

# ScienceCenter NETZWERK

ERLEBNIS  
**NETZ**[werk]**E**

Eine Verlagsbeilage der **WIENER ZEITUNG** ■



Erlebnis-Netzwerke  
faszinieren Österreich



## Netzwerke für die Zukunft

Netzwerke gehören heute zu unserem Leben. Über sie tauschen wir uns aus, bündeln wir unser Wissen und unsere Erfahrungen im Wirtschaftsleben, im privaten Umfeld und im öffentlichen Bereich. Die globale wie auch die feinmaschige Vernetzung von Information und Kommunikation ist ein selbstverständlicher Teil unseres Alltags. Der kommunikative Austausch, der Wissensgewinn, die Recherche und die Informationsverarbeitung funktionieren heute zu einem großen Teil über digitale Infrastrukturen. Telekommunikation ist Voraussetzung und Grundlage des sozialen und wirtschaftlichen Lebens, wie wir es heute kennen.

### Investitionen in die Zukunft

Was vor mehr als 125 Jahren mit wenigen handvermittelten Leitungen begann, ist heute zu einer hochmodernen Infrastruktur für die Informationsgesellschaft geworden. Heute ist sie fester Bestandteil unseres Lebens. Aus dem Festnetz von gestern ist ein Hochleistungsnetzwerk und Nervengeflecht der modernen Gesellschaft geworden. Innerhalb weniger Jahrzehnte ist um die Welt ein Netzwerk gespannt worden, das die Wirtschaft und die Gesellschaft insgesamt prägt. Voraussetzung dafür ist eine funktionierende Infrastruktur: In den letzten Jahren hat Telekom Austria mehr als eine Milliarde Euro in den Ausbau ihres Telekommunikationsnetzwerkes getätigt, um den Zugang zu modernen Kommunikationstechnologien zu ermöglichen. Mehr als 40 Millionen Euro Investitionen in Forschung und Entwicklung jährlich und 140 MitarbeiterInnen in diesem Bereich machen Telekom Austria zudem zum zweitgrößten F&E-Unternehmen Österreichs.

### Kommunikation ist Leben – und Leben ohne Kommunikation nicht vorstellbar

Die Festnetz-Infrastruktur von Telekom Austria wird auch in Zukunft die unverzichtbare Basis sein, auf der jegliche Kommunikation beruht. Ein Blick, ein Gespräch unter Freunden, ein Telefonat, eine E-Mail – alles ist Kommunikation. Kommunikation ist die Verbindung zwischen Menschen, Verständigung das Ziel. Technologische Entwicklungen erleichtern und ermöglichen Kommunikation. Die zukunftsweisenden Kommunikationstrends – Multimedia, Interaktivität, Vernetzung – werden die Menschen in vielen Bereichen ihres täglichen Lebens unterstützen.

Ziel von Telekom Austria ist es, netzwerkbasierende Lösungen zu entwickeln, die sowohl die Produktivität steigern als auch das Leben der Menschen erleichtern. Die neuen Dienste und Möglichkeiten, die sich durch die Breitband-Technologie ergeben, sollen für alle Generationen und Bevölkerungsschichten nutz- und erlebbar werden.

[www.telekom.at](http://www.telekom.at)

# Inhalt

## Netz(werk)e erleben

Science Center Netzwerk	05
Nervennetze	07
Körpernetze	09
Kommunikationsnetze	11
Molekulare Netze	15
Netzspiel	17
Spinnennetze	19
Netzstrukturen	21
Soziale Netzwerke	25
Wissensnetze	27
Wassernetze	29

**Impressum:**

„Science Center Netzwerk – Erlebnis Netzwerke“ erscheint als Verlagsbeilage zur Wiener Zeitung. Beiträge: Barbara Streicher, Robert Czepel, Eva Obermüller, Lena Yadlapalli, Jeanette Mueller. Medieninhaber und Herausgeber: Wiener Zeitung GmbH, 1040 Wien, Wiedner Gürtel 10, Telefon: (01) 206 99-0. Geschäftsführung: Mag. Karl Schiessl, Konzeption: Wolfgang Renner, Layout: Mag. Martin Stellberger. Anzeigen: Erik Gertscher. Coverfoto: Science Center Netzwerk. Druck: Leykam Druck GmbH & Co KG, 7201 Neudorf, Bickfordstraße 21.





**MARGIT FISCHER**

*Vorsitzende des Vereins Science Center Netzwerk*

„Das Faszinierende an Science Center-Aktivitäten ist für mich, wie konzentriert sich Kinder, Jugendliche und Erwachsene auf wissenschaftliche oder technische Experimente einlassen, wie begeistert sie sind, etwas selbst zu entdecken und zu verstehen und wie lustvoll dabei das Lernen passiert.“



## Erlebnis Netz(werk)e

Eine Ausstellung des Science Center Netzwerks und seiner PartnerInnen

Veranstalter: Science Center Netzwerk  
 Koordination: Otto Schütz, Barbara Streicher  
 Ausstellungsgestaltung und Realisierung:  
 Hansjörg Mikesch, Karl Hintermeier  
 Design: Lukas Bast  
 Didaktik: Jeanette Müller, Andrea Frantz-Pittner,  
 Silvia Grabner, Gerald Grois, Suzanne Kapelari  
 Texte: Jeanette Müller  
 Grafik: Message Marketing & Communications GmbH  
 WikiNetz: FH Eisenstadt Informationsberufe AW7

Die Gesamt-Ausstellung wird unterstützt von:



Sponsored by



Ausstellungselemente stellen zur Verfügung:





„Wir leben in einer vernetzten Welt.“ Dieser Satz ist fast zum Gemeinplatz geworden, verdient aber dennoch nähere Betrachtung, denn in der Tat spielen Netze und Netzwerke eine große Rolle in unserem Alltag. Wir kommunizieren mit Menschen aus der ganzen Welt über das Internet, ohne Handynetze würden wir uns mittlerweile verloren fühlen. Wir sind eingebettet in soziale Netzwerke und zugleich bedroht von Terrornetzen. Wir bewegen uns in Verkehrsnetzen und werden im täglichen Leben versorgt durch Netze, etwa mit Strom oder Wasser. Wir sind umgeben von globalen wirtschaftlichen Netzwerken und fühlen uns abgesichert (oder auch nicht) durch Finanznetzwerke aus Banken und Versicherungen. Selbst beim Sport gibt es nicht nur das Fußballnetz, ganze Spiele werden heute mittels Netzwerktheorien analysiert.

Netze und Netzwerke übernehmen dabei vielfältige Funktionen, sie stärken und schützen oder sie bedrohen – je nach der eigenen Position, ähnlich wie es Spinnen und ihre Beute wohl unterschiedlich wahrnehmen. Netze bilden Leitsysteme und transportieren Stoffe oder Informationen, sie strukturieren und bilden Ordnungssysteme. Netzwerke sind komplex: vielfältige Verbindungswege oder Kanten führen von einem Knoten zu den anderen. Diese Redundanz führt dazu, dass zwar jeder Knoten wichtig ist und die anderen beeinflusst, aber zugleich ist nicht jeder Knoten im Netz essenziell. Ein Loch in einem Fischernetz bedeutet noch nicht, dass der Fisch durch die nun doppelt so große Masche entkommt. Der Verlust eines Menschen aus einem sozialen Netzwerk ist oft schmerzhaft, führt aber zumeist nicht zur Auflösung desselben, sondern zu Adaptierungen.

### Eine Frage der Perspektive

Eine eindeutige Sichtweise auf ein Netz oder in einem Netzwerk gibt es nicht. Freilich, manche Netze sind konstruiert und gut geplant, alle Knoten darin gleichartig und sie leiten und versorgen verlässlich, auch wenn ein Knoten ausfällt. Doch viele Netzwerke scheinen chaotisch, ihre Knoten und Kanten sind in steter Veränderung sowohl was Position, Bedeutung oder Intensität der Verbindungen betrifft – sie entwickeln sich, fast wie Lebewesen. In diesen dynamischen Netzwerken liegt große Flexibilität und hohes innovatives Potential.

