbildhaft für U-Boote durchs Wasser. Auch Pinguine haben das, was Freunde des niedrigen Widerstandes - vom Schwimmer bis zum Schiffskonstrukteur - vor Neid erblassen lässt. Die Beweglichkeit der Spinnenbeine hat es den Forschern angetan. Und die Wand- und Deckenhaftung der Geckos, sogar auf spiegelglattem Untergrund, sind Idole für Roboter-Konstrukteure. Delfine, Kletten (Klettverschluss), Kakteen (Stacheldraht), die Lotuspflanze und viele mehr: Die Liste ließe sich endlos fortsetzen. So gut wie alle Bewohner des Tiergartens sind nicht nur schützenswerte, sondern auch vorbildhafte Lebewesen.



TIERISCHE VORLAGEN

Die Logistik der Blattschneiderameise (o.), die Flächenhaftung des Frosches (mitte.) oder der Grip der Eisbärenpfote (u.): Ausgang für große Entwicklungen.



im Lehrplan seines Studienganges verankert. Und hat einen eigenen Namen: „scio-nic®“. Nicht kopieren, sondern inspirieren ist dabei der zentrale Leitsatz des Designers. Obwohl, Design, mit diesem Begriff ist Axel Thallemer auch nicht glücklich. „Pures Design ist zwar schön, funktioniert aber nicht.“ Seine eigene Arbeit sieht er genau in der Mitte positioniert, zwischen Design und Technologie oder eigentlich „als Gelenk“.

Bionik, sagt Axel Thallemer auch, nennt er seine eigene Herangehensweise an Industriedesign deswegen nicht, „weil Bionik allein zum Modebegriff und inhaltlich leer geworden ist“. Über die Inspiration zu technischen Lösungen hinaus reiche die Bionik, die von vielen als die neue Wunderdisziplin angepriesen wird, nun einmal

Bionik vernetzt

BIONIK AUSTRIA wurde 2007 als österreichische Kooperationsplattform für Akteure aus der Bionik-Forschung wie aus der Wirtschaft mit Interesse an Anwendungen der Bionik gegründet. Ziel der Vernetzung ist die Sichtbarmachung der Aktivitäten und die Initiierung neuer interdisziplinärer Forschungskoooperationen und branchenübergreifender Pilot- und Demonstrationsprojekte. Das Netzwerk ist offen für alle interessierten Wissenschaftler und Anwender und ist in die internationale Forschungsszene eingebunden. (Koordination: Clemens Schinagl, clemens.schinagl@joanneum.at)

Bionik/Biomimetics wird derzeit an allen Fakultäten der TU Wien beforscht. Ziel des Kooperationszentrums „TU-BIONIK Center of Excellence für Bionik / Biomimetics“ ist die Bündelung der Bionikforschung an der TU Wien auf einer gemeinsamen Plattform. Dadurch sollen der Informationsaustausch verbessert, weitere interdisziplinäre Zusammenarbeit initiiert und Synergien in der Nutzung der Kompetenzen, Methoden und Ressourcen anderer erzielt werden. (Sprecher: Herbert Stachelberger, hstachel@mail.zserv.tu-wien.ac.at, Koordination: Petra Gruber, peg@transarch.org)



nicht. „Denn wir haben nicht die Werkstoffe, die die Natur zu bieten hat, können eben lebendes Material nur verbrauchen, nicht selbst aus dem Nichts herstellen.“ Man müsse, so Axel Thallemer, sich von der Natur inspirieren, aber auch wieder loslassen können. „Man darf sich nicht zu lange an der Eingebung aus der Natur festhalten, sonst wird das in der Umsetzung nichts.“ Denn von Menschen gefundene technische Lösungen sind mit hohen Temperaturen oder mit Elektrizität verbunden: Motoren, Stromleitungen, Dampfmaschine. Ein menschlicher Organismus hingegen funktioniert energieeffizient bei unter vierzig Grad Celsius.