Ein solches emergentes Netzwerk ist das Science Center Netzwerk – ein Zusammenschluss von Organisationen und Personen, die Wissenschaft und Technik mit hands-on-Angeboten – Ausstellungsstationen, Spielen oder Experimenten – für Laien zugänglich und selbständig erlebbar machen wollen. Die Vielfalt im Netzwerk – an Expertise, Zugängen zu Themen und Methoden – sowie der offene Austausch miteinander sind die Erfolgsfaktoren für spannende neuartige Projekte.

### Vernetzung auf vielen Ebenen

Eines davon ist die Wanderausstellung „Erlebnis Netz(werk)e“. PartnerInnen des Netzwerks steuern insgesamt zehn interaktive Stationen bei, die jeweils ein Netz oder Netzwerk mit bestimmter Funktion erlebbar machen. Die BenutzerInnen der Ausstellung können etwa ergründen, wie der Wassertransport von der Pflanzenwurzel bis in die Blattkrone funktioniert, mit physikalischen Phänomenen ästhetische Netzstrukturen schaffen und verändern, die Abhängigkeiten in sozialen Netzwerken spüren oder Körpernetze zu dreidimensionalen Gebilden formen. Auf den folgenden Seiten dieser Beilage wird den hinter den Stationen liegenden wissenschaftlichen Prinzipien nachgespürt. Aber nicht nur jede einzelne Ausstellungsstation thematisiert ein Netz, die ganze Ausstellung ist als Netz von Stationen aufgebaut. Die Verbindungen zwischen den Stationen und damit auch zwischen den Partnern sind für ein umfassendes Verständnis der Ausstellung essenziell, denn sie demonstrieren

**„Erlebnis Netz(werk)e“ ist eine interaktive Science Center-Ausstellung. Mit spannenden Exhibits, Spielen und Experimenten werden wissenschaftliche Erkenntnisse zu Netzen und Netzwerken auf spielerische Weise unmittelbar erlebbar und begreifbar.**

## Netz(werk)e erleben

BARBARA STREICHER

ein weiteres Charakteristikum von Netzwerken: Sie leisten mehr als die Summe der Einzelteile. Die BenutzerInnen der Ausstellung können sich auch miteinander vernetzen. Über ein WikiNetz sind sie eingeladen, ihre Erkenntnisse, Fragen und Erfahrungen zu teilen und im Stil von Wikipedia-Artikeln gemeinsam weiterzuentwickeln – so soll ein stetig wachsendes Wissensnetz zur Ausstellung und ihrem Thema entstehen. Dies entspricht der Vorgangsweise in der Wissenschaft: Erkenntnisse werden erst durch Publizieren, gegenseitiges Kommentieren und Überprüfen (peer review) Teil des allgemeinen Wissensstands. Junge BesucherInnen haben außerdem die Möglichkeit, selbst zu forschen und beim Begleitprojekt „Hands-on X-Netz!“ eigene interaktive Ausstellungsstationen zu entwickeln. Eine „unfertige“ Ausstellung also? Eine Einladung, die Dynamik von Netzen und Netzwerken zu ergründen, eine Einladung zum selbständigen Entdecken, Forschen, Staunen – und zum Weiterdenken und Weiterentwickeln! „Erlebnis Netz(werk)e“ ist eine Ausstellung des Science Center Netzwerks und wird in Kooperation mit Netzwerk-PartnerInnen durch Österreich touren.

*Beginn ist ab 25. Juni 2007 in der inatura Dornbirn und ab 1. August 2007 im WIFI Gmunden.*

**Infos und Termine:**

[www.science-center-net.at/erlebnissetzwerke](http://www.science-center-net.at/erlebnissetzwerke)





von aussen betrachtet ist das Gehirn nicht unbedingt interessanter als andere Organe. Der Hirnmasse mit puddingartiger Konsistenz sieht man zunächst nicht an, zu welchen Leistungen sie fähig ist. Wie sollte man auch? Aristoteles etwa dachte noch, das Hirn sei eine Art Kühlaggregat und verortete den Sitz des Denkens im Herzen. Heute wissen wir: In diesem Punkt irte der griechische Philosoph. Das Herz ist eine muskulöse Pumpe, der wir bestenfalls in sehr romantischen Augenblicken einen Anteil an unserem Gefühlsleben zugestehen. Doch abgesehen von aristotelisch inspirierten Ausflügen in die Welt der Metaphern ist für uns klar: Denken findet im Gehirn statt und sonst nirgendwo.

Die Eckdaten unseres Denkorgans: Es ist bis zu 1,5 Kilogramm schwer und besteht aus mindestens 20 Milliarden Neuronen, die auf die Weiterleitung elektrischer Signale spezialisiert sind. Sie sind die materielle Grundlage unserer Gefühle, Gedanken und Empfindungen – kurzum: unseres bewussten Denkens. Die Elementarzeichen in der Sprache der Neuronen sind die so genannten Aktionspotenziale. Dabei handelt es sich um elektrische Umpolungen der Zellmembran, die in der Regel einige Millisekunden dauert und dann wieder in den ursprünglichen Zustand zurückfällt. Das ganze funktioniert nach einem Alles-oder-Nichts-Gesetz, wie die Neurobiologen sagen: Entweder es entsteht ein Aktionspotenzial oder es entsteht keines, halbe Aktionspotenziale gibt es nicht. Einige wichtige Erkenntnisse auf diesem Gebiet verdanken wir dem britischen

Physiologen Edgar Douglas Adrian. Er steckte zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein dünnes Stück Metalldraht in ein Neuron und leitete den Strom zu einem Tintenschreiber sowie zu einem kleinen Lautsprecher. Wenn in der Nervenzelle Aktionspotenziale entstanden, malte der Tintenschreiber kleine Zacken auf ein Blatt Papier, der Lautsprecher reagierte mit knackenden Geräuschen. Beide Geräte führten Adrian zu zwei wichtigen Prinzipien der Informationsverarbeitung im Gehirn.

Erstens: Aktionspotenziale sehen fast immer gleich aus, in etwa so, wie sich auch die Lichtsignale im Morsealphabet nicht maßgeblich unterscheiden. Zweitens: Ein Reiz ist umso stärker, je höher die Frequenz der Aktionspotenziale ist. Ein gemächliches „Knack ... Knack ... Knack“ in Adrians Lautsprecher entsprach demzufolge einem schwachen Reiz, ein hektisches „Knack-Knack-Knack!“ hingegen einem starken.

1928 fasste Adrian seine Ergebnisse wie folgt zusammen: „Alle Impulse sind sich weitgehend ähnlich, ob die

## Die Sprache der Neuronen

Die grundlegenden Prinzipien der Neuronensprache versteht man bereits. Was allerdings komplizierte Unterhaltungen der Nervenzellen bedeuten, ist noch weitgehend unklar. Ein Blick ins Nervengeflecht.