Auch beim Beispiel der Eisbärenpfote, die für Reifenlamellen Modell stand, macht Axel Thallemer die Grenzen der Bionik klar: „Bei der Form der Lamellen ist Schluss mit der Inspiration aus der Natur.“ Das Zusammenspiel von Bewegung, Geschicklichkeit und der Pfote des Eisbären ist nicht nachahmbar. „Die gleiche Haftung wie die einer Eisbärenpfote kann nur erreicht werden, wenn sie lebt.“ Auch die Haifischhaut, gibt Axel Thallemer zu bedenken, funktioniere nur perfekt, wenn sie lebt. „Das ist etwas, über das man nachdenken sollte.“ Er sei bei der Weltausstellung 2005 in Aichi, Japan, gewesen, erzählt der Professor. „Weisheit der Natur“ war das Motto. Dort habe er Roboter in Menschenform beobachtet. „Sinnlos!“, sagt er. Menschliche Arme aus Metall nachzubau-

en, „das ist nicht das Entscheidende.“ Vielmehr müsse man sich Gedanken über die Funktionen eines Armes machen, „zeigen, greifen, nehmen, reichen“. Ein Roboter, der diese Aufgaben erfüllen können soll, aber nicht aus Fleisch und Knochen besteht, nicht die Geschicklichkeit eines Menschen hat, könne nicht so aussehen wie ein menschlicher Arm. „Die Form muss so entwickelt werden, dass sie dem Zweck am besten nachkommt.“

Seine Einstellung wird klar, betrachtet man eine der erfolgreichsten Entwicklungen Axels Thallemer. Für den „Fluidic Muscle“, den er für die Firma Festo entwickelte, wurde er mit zahlreichen Auszeichnungen bedacht. Das Vorbild ist klar: Ein „biologischer Muskel“, der sich unter Druck kraftvoll zusammenziehen und kontrolliert wieder entspannen kann. Grundlage der Entwicklung war also die Frage nach den Funktionen, die ein Muskel zu erfüllen hat. Mit Materialien, natürlich, die nicht organisch-biologisch, sondern künstlich von Menschen geschaffen sind. Aus einem flexiblen Schlauch und festen Fasern besteht Axels Thallemer künstlicher Muskel, der etwa als pneumatische Feder eingesetzt wird.

Bionik, ganz klein

Die Vorbilder von Hubert Brückl – der Nanotechnologie entwickelt Sensoren im Bereich Nano-Systemtechnologien des Austrian Research Centers – sind da schon

WENDIG UND LAUTLOS

Der „Airacuda“ bewegt sich fast lautlos und wendig durchs Wasser. In Konstruktion, Form und Kinematik folgt er seinem biologischen Vorbild. Elektronik und Pneumatik verstecken sich im Kopf.





BIONIK AM SPRUNG

Der Frosch ist auch wegen seiner Dreisprung-Technik viel untersuchtes Objekt der Wissenschaft: Er ist ultraleicht und schafft trotzdem enorme Weiten.

Überall Bionik

Bionik ist noch nicht überall, hat sich jedoch schon in vielen Forschungsfeldern etabliert. Im Design von funktionalen Oberflächen etwa: Der Lotuseffekt, wohl das bekannteste Bionik-Beispiel, dient als Vorbild für selbstreinigende Oberflächen. Auch Funktionen wie Haften und Kleben stehen unter Beobachtung. Im Bereich Sensorik und Regelungstechnik sind es mechanische Sensoren, die fühlen, sehen oder hören sollen. Auch in Architektur und Konstruktionstechnik (Klimatisierung, Stabilität, Leichtbau) hat die Bionik schon Einzug gehalten. Zur Verringerung des Strömungswiderstandes in Luft und Wasser soll die Bionik im Bereich Hydrodynamik oder Strömungstechnik beitragen. Auch Evolutionsstrategien sind zur Optimierung komplexer Systeme und Durchführung von Simulation vorbildhaft. Und Manager sollen von lebenden Systemen und Organisationen in der Natur lernen.

wesentlich kleiner als Muskeln, sogar unsichtbar, zumindest mit freiem Auge. Für die besonders empfindlichen mikroelektronischen Sensoren war ihm das Ohr ein Vorbild. „Vor Jahren hörte ich einen Vortrag über das menschliche Innenohr“, erzählt Hubert Brückl über die Anfänge seiner Arbeit mit Bionik. In Zusammenarbeit mit der TU Wien züchtete er zu dieser Zeit Nano-Drähte, Drähte mit einer Länge von weniger als zehn Mikrometern. „Die Bilder der Härchen im Innenohr haben mich sofort an diese Drähte erinnert“, sagt er. „Also kam mir die Idee, einen Sensor zu entwickeln, der mit Nano-Drähten funktioniert, genau wie im Ohr.“

Doch nicht nur das menschliche Ohr war Ideenlieferant für den Sensor an der Schnittstelle zwischen Nanotechnologie und Bionik. „Ich erfuhr gleichzeitig, dass Nano-Sensoren in der Natur sehr verbreitet sind, etwa bei der Feldgrille.“ Diese hat, wie alle Insekten, Fortsätze an ihrem Hinterleib, die Cerci. „Auf jenen der Feld-

grille sind viele kleine Härchen und machen sie zum empfindlichsten Bewegungssensor, den es überhaupt gibt.“ Schon aus fünf Zentimeter Entfernung ist die Grille dazu in der Lage, eine sich nähernde Spinne oder Raubwespe am Luftzug zu spüren. „So elegant, wie die Natur das löst“, sagt Hubert Brückl, „können wir das schwerlich nachbauen.“ Sondern wir müssen mit den verfügbaren Techniken improvisieren. In diesem Fall ist der Werkstoff ein Nano-Draht, das Messinstrument ist nicht wie in der Natur ein Ionen-Strom wie beim Sensor der Grille, gemessen wird magnetisch. „Wir können eben nicht exakt wie die Natur bauen – Protein für Protein.“ Auch für Hubert Brückl ist das also der Kern der Bionik: von der Natur zu lernen und Prinzipien mit den gegenwärtig vorhandenen technischen Möglichkeiten umzusetzen.

In der lebenden Natur wurden Mechanismen und Eigenschaften über unzählige Generationen immer weiter entwickelt und verbessert. Dort, wo die Prinzipien erforscht und verstanden wurden, ergeben sie überraschende Anwendungsmöglichkeiten in der Technik. So können zum Beispiel mit den Entwicklungsleistungen der Evolution lange Entwicklungspfade in der Technik beschleunigt werden.

Bekannte und etablierte Lösungen in der Technik können mithilfe der Bionik neu hinterfragt werden. Sie ist die Strategie, um den unbegrenzten Reichtum an Lösungen der Natur zu erforschen. Bionik, so viel ist sicher, lässt auch in Zukunft auf überraschende und unkonventionelle Ideen hoffen. 

Bionik im Internet:

Bionik-Kompetenznetz: www.biokon.net
 Uni Saarland: www.uni-saarland.de/fak8/bi13wn/index.html
 Kunstuni Linz: www.ufg.ac.at/index.689.0.html
 Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik: www.gtbb.org
 Tiergarten Schönbrunn: www.zoovienna.at
 Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: www.bmvit.gv.at
 Alle Links zum An klicken: www.universum.co.at



BIONIK - AN DER SCHNITTSTELLE ZWISCHEN BIOLOGIE UND TECHNIK

BiologInnen und TechnikerInnen schauen sich am 24. und 25. September bei einer zweitägigen Fachtagung im Tiergarten Schönbrunn über die Schulter.

► „Lernen von den Konstruktionen, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien der Natur für eine positive Vernetzung von Mensch, Umwelt und Technik.“ Diese Definition für Bionik stammt von Werner Nachtigall und artikuliert einen der Schlüsselfaktoren dieses jungen Forschungsbereiches: die intensive Zusammenarbeit von Naturwissenschaft und Technik.

An der Schnittstelle beider Disziplinen passiert seit einigen Jahren zukunftssträchtige Forschung und Entwicklung. Durch die wechselseitige Inspiration und Kooperation generieren NaturwissenschaftlerInnen und IngenieurInnen unkonventionelle und überraschende Ergebnisse, die in zunehmendem Maße eine wichtige Grundlage für die Lösung aktueller Problemstellungen darstellen. Mit der Fachtagung „Bionik - An der Schnittstelle zwischen Biologie und Technik“ soll ein abwechslungsreicher und spannender Einblick in die Bionik und ihren wissenschaftlichen Alltag am Brennpunkt zwischen Naturwissenschaft und Technik gegeben werden. ExpertInnen aus der Schweiz, Deutschland und Österreich präsentieren ihre Erfahrungen

und Projekte. Am ersten Tag zeigt die Fachtagung Bionik Forschung und Entwicklung im universitären und unternehmerischen Umfeld. Internationale Spezialisten dokumentieren die erfolgreiche Vernetzung von Wissenschaft mit Unternehmen und skizzieren interessante Wege für Lösungsstrategien - inspiriert durch die Bionik. Schwerpunkt am zweiten Tag ist Bionik in der Aus- und Weiterbildung. WissenschaftlerInnen stellen die jüngsten Aktivitäten an Hochschulen und Universitäten vor. Erfahrene PädagogInnen erzählen über die Vermittlungsarbeit bei SchülerInnen. Eine Veranstaltung im Rahmen Programmlinie Impuls - Fachübergreifende Forschung für Innovationen.