Fotos links: Paul Divjak, rechts: Ingo Pertramer



Nachricht nun dazu bestimmt ist, die Wahrnehmung von Licht, von Berührung oder von Schmerz wachzurufen. Werden sie zusammengedrängt, ist die Sinneswahrnehmung heftig, sind sie durch Intervalle getrennt, ist sie entsprechend schwach.“

Der erste Satz hat es in sich. Er besagt nämlich, dass die Art des Sinnesreizes - Licht, Schall, Duftmoleküle usw. - mit der Übersetzung in die Sprache der Neuronen unwiederbringlich verloren geht. Alle Neuronen verwenden dieselbe Einheitsprache der Aktionspotenziale, sie kennen nur das monotone „Knack-Knack-Knack.“

Das führt zur Frage: Wie gelingt es dem Gehirn, bestimmte Signale als Sehen, Hören oder Riechen zu interpretieren? Die Antwort gibt das so genannte Prinzip des Verarbeitungsortes: Der Ort an dem eine bestimmte Erregung verarbeitet wird, bestimmt seine Modalität. Das Gehirn interpretiert das als Sehen, was den visuellen Cortex erregt. Dementsprechend interpretiert es das als Hören, was den auditorischen Cortex erregt usw. Das wurde bereits durch künstliche Stimulation der entsprechenden Hirnzentren nachgewiesen.

Heute weiß man, dass die Unterhaltungen in Nervennetzen noch komplexer sind, als man zu Adrians Zeiten gedacht hat. Offenbar spielt nicht nur die Frequenz der Aktionspotenziale eine Rolle, sondern auch die relative Lage derselben zueinander. Um zu veranschaulichen, was das bedeutet, vergleicht Wolfgang Maass von der TU Graz die Nervenzellen gerne mit Schlagzeugern:

Die Kommunikation in neuronalen Netzwerken gleiche am ehesten einem improvisierten Musikstück, bei dem jeder Mitspieler flexibel auf den Rhythmus der anderen reagiert. „Um zu erkennen, welches Stück gespielt wird, reicht es eben nicht nur zu wissen, wie oft jedes Schlaginstrument angeschlagen wurde. Charakteristisch sind vielmehr die überlagerten Rhythmen der einzelnen Schlaginstrumente.“

So gesehen werde der gegenwärtige Ansatz, Nervennetze am Computer zu simulieren, der Realität nur bedingt gerecht, betont Maass. Der Grund: Man gehe dabei noch von einer synchronisierten Arbeitsweise der Neuronen aus. Will man bei der Schlagzeug-Metapher bleiben, dann produzieren die künstlichen neuronalen Netze heutiger Bauart preußische Marschmusik. Die Arbeitsweise des Gehirns dürfte indes eher der variablen Rhythmik karibischer Klänge gleichen.

ROBERT CZEPEL

## Station: Nervennetze

Wie funktioniert unser Denken?

Entwickelt von: Wolfgang Maass,  
Harald Burgsteiner, Thomas Natschläger,  
Institut für Grundlagen der Informationsverarbeitung  
TU Graz & Haus der Wissenschaft Graz  
Originaltitel: Neuronale (Netzwerk)-Simulation  
© Maass/Burgsteiner  
[www.igi.tugraz.at](http://www.igi.tugraz.at)



Einigen gewissen „geometrischen Vorbedacht“ schrieb den Bienen bereits der Geometer Pappus von Alexandria im Griechenland des vierten Jahrhunderts vor Christus zu. In seinem Essay „Über die Klugheit von Bienen“ vermutete er, dass die Konstruktionsweise auf der Basis eines regelmäßigen Sechsecks eine Bauweise ist, für die am wenigsten Wachs erforderlich ist. Bekannt wurde diese Hypothese als „Honigwaben-Vermutung“.

Schon Pappus von Alexandria dachte, dass diese Form weniger mit dem angeborenen Schönheitssinn der Bienen zu tun habe als vielmehr mit der Effizienz der Natur. Dennoch: Erst 2000 Jahre später wurde bewiesen, dass die Bienen mit ihren sechseckigen Gebilden so ökonomisch wie nur möglich arbeiten.

Der Bau der Bienen ist eine eindrucksvolle Ingenieursleistung von höchster Präzision. Die Insekten nutzen die Waben zur Aufzucht von Larven und zur Lagerung von Honig und Pollen. Für die Produktion des Wachses hängen sich die Tiere traubenförmig aneinander. Junge Arbeitsbienen scheiden aus den Wachsdrüsen an den hinteren Bauchschuppen Wachströpfchen in der Größe eines Stecknadelkopfes aus. Die Klümpchen werden so abgelegt, dass sie senkrechte, sechsseitige, zylindrische Kammern bilden, wobei jede Wand weniger als zehn Millimeter dick ist. Alle Wände sind exakt gleich groß und stoßen in einem Winkel von 120 Grad aneinander. Die Grundfläche bildet also eine regelmäßiges Sechseck oder Hexagon. Aus den darauf aufsetzenden polyederförmigen

Waben entsteht sozusagen ein dreidimensionales Netz, das den Raum strukturiert und lückenlos ausfüllt.

Aber warum wählen die Bienen genau diese Form? Die lückenlose Bedeckung einer Ebene mit kongruenten Vielecken nennt man in der Mathematik „Parkettierung“. Von den regelmäßigen Vielecken eignen sich dafür nur gleichseitige Dreiecke, Quadrate oder regelmäßige Sechsecke. Jedes andere regelmäßige Vieleck würde Lücken auf der Ebene hinterlassen.

Die zweite mathematische Voraussetzung ist die Maximierung der Einzelflächen, das so genannte „Isoperimetrische Problem“: Zenodoros, eine Zeitgenosse von Archimedes, versuchte bereits im dritten Jahrhundert vor Christus unter allen einfachen, geschlossenen, ebenen Kurven diejenige zu ermitteln, welche die größte Fläche umschließt. Als Maß dafür definiert er den größenunabhängigen Quotienten  $k = A/U$ . Die optimale Lösung wäre eine Kreisfläche. Der Bau der Bienenzellen verknüpft beide Problemstellungen: Um eine möglichst günstige Grundfläche für

## Wie machen es die Bienen?

Optimal, wenn es um ihre Waben geht. Denn deren Design ist an Raumausnutzung bei gleichzeitiger Materialsparbarkeit kaum zu übertreffen. Der Beweis, wie effizient die Natur arbeitet, ist für die Mathematik allerdings oft nicht ganz leicht und gelang in diesem Fall erst vor wenigen Jahren.

Fotos links: Barbara Smrzka, rechts: Barbara Streicher



die Bienenwabe zu finden, müssen solche Figuren gesucht werden, welche die Ebene lückenlos ausfüllen können und dabei einen möglichst großen  $k$ -Wert haben. Außerdem soll die Oberfläche der Waben, also der Materialverbrauch bei gegebenen Volumen möglichst klein sein. Man kann zeigen, dass dies bei einem regelmäßigen sechsseitigen Prisma, abgedeckt von einem „perfekten Dach“, bestehend aus drei Rhomben, der Fall ist – genau diese Form besitzen Bienenwaben.

Der Nachweis, dass dies tatsächlich so ist, gelang dem Mathematiker Thomas Hales 1999. Erst er konnte die „Bienenwabenvermutung“ beweisen. Er konnte zeigen, dass die Bienen so ökonomisch wie möglich arbeiten, wenn sie ihre Waben aus regelmäßigen Sechsecken bauen. Denn wer eine Fläche nach diesem Muster aufteilt, verbraucht am wenigsten Material für die Zwischenwände. Das dreidimensionale Netz aus Bienenwaben gibt also nicht nur Struktur, sondern löst gleichzeitig Optimierungsprobleme.

Schönheit, Zweckmäßigkeit, Effizienz oder Wohlklang sind in der Natur häufig mit einfachen Zahlenverhältnisse verknüpft. Erstaunlich dabei ist, welchen Aufwand die Mathematik treiben muss, um derlei „natürliche“ Dinge nachzuweisen, Hales Beweis ist 19 Seiten lang und kompliziert. Allerdings bringt für die Praxis der Dinge der mathematische Nachweis wenig Gewinn. Die Tiere müssen die Waben ja nur bauen. Dank Mathematik kann man aber zeigen, dass

die Bienen von allen Möglichkeiten im Laufe der Evolution die effizienteste gewählt haben. Es findet quasi so etwas wie „natürliche Mathematik“ statt. Bienenwaben sind lediglich ein Beispiel dafür, dass es in der Natur häufig instinktiv oder intuitiv korrekte mathematische Problemlösung gibt.