24. 9. 2008 9:00 - 20:30 Uhr

25. 9. 2008 9:00 - 16:00 Uhr

Tiergarten Schönbrunn Wien

DAS PROGRAMM:

TAG 1, 24. SEPTEMBER 2008

9:00 Einlass & Registrierung

10:00 **Eröffnung**

Staatssekretärin Christa Kranzl,
Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie

Begrüßung

Direktorin Dagmar Schratzer,
Tiergarten Schönbrunn

Einleitung

Andreas Blust, Bundesministerium
für Verkehr, Innovation und
Technologie

Bionik und Evolutionstechnik

Ingo Rechenberg, Technische
Universität Berlin, Lehrstuhl für
Bionik und Evolutionstechnik

12:00

Mittagspause

13:30

**Management - Bionik „Was
Manager von der Natur lernen
können!“**

Karl-Heinz Oeller, Malik Manage-
ment Zentrum St. Gallen, Leitung
Management Kybernetik & Bionik

Fluidic Muscle - Bionisch

**inspirierte Innovationen am
Beispiel Fluidic Muscle**

Markus Fischer, Festo AG & Co. KG,

- Denkendorf, Leiter Corporate Design
- 15:00 Kaffeepause**
- 15:45 Technologietransfer durch Standardsetzung: VDI-Richtlinien zur Bionik**
Heike Seitz, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf
Kompetenzfeld Biotechnologie
Bionik und Reifen
Reinhard Mundl, Wien
Entwicklung eines biomimetischen Beschleunigungssensors
Hubert Brückl, Austrian Research Centers GmbH - ARC, Wien, Head of Division
„Nano-System-Technologies“
- 18:00 Erfrischungspause**
- 18:30 Einlass Kaiserpavillon**
- 19:00 Abendprogramm im Kaiserpavillon**
Neurobiologie: Sensorische Systeme
Friedrich Barth, Universität Wien, Leiter des Departments für Neurobiologie und Kognitionsforschung
Bionik Dialog
Eva-Maria Gruber im Gespräch mit Friedrich Barth
- 20:30 Ende & Verlassen des Tierparks**

TAG 2, 25. SEPTEMBER 2008

- 9:00 Einlass & Registrierung**
- 10:00 Einleitung**
Andreas Blust, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Bionik: Bildung und Beruf
Antonia Kesel, Bionik-Innovations-Centrum - Hochschule Bremen, Leiterin Bionik-Innovations-Centrum und des Internationalen Studiengangs Bionik
Nachwuchs fördern - Bionik zum Anfassen

- Olga Speck, Kompetenznetz Biomimetik, Freiburg im Breisgau, Managerin, Thomas Speck, Botanischer Garten der Universität Freiburg, Freiburg im Breisgau, Sprecher
Kompetenznetz Biomimetik, Vorstandsmitglied Biokon e.V., Beirat BIONA
- 11:15 Kaffeepause**
- 11:45 Biologisch-evolutionäres Industriedesign**
Axel Thallemer, Universität für industrielle und künstlerische Gestaltung Linz, Leiter Studienrichtung Industrial Design / scionic®
Bionik Innovationspraktikum im Naturpark
Michael Baldauf, Naturpark Zirbitzkogel-Grebenzen, Geschäftsführung
Elisabeth Schitter, Naturpark Zirbitzkogel-Grebenzen, Projektkoordination BIONIK
- 13:15 Mittagspause**
- 14:15 TU BIONIK universitätsweites Kooperationszentrum Bionik/Biomimetics**
Ille C. Gebeshuber, Technische Universität Wien, Institut für allgemeine Physik, Biomimetics Netzwerk
Das Pilotprojekt Bionik an der Fachhochschule Kärnten
Peter Piccottini, Fachhochschule Kärnten, Projektleiter Bionik, und Schüler Alexander Masser, Armin Steinkasserer, Martin Zimmermann
Abschluss und Resumée
Andreas Blust, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
- 16:00 Ende**

Moderation: Eva-Maria Gruber, Wissenschaftsjournalistin

Teilnahme ist kostenlos.
Der Eintritt in den Tiergarten ist frei, wenn die Anmeldung spätestens bis 22. 9. 2008 unter www.ffq.at erfolgt.

Veranstalter:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
1010 Wien, Renngasse 5
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien

Gesamtverantwortung:
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Blust in Zusammenarbeit mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH
1090 Wien, Sensengasse 1
Kontakt: Dipl.-Ing. (FH) Thomas Uitz

Informationen:
www.bmvit.at



DIE REFERENTEN

Sie lassen sich in die Karten schauen: Die Referenten der Bionik-Fachtagung im Wiener Zoo erzählen von ihren Erfahrungen und Projekten an der Schnittstelle zwischen Biologie und Technik.



INGO RECHENBERG

ist Leiter des Lehrstuhls für Bionik und Evolutionstechnik an der TU Berlin. Der Mitbegründer der evolutionsbiologischen Technik in Deutschland spricht über Bionik als wichtige Voraussetzung und Inspirationsquelle der Ingenieurwissenschaften. www.bionik.tu-berlin.de



KARL-HEINZ OELLER

ist Leiter des Bereichs „Cybernetics & Bionics“ des Malik Management Zentrums St. Gallen. Der Vorstand des Internationalen Bionik-Zentrums, Stiftung Bionik, spricht über biologische Organismen als Modell für komplexe Unternehmensstrukturen. www.malik-mzsg.ch/mcb



HUBERT BRÜCKL

ist Leiter des Bereichs Nano-Systemtechnologien der Austrian Research Centers (ARC) in Wien. Der Physiker beschäftigt sich u.a. mit empfindlichen mikroelektronischen Sensortechnologien, die mit Nanodrähten funktionieren. Inspiriert wurde er dazu durch die feinen Härchen im Innenohr sowie die Hinterleibsfortsätze der Feldgrille. www.nano-systemtechnologien.at

ist u.a. wissenschaftliche Mitarbeiterin im Kompetenzfeld „Biotechnologie“ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI). Die Biologin erläutert die derzeit in Entwicklung befindlichen VDI-Richtlinien zur Bionik, die die Umsetzung bionischer Innovationen in die technische Anwendung ermöglichen und erleichtern sollen. www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/kfbt/



HEIKE SEITZ

REINHARD MUNDL

ist Berater des internationalen Reifenproduzenten Continental und Lektor für Reifentechnik an den Technischen Universitäten in Wien, Graz und Dortmund. Der Maschinenbauer referiert über Anwendungsmöglichkeiten und Realisierungen der Bionik im Reifensektor am Beispiel seiner Studien an Eisbären. www.conti-online.com

ist Leiter der Abteilung Corporate Design der Festo AB & Co. KG. Der Architekt präsentiert die Bionik-Produkte des Unternehmens, die u.a. den Mantarochen zum Vorbild haben. Außerdem skizziert Fischer das von ihm initiierte „Bionic Learning Network“: Hier werden innovative Projekte von Studenten, Universitäten oder Firmen in Zusammenarbeit mit Festo präsentiert. www.festo.com/cms/de_de/4981.htm



MARKUS FISCHER



ILLE GEBESHUBER (li.) ist Experimentalphysikerin am Institut für Allgemeine Physik an der TU Wien und Key Researcher der AC²T research GmbH, des Österreichischen Kompetenz-zentrums für Tribologie. Gemeinsam mit Kollegen der TU Wien – **FRIEDRICH FRANEK** (re.), stellvertretender Leiter der Abteilung Mikrosystem-technik am Institut für Sensor- und Aktuatorssysteme und Geschäftsführer der AC²T research GmbH sowie **CHRISTIAN HELLMICH** (ganz re.) vom Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen – skizziert die Wissenschaftlerin die Bionik-Aktivitäten an der TU Wien und präsentiert TU Bionik, das im Juni 2008 gegründete TU-weite Kooperationszentrum für Bionik/Biomimetics. www.tuwien.ac.at



FRIEDRICH BARTH ist Leiter des Departments für Neurobiologie und Kognitionsforschung an der Universität Wien. Als einer der österreichischen Forschungspioniere an der Schnittstelle zwischen Biologie und Technik illustriert der Neurobiologe an konkreten Beispielen die technischen Potenziale der Natur. www.nc.univie.ac.at/index.php?id=8739