Der Mensch versucht daher auch nachzumachen, was die Natur „so effizient vorzeigt“. So findet der wabenförmige Aufbau in diversen technischen Produkten seine Anwendung. Dadurch können etwa Materialien mit hoher mechanischer Festigkeit und geringem Gewicht erzeugt werden. So genannte Honeycombs werden in Verbindung mit einer Schichtbauweise bei Flugzeugleitwerken und -tragflächen, Schiffsrümpfen, Surfbrettern und LKW-Aufbauten verwendet. Auch Tornetze werden in Wabenform geknüpft.

EVA OBERMUELLER

## Station: Körpernetze

*Wo finden wir Netze in der Mathematik?*

Entwickelt von: Haus der Mathematik Wien  
& Hansjörg Mikesch/Szenenbild & 4Dframe  
[www.hausdermathematik.at](http://www.hausdermathematik.at)  
[www.szenenbild.at](http://www.szenenbild.at)  
[www.4dframe.com](http://www.4dframe.com)





„Love Is All Around“ lautete einst der berühmte und in mehreren Cover-Versionen vorliegende Song der englischen Rock-Band „The Troggs“ in den 1960er-Jahren. Was für die – nicht immer so offensichtliche – Liebe gilt, gilt ohne Zweifel für die Kommunikation: Sie findet überall statt. Bereits die kleinsten Einheiten von lebenden Organismen, die Zellen, greifen auf sie zurück. Ohne ihre Kommunikation und Vernetzung könnten sich keine komplexeren Organismen bilden. Denn die empfangenen Signale zeigen der einzelnen Zelle ihre Bestimmung an. Soll sie wachsen? Sich teilen oder ausdifferenzieren? Oder vielleicht sterben? Dabei strömt auf die einzelnen Zellen eine wahre Informationsflut ein. Es kommt also darauf an, mit den eigenen Antennen, den „Rezeptoren“ an der Zelloberfläche, die Botschaften richtig zu interpretieren und umzusetzen.

Auch der Mensch ist pro Sekunde mit viel Information konfrontiert – laut Hochrechnungen etwa eine Milliarde Bit ( $10^9$  bit/s). Davon wird nur der kleine Teil von zehn bis 100 Bit bewusst verdaut. Empfangen werden die Informationen, die den Menschen „aktivieren“, über die Sinne: das Schmecken, Riechen, Fühlen, Tasten, Hören und Sehen. Was wirklich wahrgenommen wird, hängt allerdings von der Stärke des Reizes ab. Auch Erfahrungen, Erwartungen, das kulturelle Umfeld sowie die Persönlichkeit beeinflussen die eigene Empfangsbereitschaft. Sie spielen zudem beim Senden von Botschaften eine Rolle. Empfangen und gesendet wird dabei nicht nur auf der Sprachebene.

Auch der Tonfall, die Geschwindigkeit der Sprache, ein Lachen und ein Seufzer, die Körperhaltung und der Gesichtsausdruck sprechen Bände.

„Man kann nicht nicht kommunizieren“, ist eine der berühmten Annahmen des kürzlich verstorbenen österreichischen Kommunikationswissenschaftlers und Psychologen Paul Watzlawick (1921–2007). Denn jedes Verhalten kommuniziert bereits – auch ohne Worte. Man kann sich schließlich nicht nicht verhalten. „Selbst der Mann im überfüllten Wartesaal, der vor sich auf den Boden starrt oder mit geschlossenen Augen dasitzt, teilt den anderen mit, dass er weder sprechen noch angesprochen werden will. Dies ist nicht weniger ein Kommunikationsaustausch als ein angeregtes Gespräch“, schreiben Watzlawick und seine Mitautoren in dem Klassiker der Kommunikationsliteratur, die „Menschliche Kommunikation“ (1968). Eine wahrgenommene Geste oder eine Miene sage uns mehr darüber, „wie ein anderer über uns denkt, als hundert Worte“. Doch neben dem Auge eröffnet das Ohr einen wichtigen Kommunikationskanal. Die auditive Wahr-

## Kommunikation liegt in der Luft

Bereits in der molekularbiologischen Welt wird Kommunikation gepflegt. Sie ist quasi der Klebstoff fürs Leben und damit auch allgegenwärtig.

Fotos links: Dragan Tatic, rechts: Haus der Natur



nehmung ist Studien zufolge für viele Menschen wichtiger als das Sehen. Der Hörsinn ist demnach ein entscheidendes Tor zur Welt. Er gilt nicht nur beim Menschen, sondern bei vielen Tierarten als eine Art „Fernsinn“. Denn über die Ohren können räumliche Töne, Klänge und Geräusche in unterschiedlicher Entfernung wahrgenommen und zudem richtungsgenau lokalisiert werden. Die Informationsübertragung erfolgt dabei in Form von Schwingungen.

Die Schwingungen können sich über verschiedene Medien ausbreiten: So erfolgt die Kommunikation zwischen Delphinen etwa über den Transport des Ultraschalls durchs Wasser. Die Kommunikation zwischen Computern ermöglicht elektrischer Strom. Botschaften für das menschliche Ohr werden hingegen über die Luft transportiert. Dabei produziert der Mensch beim Sprechen über die Stimmbänder Schallwellen. Sie breiten sich in der Luft unter „normalen“ Bedingungen mit einer Geschwindigkeit von rund 340 Metern pro Sekunde aus. In drei Sekunden schafft der Schall rund einen Kilometer. Das Medium bestimmt damit, wie viel „verspätet“ das Signal beim Rezipienten ankommt. Je nach Entfernung des Empfängers erreicht die Botschaft damit zeitlich versetzt sein Ohr. Wenn dabei Botschaften ganz bestimmte Ziele erreichen sollen, so kann es manchmal hilfreich sein, sich Partner zu suchen.

Schon unter den Kleinstvertretern des Lebens, den Bakterien, gilt das Motto „Gemeinsam sind wir stark“. Schwimmen die Bakterien in dem so genannten

Biofilm, ihrem Kommunikationsmedium, alleine umher, können sie viele ihrer Lebensaufgaben nicht oder nur teilweise meistern. Beim Menschen haben Studien ebenfalls gezeigt: Sollte es doch einmal zum – fast unmöglichen – Kommunikationsentzug kommen, so tritt eine Art „sozialer Tod“ ein.

Dass auch wir „auf Gedeih und Verderb von unserer Umwelt abhängen“ und sich diese Abhängigkeit mitunter auf den Informationsaustausch bezieht, beschrieb auch Watzlawick. Die Systemtheorie geht davon aus, dass alle Organismen eine Art offenes System darstellen. Jedes System erhält seine Stabilität dadurch, dass es in ständigem Austausch von Materie, Energie und Information mit seiner Umwelt steht. Das ermöglicht eine Entwicklung hin zu höherer Komplexität. Demnach sind Kommunikation und Existenz nicht voneinander zu trennen.

LENA YADLAPALLI

## Station: Kommunikationsnetze

Wie transportieren wir Signale und Botschaften?

Entwickelt von: Haus der Natur Salzburg  
[www.hausdernatur.at](http://www.hausdernatur.at)



**Weil zufriedene Kunden für uns an erster Stelle stehen, steht die Vienna Insurance Group in vielen Ländern Zentral- und Osteuropas an vorderster Stelle.**

Demmer, Merfick & Bergmann



Mehr Informationen unter [www.wienerstaedtische.at](http://www.wienerstaedtische.at)

**IHRE SORGEN MÖCHTEN WIR HABEN**

**WIENER**   
**STÄDTISCHE**  
VIENNA INSURANCE GROUP

www.erstebank.at



Nur die beste Bank gehört fast zur Familie.