AXEL THALLEMER

ist Leiter des Studienganges „Scionic“: IDEAL – Industrial Design Education Austria Linz an der Kunstuniversität Linz. Der Designer bietet einen Einblick in biologisch-evolutionäres Industriedesign und zeigt die verschiedenen bionisch inspirierten Entwicklungsprozesse eines anthropofunktionalen Roboterarms. www.ufg.ac.at



MICHAEL BALDAUF ist Geschäftsführer des Naturparks Zirbitzkogel-Grebenzen. Gemeinsam mit seiner Kollegin **ELISABETH SCHITTER**, Koordinatorin des Naturpark-Projekts „Bionik“, skizziert der Umweltsystemwissenschaftler Idee und Ausführung des Pilotprojekts: Im Hintergrund der Initiative „Forschung macht Schule“ des BMVIT und BM:UKK hatten SchülerInnen die Möglichkeit, sich am Naturpark-Projekt zu beteiligen. www.naturpark-grebenzen.info



PETER PICCOTTINI

ist Leiter des Projekts „Bionik“ an der Fachhochschule Kärnten. Der Industriedesigner bietet einen Einblick in die Aufbauarbeit des internationalen Studiengangs sowie die Errichtung eines international vernetzten Bionik-Kompetenzzentrums in Klagenfurt. www.fh-kaernten.at

ANTONIA B. KESEL

ist Gründerin und Leiterin des Bionik-Innovations-Centrums Bremen sowie des internationalen Studiengangs Bionik an der Hochschule Bremen. Die Zoologin und Technische Biologin spricht über Bildungsaktivitäten und interdisziplinäre Ausbildungskonzepte im Bereich der Bionik. <http://bionik.fbsm.hs-bremen.de>

OLGA SPECK

leitet gemeinsam mit ihrem Mann Thomas Speck das „Kompetenznetz Biomimetik“ in Freiburg. Die Biologin präsentiert den „Bionik-Koffer“: Das kompakte, mobile Bionik-Labor enthält Lehrmaterialien zu sechs bionischen Produkten für einen Naturwissenschaft und Technik übergreifenden Schulunterricht. www.bionik-koffer.de



Praktische Bionik – Beispielhaftes aus Österreich

Abseits viel zitierter Bionik-Erreungen-schaften gibt es auch Projekte, die bis-her nicht im Rampenlicht standen. Diese tragen zu Recht die Überschrift „Bionik“ und sind obendrein „Made in Austria“.

BIONIK IM MANAGEMENT

Nicht nur der Technik, auch dem Manage-ment öffnet die Bionik neue Türen. Bioni-sches Management zielt auf langfristige Lebensfähigkeit des Systems ab. Denn in den komplexen Systemen der Natur fin-den sich unzählige Problemlösungsmög-lichkeiten und nachhaltige Strategien, die seit Jahrtausenden im Praxistest laufen. Im Rahmen des Master-Studienprogram-mes „Management of Protected Areas“ der Universität Klagenfurt wurde dieses Prinzip von Thomas Schuh genau unter die Lupe genommen. Das „Viable System Model“ nach Stafford Beer stellt etwa Or-gane, Muskeln und Haut den Organisa-tionsbereichen Produktion, Lager, Einkauf und Vertrieb gegenüber. Das Nervensys-tem kann Vorbild für Standards, Regeln oder Richtlinien sein, das Zwischenhirn für das operative Management. Seh-, Tast- und Geruchssinn stehen Forschung und Entwicklung, Marketing und PR gegen-über, und das Großhirn dem Vorstand oder dem Aufsichtsrat einer Organisation.

FERROBOTICS

Anpassung ist eine der wichtigsten Er-folgsstrategien in der Natur. Das Prinzip eines Grashalmes, der sich im Wind biegt und wieder aufrichtet, findet sich auch in der Robotik wieder: Berührungssensitive Roboter reagieren nachgiebig auf Ver-änderungen im direkten Umfeld und weichen aus anstatt zu kollidieren.

Der aus der Industrie gemeldete Techno-logiebedarf hat an der Johannes Kepler Universität zur Entwicklung der Luftmus-kelregelung und zur Gründung eines Spin-

offs geführt. Paolo Ferrara und Ronald Naderer gründeten 2006 FerRobotics. Aufbau und Funktionsprinzip des FerRo-botics-Roboterarmes sind bionisch dem menschlichen Arm nachempfunden. Er verfügt über Bewegungsmöglichkeiten, die man mit dem menschlichen Arm ver-gleichen kann; seine interaktive und be-rührungssensitive Charakteristik verleiht ihm das Attribut „empfindsam“. Mehr Infos: www.ferrobotics.at

INSTITUT FÜR BIOMECHANIK

Die Biomechanik beschäftigt sich mit der Entwicklung, Erweiterung und Anwendung der Mechanik auf lebende Systeme. Sie ist ein international aufstrebendes Fach-gebiet, das Mechanik, Biologie und Engi-neering verknüpft, um physiologische und klinische Fragen zu beantworten.