**ERSTE**  **BANK**

In jeder Beziehung zählen die Menschen.

Das wirkliche Leben und das Geldleben haben einiges gemeinsam: Am wichtigsten sind Verlässlichkeit und Engagement. Grundsätze, die sich unsere Mitarbeiter besonders zu Herzen nehmen. Aber davon überzeugen Sie sich am besten selbst. Vereinbaren Sie ein Beratungsgespräch unter 05 0100 - 20111.



Als Akihiro Kusumi den Schwarzweiß-Film eines einzelnen, wie verrückt tanzenden Moleküls abspielte, ging ein Raunen durch das Publikum. Die Mehrzahl der anwesenden Zellforscher einer Fachkonferenz in Vancouver war gleichermaßen fasziniert wie skeptisch – und fragte sich: Ist es überhaupt möglich, die Bewegungen eines einzigen Moleküls auf Film zu bannen?

Der Tanz des Moleküls, den Akihiro Kusumi im Frühjahr 2004 vorstellte, sollte eine ganz bestimmte Hypothese untermauern. Der Biophysiker von der Universität Tokio ist der Urheber der „hop diffusion theory“, der zufolge ein Netz von Proteinzäunen die Zellmembran in kleine Areale unterteilt. Kusumi schlägt vor, dass diese Architektur die Bewegung der Membranmoleküle entscheidend prägt. Innerhalb der zellulären Schrebergärten mit etwa 200 Nanometern Durchmesser könnten die Moleküle frei diffundieren, an deren Grenze würden sie oft – aber nicht immer – von Absperrungen des Zellskeletts aufgehalten. Nach Kusumis Ansicht verhalten sich die beweglichen Lipide und Proteine der Zellmembran wie Schafe, die in ihrem Gatter herumtraben, bisweilen jedoch einen Energieanfall verspüren: Dann nehmen sie Anlauf – und hüpfen ins nächste Gehege.

Das Modell hat mit der Frage zu tun, wie Zellen miteinander Signale austauschen, damit die Organe des Körpers einwandfrei funktionieren. Ist dieser

Austausch gestört, können schwere Krankheiten entstehen – Krebs, Demenz und Immunerkrankungen etwa. Biologen suchen schon seit Jahrzehnten nach den Molekülen, die für die Vermittlung der vielfältigen Signale verantwortlich sind. Dabei handelt es sich um Membranproteine, die untereinander Kontaktstellen ausbilden. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass sie im Gewirr der Moleküle überhaupt zueinander finden. Wie das vor sich gehen soll, war bislang unklar.

Als Akihiro Kusumi in den 1970er-Jahren Biologie und Physik studierte, entstand gerade ein einflussreiches Modell, gegen dessen Vorherrschaft er nun ankämpft. Das „fluid mosaic model“ räumte mit der Vorstellung auf, dass Proteine außen auf der Zellmembran an einem fixen Platz sitzen würden. Tatsächlich sind sie in die Membran eingelagert und schwimmen darin – angetrieben durch die Brownsche Molekularbewegung – mit rasender Geschwindigkeit umher. Später wurde diese Vorstellung mehrfach bestätigt, ein Faktum bereitete Fachleuten allerdings Kopfzerbrechen: Die Bewegung von Proteinen in künstlich hergestellten

## Schrebergärten in der Zelle

**Proteinzäune unterteilen die Zellmembran in Nanobezirke, lautet die Hypothese eines japanischen Forschers. Auf der Suche nach Beweisen greift er nach ungewöhnlichen Hilfsmitteln: Er verwendet Kameras aus der Explosionsforschung.**

Fotos links: Ingo Pertramer, rechts: Jo Seipelt



Membranen ist offenbar um den Faktor 100 schneller als in natürlichen. In der lebenden Zelle muss irgendetwas vorhanden sein, das den Bewegungsdrang der Eiweiße einschränkt.

Um nachzuweisen, dass Verstreungen des Zellskeletts dafür verantwortlich sind, heftete Kusumi 20 Nanometer große Goldpartikel an einzelne Proteine und filmte deren Bewegung. Aufnahmen von Nierenzellen der Ratte schienen die „hop diffusion theory“ zu bestätigen, die Proteine tanzten tatsächlich wie vorausgesagt umher – agil in abgegrenzten Bezirken der Zellmembran, aber kaum beweglich über die Langstrecke (1). Das könnte auch erklären, wie das Rendez-vous jener Proteine von statten geht, die für die Zellkommunikation verantwortlich sind. Wenn die Areale des Zusammentreffens klein sind, muss man den Faktor Zufall nicht über Gebühr beanspruchen.

Versuche, das Phänomen in anderen Zelltypen nachzuweisen, scheiterten zunächst. Kusumi vermutete, dass dies an der geringen zeitlichen Auflösung seiner Kamera lag und suchte nach einem leistungsfähigeren Gerät: „Ich war überzeugt, dass es bei Explosionsforschern sehr schnelle Kameras geben müsste. Ich konnte mich etwa erinnern, dass die Beteiligten des Manhattan-Projekts ähnliche Kameras verwendet hatten.“ Nach langem Suchen fand der er ein Modell, das 40.000 Bilder pro Sekunde schießen konnte – 1.000 Mal schneller als sein bisheriges. „Wir mussten ein wenig herumbasteln, um die Kamera an unsere Mikroskope anzupassen“, berichtete Kusumi vor zwei Jahren in der

Zeitschrift „Nature“ (2). „Herumbasteln“ ist freilich ein wenig untertrieben. Tatsächlich war ein 20-köpfiges Team von Computerwissenschaftlern, Biochemikern und Physikern nötig, um die beiden Technologien zu einem Ganzen zu verschmelzen. Die Arbeit wurde belohnt: Das Team wies nach, dass nicht nur Proteine im Tanz der freien Diffusion gerne Sprünge einlegen, auch Lipide tun es – rund 100 Mal pro Sekunde (3).

„Kusumi hatte dramatischen Einfluss auf die Biophysik der Membranen“, urteilt sein Fachkollege Ken Jacobson von University of North Carolina. „Er hat die Front der Forschung gleich in mehreren Bereichen vorwärts getrieben.“

Einziger Nachteil daran: Unabhängige Bestätigungen der „hop diffusion theory“ stehen noch aus. Bislang gibt es nämlich kein weiteres Team, das Filme mit so hoher zeitlicher Auflösung machen könnte.

### ROBERT CZEPEL

(1) *Biophysical Journal*, Bd. 65, S. 2021 (2) *Nature*, Bd. 433, S. 680

(3) *Biophysical Journal*, Bd. 80, S. 738 und Bd. 86, S. 4075

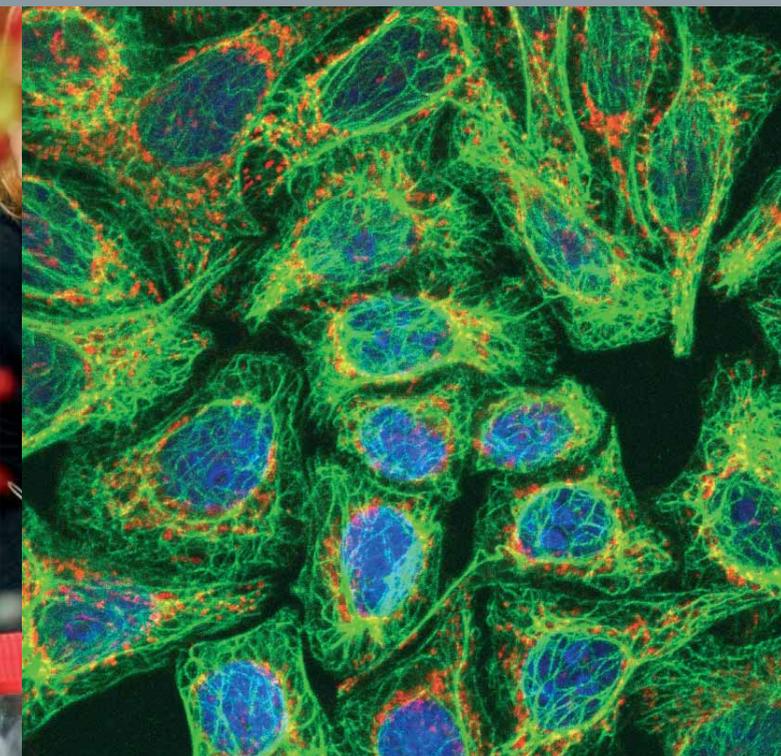
## Station: Molekulare Netze

Was gibt der Zelle inneren Halt?

Entwickelt von: Max F. Perutz Laboratories Wien  
& Hansjörg Mikesch/Szenenbild  
[www.mfpl.ac.at](http://www.mfpl.ac.at)  
[www.szenenbild.at](http://www.szenenbild.at)



MFPL **Max F. Perutz  
Laboratories**





nach den meisten Weltbevölkerungsmessungen leben seit Mai 2007 erstmals 6,6 Milliarden Menschen auf der Erde. Die UNO prognostiziert bis zum Jahre 2025 eine Weltbevölkerung von etwa 8 Mrd. und bis 2050 etwa 9,2 Milliarden Menschen (<http://esa.un.org/unpp/>). Es leben also sehr viele Menschen, in sehr vielen unterschiedlichen Gesellschaftsformen gemeinsam auf einem Planeten. Sie alle zusammen bilden eine Vielzahl an sozialen Netzwerken. Damit gesellschaftliches Leben funktionieren kann, übernehmen wir immer wieder verschiedene Rollen mit unterschiedlichen Aufgaben. Wir streben in unserem Tun meist nach sozialem Wohlbefinden, das sich einstellt, wenn soziale Kontakte subjektiv positiv eingeschätzt werden und man mit sozialer Unterstützung rechnen kann.

### „Gesunde Netze“

Die offizielle Definition von Gesundheit gemäß der Verfassung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) vom 22. Juli 1946 lautet: „Gesundheit ist ein Zustand vollkommenen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens.“ So gesehen verbessert ein starkes stützendes soziales Netz die Gesundheit. Doch was macht ein solches „soziales Netz“ aus? Sind es die familiären Bande und die Freundschaften die man pflegt? Oder die Gesamtheit an zwischenmenschlichen Beziehungen? Eines steht fest: Wenn man in ein soziales Netz eingebunden ist, das aus gegenseitigem Verständnis und gegenseitiger Verpflichtung geknüpft ist, dann ist das ein starker Schutzfaktor für die

Gesundheit. Die meisten Menschen sehnen sich nach dem Gefühl umsorgt, geachtet, geliebt, geschätzt und gebraucht zu werden. Nicht vorhandene stützende zwischenmenschliche Beziehungen können unsere Gesundheit psychisch und physisch beeinträchtigen. Soziale Ausgrenzung und Diskriminierung von Individuen oder Bevölkerungsgruppen führt zu sozialer Vereinsamung und mindert Gesundheit und Wohlbefinden.

Der Begriff „Netzwerkarmut“ bezeichnet einen solchen Mangel an sozialen Beziehungen, Aktivitäten und Kontakten. Diese Form der Armut führt auch zu einem Mangel an Gelegenheiten, Kompetenzen zu entwickeln und einzusetzen. Vorübergehend kann Netzwerkarmut z.B. wegen eines Umzugs, weg von FreundInnen und Bekannten auftreten.

Eine längerfristige Erscheinungsform kann etwa durch Sprachdefizite oder wirtschaftliche und soziale Isolation verursacht werden. Mögliche Folgen sind neben der sozialen Vereinsamung auch wirtschaftliche Armut und Arbeitslosigkeit.

## Soziales Wohlbefinden in einer kleinen Welt

**Laut WHO zählt nicht nur das körperliche und psychische, sondern auch das soziale Wohlbefinden zu den drei Komponenten die Gesundheit ausmachen. Wie wirkt sich „Netzwerkarmut“ auf den Menschen aus und was steckt hinter der Theorie, dass jeder jeden über sechs Ecken kennt?**

Fotos Barbara Streicher



Das Netzwerkspiel wird über 17 Bodentaster interaktiv gesteuert. Die Software erkennt welche Taster eine gültige Netzwerkverbindung ergeben, baut dann mittels Computergrafik und Computeranimation die richtigen Verbindungen auf und projiziert diese auf den Boden.

**Wenn Tassen fliegen und aufgefangen werden...**

Es gibt unterschiedliche soziale Netze. Das Netzspiel, das vom Grazer Kindermuseum FRida und FreD mit der FH Joanneum entwickelt worden ist, ermöglicht das metaphorische Kennenlernen einiger Funktionen sozialer Netze. Durch das Betreten von Bodentastern können mehrere MitspielerInnen gemeinsam Linien aktivieren, die auf den Fußboden projiziert werden und so Netze spannen. Diese projizierten Netze beinhalten Symbole, die auf die mannigfachen Aufgaben sozialer Netze hinweisen. So werden mittels der aktivierten Netzwerklinien Sonnenstrahlen gelenkt und ein Feuer der Freundschaft entzündet, das für menschliche Wärme und Partnerschaft steht. Ein Steg, der nur hält, wenn mehrere MitspielerInnen das Netz aktivieren, steht für Integration und eine Tasse, die ohne das auffangende Netz zerbricht, für Sicherheit. Doch auch die Kehrseiten sozialer Netzwerke werden thematisiert. In einer Spielversion bildet das Netz einen Käfig, in dem ein Schmetterling gefangen ist und symbolisiert auch diese Eigenschaft eines sozialen Netzes: es kann einengen und Freiheit nehmen. In der wissenschaftlichen Forschung spielen soziale Netzwerke unter anderem in der Ethnologie, Soziologie, Sozialpsychologie, Kommunikationswissenschaft, Computerphysik und Spieltheorie eine zunehmend wichtige Rolle. Die dort entwickelten Verfahren können auch zur Untersuchung des Internets eingesetzt werden (Webometrie). Es zeigt sich, dass soziale Netzwerke von ihrer Struktur her oft „Small-World-Netzwerke“ bilden, in denen die maximale Distanz zwischen einzelnen Einheiten überraschend gering ist.

Das Small-World-Experiment, das der US-amerikanische Psychologe Stanley Milgram bereits 1967 durchführte, erlangte einige Popularität. Dabei sollten 300 Versuchsteilnehmer aus dem mittleren Westen der USA ein Päckchen an eine ihnen unbekannte Zielperson in der Umgebung von Boston schicken. Sie durften das Päckchen aber nur an ihnen bekannte Personen weiterschicken. Falls sie ihre Aufgabe nicht direkt erledigen konnten, sollten sie die Sendung an einen Bekannten weiterreichen, der die Zielperson ihrer Meinung nach kennen könnte. Dabei hatte Milgram entdeckt, dass in der Regel sechs Zwischenstationen ausreichen, um die Päckchen vom Absender zum Empfänger zu liefern. Daraus entwickelte er die Theorie, dass die Mitglieder eines sozialen Netzwerks maximal über sechs Knotenpunkte miteinander in Verbindung stehen. So wird die Welt ziemlich klein – auch für 6,6 Milliarden Menschen – aber hoffentlich nicht eng.