Ein Wegweiser für die moderne Biomecha-nik ist das Physiome-Project, das vor einigen Jahren von Gerhard A. Holzapfel am Institut für Biomechanik der TU Graz initiiert wurde. Es ist ein weltweit kollabora-tives „open source“-Projekt, das bio-mechanische, biochemische, elektrophysi-ologische Modellstandards und numerische Werkzeuge über die Struktur und Funktion des gesamten menschlichen Organismus entwickeln soll. Das Interesse gilt ausge-weiteten Arterien – so genannten Aneurys-men – auf der einen Seite sowie atheroskle-rotisch veränderten und damit verengten Arterien auf der anderen Seite. In letzter Zeit hat Holzapfels Forschungsgruppe die Folgen von therapeutischen Eingriffen am Gefäßsystem erforscht.

Diese für die Medizin und nicht zuletzt für das Leben des Patienten entscheidenden Fragen werden interdisziplinär in Angriff genommen und bilden einen Schulter-schluss zwischen Medizin und Technik.

Institut für Biomechanik der TU Graz: www.biomech.tugraz.at

NETZWERK BIONIK AUSTRIA

Das Netzwerk „Bionik Austria“ wurde 2007 auf Initiative von Clemens Schinagl, Institut für Angewandte Statistik und Sys-temanalyse des Joanneum Research, ge-gründet. Das Ziel: die Vernetzung von For-schern, aber auch Firmen jeder Größe aus interessierten Industriebereichen. Abge-sehen von Joanneum Research, das mit gleich mehreren Instituten (Angewandte Statistik und Systemanalyse, Nanostruk-turierte Materialien, Chemische Prozess-kontrolle, Digitale Bildverarbeitung) zum Bionik-Netzwerk beiträgt, gehörten die Technischen Universitäten Graz und Wien, der Reifen-Riese Continental, die Uni Graz, die Fachhochschule Kärnten, Öko-park, Systems Research, Ratio und Bionic Engineering GmbH dazu. Derzeit ist Bio-nik Austria ein reines Netzwerk.

Für die Zukunft wünscht sich Initiator Clemens Schinagl, dass die Plattform professionalisierter wird und auf eine in-stitutionelle Ebene gehoben werden kann. Bei dem Echo, das die Vernetzung von Bionikern derzeit auslöst, kann das aber nur eine Frage der Zeit sein.

Kontakt: clemens.schinagl@joanneum.at

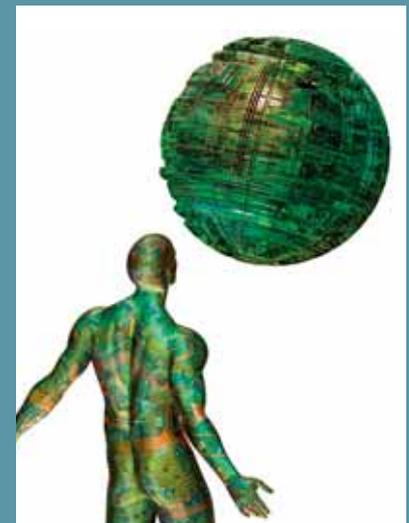


FOTO: LW MEDIA-ARCHIV/SHUTTERSTOCK

IMPRESSUM

Medieninhaber: LW Media, 3100 St. Pölten, Gutenbergstraße 12, Tel.: +43/27 42/801-13 57, Fax: +43/27 42/801-14 30. **Herausgeber und Geschäftsführer:** Erwin Goldfuss. **Chefredaktion:** Dr. Jürgen Hatzenbichler. **Anzeigenleitung:** Alexandra Salvineti. **Redaktion:** Eva-Maria Gruber, Mag. Ursel Nendzig. **Fotoredaktion:** Mag. Maria Hötzmanseder. **Art Director:** Patrick Pürbauer. **Produziert in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.** Copyright by LW. Irrtümer und Satzfehler vorbehalten.