JERNETTE MUELLER

**Station: Netzspiel**

*Welche Netze können wir nur gemeinsam knüpfen?*

Entwickelt von:

Kindermuseum Graz & FH Joanneum

Im Auftrag des Land Steiermark – Kultur für die Landesausstellung 2006

[www.fridaundfred.at](http://www.fridaundfred.at)

<http://dmt.fh-joanneum.at/>



**FH JOANNEUM**

INFORMATIONSMANAGEMENT

Das Grazer **FRida & FreD** Kindermuseum



s beginnt mit einem einzelnen Faden. Zwei vertikale Objekte – einen Ast, einen Grashalm oder ähnliches – braucht die Gartenspinne, um diesen ersten Faden zu befestigen. So ist die Spinne in dieser ersten Etappe auf die Hilfe der Natur angewiesen. Und diese Anknüpfungspunkte müssen sorgfältig gewählt sein – scheinbar verlässt sich das Tier dabei auf ihr Glück. Ein bis drei Stunden später ist das Netz fertig.

Nur bestimmte Spinnen, die so genannten Webspinnen, spinnen ein Netz. Meist bauen sie es frühmorgens, um tagsüber auf Beute zu warten. Die wohl bekannteste Bauform ist das Radnetz, welches eine optimale Fangfläche bietet. Zur Erzeugung der Spinnenseide besitzt das Lebewesen der Klasse der Spinnentiere oder Arachnida – wohlgermerkt kein Insekt – einen ausgeklügelten Apparat. Die Spinnwarzen sitzen am Hinterleib der Gliederfüßer, darauf befinden sich die mikroskopisch kleinen Spinnspulen. Das sind die Ausgänge der Spinnrüsen, von welchen es im Durchschnitt vier bis sechs unterschiedliche Typen gibt. Je nach Säuregrad variieren die Eigenschaften der Seide.

Streng genommen spinnen Spinnen nicht, sondern pressen aus den Drüsen die gelähnliche Seidenflüssigkeit, welche sich in der Luft verfestigt. Die so produzierten Fäden bestehen in der Regel aus einer Vielzahl von Einzelsträngen, die miteinander verdreht sind. Die Sorten erfüllen unterschiedliche Aufgaben: stabile Fäden für Sicherungsfaden und Grundgerüst, elastische Fäden für die

Achsen oder Klebefäden für den Beutefang. Ist der erste Quersfaden zwischen zwei Punkten einmal gespannt, strafft ihn die Gartenspinne, zieht einen zweiten zwischen den Befestigungspunkten und seilt sich davon mittig ab. Danach spannt sie auch diesen und das Grundgerüst aus stabilen Fäden in der Form eines Ypsilons ist fertig. Am äußeren Rand wird ein Rahmen gezogen, um die Netzfläche zu vergrößern. Als nächstes kommen die Speichen: Die Spinne zieht dabei lose und elastische Fäden von der Mitte und läuft damit auf den bereits vorhandenen Achsen zum Rand. Zuletzt werden die Querverbindungen gesponnen: Beginnend im Zentrum zieht der Achtbeiner einen Faden spiralförmig zwischen den Speichen bis zum äußeren Rand. In den äußeren zwei Drittel dieser Spirale wird ein klebriger Faden verwendet, die eigentliche Falle für Beute.

Das fertige Spinnennetz darf nicht so dünn sein, das es bei einem anfliegenden Insekt reißt. Gleichzeitig muss es filigran genug sein, um das Vibrieren von Beute zu melden. Der Tastsinn ist nämlich das wichtigste Wahrnehmungsinstrument des kleinen Lebewesens.

## Im Netz der Spinne

Filigran und zerbrechlich wirken die hauchdünnen Netze von Spinnen – eine Handbewegung reicht, um sie zu zerstören. Dabei übertrifft ihre Seide an Reißfestigkeit und Belastbarkeit jedes von Menschenhand hergestellte Material.

Fotos links: Dragan Tatic, rechts: Ingo Pertramer



So erkennt es etwa an der Art der Schwingung, ob es sich um einen potentiellen Partner oder um ein Opfer handelt.

Wie schafft es die Spinnenseide, die sich widersprechenden Anforderungen zu erfüllen? Immerhin ist der seidene Faden nur wenige Mikrometer dick. Sobald das in den Spinnrüsen gebildete Fadensekret in die Luft kommt, erstarrt es und bildet einen Strang, der fünfmal fester als ein Stahlstrang der gleichen Dicke ist, aber um bis zu 30 Prozent seiner Länge gedehnt werden kann ohne zu reißen. Die Spinnlösung ist ursprünglich weder flüssig noch fest. Sie verhält sich ähnlich wie Hühnereiweiß oder Fensterkitt, deren Materialität durch eine Umordnung der Molekülstruktur von zähflüssig zu fest wechselt.

Chemisch betrachtet handelt es sich bei der Substanz um Proteinketten. Teile des Fadens bestehen aus winzigen Strukturen mit den Eigenschaften von Kristallen, diese sorgen für die Festigkeit. Zwischen diesen nur wenige Nanometer großen „Kristalliten“ befinden sich amorphe Regionen mit gummiartigen Eigenschaften. Die Anordnung der Molekülketten ähnelt so einer Ziehharmonika, die auf- und zugefaltet werden kann. Dadurch wird der Faden dehnbar. Zuckermoleküle auf der Oberfläche halten zusätzlich Feuchtigkeit und machen das Material geschmeidig. So übertrifft der „Bio-Stahl“ sämtliche High-Tech-Materialien an Dehnbarkeit und Reißfestigkeit. Aus dem Faden ließen sich kugelsichere Westen, robuste Fallschirmseile, künstliche Sehnen oder

Bänder erzeugen, doch leider ist das Naturprodukt Mangelware und in Laboren produzieren die kannibalisch veranlagten Spinnen nur sehr wenig Seide. Materialwissenschaftler arbeiten seit Jahren daran, künstliche Fasern mit ähnlichen Qualitäten herzustellen. Doch noch sind nicht alle biochemischen Prozesse für eine erfolgreiche Imitation des Materials durchschaut.

Die Spinne selbst arbeitet außerdem „nachhaltig“: Die Reste ihres Netzes frisst sie einfach auf. Dabei wird die Seide nicht völlig verdaut, sondern zum Teil direkt absorbiert, um keine Körperproteine zu verschwenden. Also bevor wir das nächste Mal leichtfertig ein Netz zerstören – sollten wir daran denken, dass dieses nicht nur in seiner Form, sondern auch in seiner Beschaffenheit ein kleines Meisterwerk der Natur darstellt.

EVA OBERMUELLER

## Station: Spinnennetze

*Wie fein ist der Faden,  
wie stark ist das Netz?*

Entwickelt von: Junge Uni Innsbruck  
[www.uibk.ac.at/jungeuni/](http://www.uibk.ac.at/jungeuni/)





Als der deutsche Chemiker Friedlieb Runge (1794–1867) einmal Chemikalienlösungen auf saugfähiges Papier tropfte, betrachtete er fasziniert die dabei entstehenden Formen und Farbverläufe. Wie von Geisterhand gemalt erschienen Runge die vielfältigen und dennoch regelmäßigen Muster auf dem Papier, weswegen er meinte, eine bisher unbekannte Kraft entdeckt zu haben. Den „Bildungstrieb der Stoffe“ nannte er sie in einem 1855 veröffentlichten Buch, wo es heißt: „Diese neue ... Kraft wird nicht durch ein Äußeres angefacht, sondern wohnt den Stoffen inne.“ Und an anderer Stelle: „Sie ist das Vorbild der in den Pflanzen und Tieren tätigen Lebenskraft.“

Die Nachwelt nahm das von Runge entdeckte Verfahren dankend entgegen (man nennt es heute Papierchromatographie) und schwieg mit Nachsicht über seine Ausflüge in das Reich der Esoterik. An übernatürliche Prinzipien wie eine Lebens- oder Bildungskraft glaubt man freilich nicht mehr, eines jedoch ist uns aus Runge's Zeit erhalten geblieben: Auch heute noch ernten Experimentatoren Erstaunen, wenn sie Menschen mit der Fähigkeit der Materie zur spontanen Musterbildung konfrontieren.

Der Physiker Josef Greiner hat Erfahrung mit solchen Dingen. Er entwickelt in seinem Wiener Atelier Versuche, die Physik einmal anders darstellen. Nämlich als sinnliche Disziplin, in der es nicht nur um abstrakte Berechnungen geht, sondern auch um den Reichtum der natürlichen Formen. Eines der Experimente,

das Greiner bei der Wanderausstellung des Science Center Netzwerks zeigt, ist die so genannte Bénard-Konvektion. Dazu braucht es lediglich eine flache, mit Wasser oder Öl gefüllte Metallschale und einige Teelichter. Greiner versetzt die Flüssigkeit meist noch mit Aluminiumpulver, damit die Flüssigkeitsströmungen besser sichtbar werden, aber im Prinzip funktioniert das Experiment auch ohne Pulver.

Zündet man nun die Teelichter an und stellt sie unter die Schale, entstehen nach einiger Zeit viele kleine walzenförmige Strukturen in der Flüssigkeit, die sich abwechselnd nach links oder nach rechts drehen. Von oben betrachtet bilden die Walzen spontan ein sechseckiges Muster aus, das an Bienenwaben erinnert. „Besonders Kinder reagieren auf diese Muster häufig mit Assoziationen“, sagt Greiner. „Das sieht ja aus wie Krokodilhaut!“ sei etwa ein Satz, den er immer wieder zu hören bekomme.

Verblüffung ruft bei den Zuschauern folgender Eingriff aus. „Man kann die Wabenzellen kurzfristig zerstören, wenn man die Flüssigkeit mit einem Stab umrührt. Und man kann sie ganz zum Verschwinden bringen, sofern

## Inseln der Ordnung

**Erst Angreifen, dann Begreifen – die Wanderausstellung des Science Center Netzwerks präsentiert Physik einmal anders: anschaulich und ohne Formeln.**

Fotos Ingo Pertramer



Literaturtipps:  
Ilya Prigogine & Isabelle Stengers:  
*Dialog mit der Natur*, Piper 1990  
Grégoire Nicolis & Ilya Prigogine:  
*Die Erforschung des Komplexen*,  
Piper 1987

man die Teelichter ausbläst. Zündet man die Teelichter wieder an und überlässt das System sich selbst, entstehen sie erneut. Sie kommen immer wieder. Das erstaunt die Leute“, so Greiner.

Physikalisch betrachtet sind die nach ihrem Entdecker Henri Bénard benannten Walzen nichts anderes als Strömungen, die sich im Zuge der Wärmeleitung einstellen. Konvektion nennen das die Physiker. Wer die Augen offen hält, wird auch in ganz anderen Bereichen Konvektionen entdecken: Das Wetter, die Plattentektonik der Erde, ja selbst das Verhalten der Sterne hängt maßgeblich von diesem Phänomen ab, Konvektion ist überall, wo wir es mit Flüssigkeiten und Gasen zu tun haben. Einzige Voraussetzung: Es müssen nennenswerte Wärmedifferenzen im System bestehen.

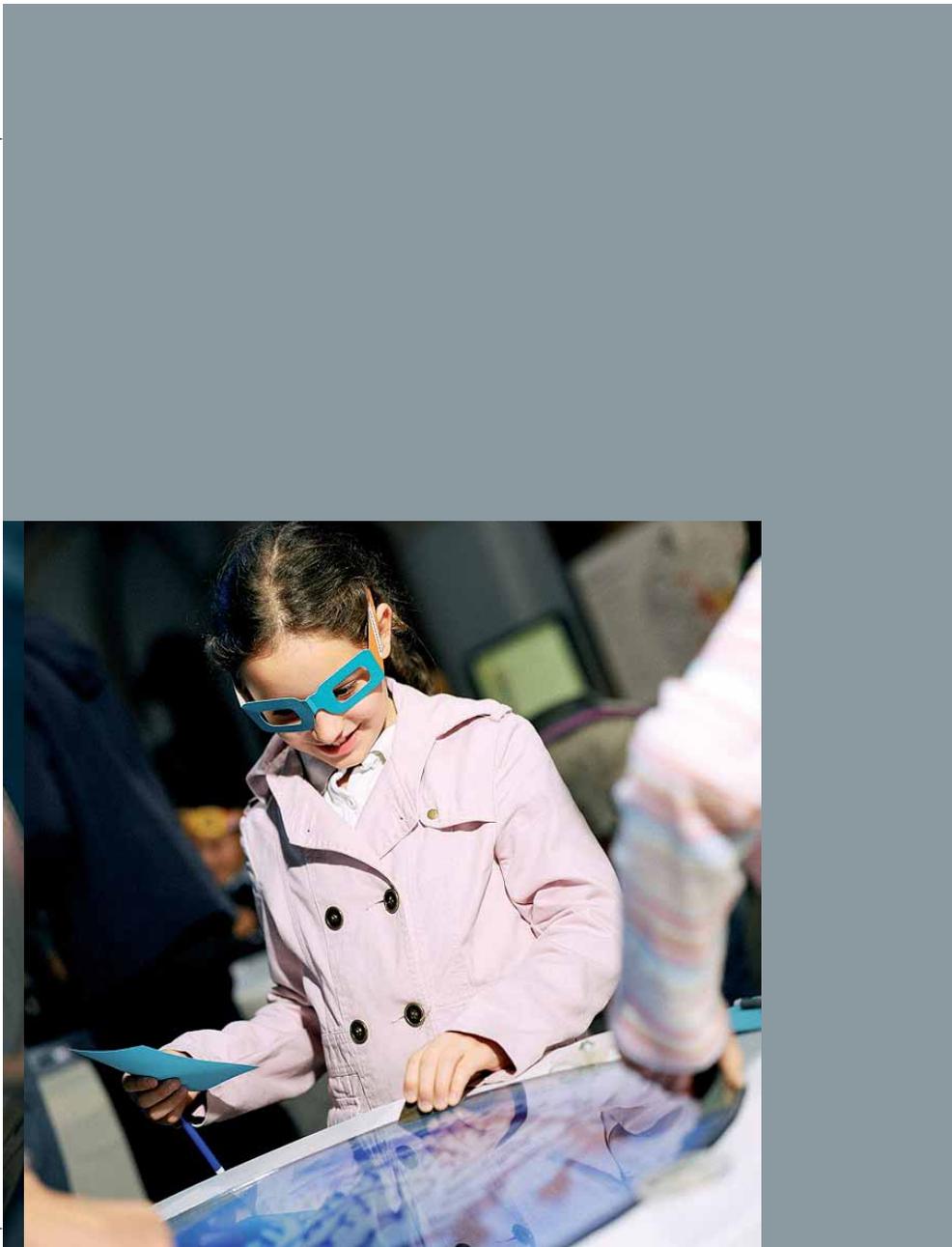
Interessant an der Bénard-Konvention ist, dass aus den zunächst zufälligen Bewegungen der Wassermoleküle schlagartig koordinierte Bewegungen über große Distanzen entstehen – geradezu so, als würden sie plötzlich zusammenarbeiten um Ordnung in das molekulare Chaos zu bringen. Ist das nicht ein Widerspruch zum so genannten Entropiesatz der Wärmelehre, demzufolge Ordnung immer in Unordnung übergeht, aber nicht umgekehrt?

„Fragen wie diese stellen unsere Besucher eher selten“, sagt Josef Greiner. „Wenn sie auftauchen, entstehen dafür immer interessante Diskussionen. Ich versuche allerdings mit physikalischen Erläuterungen möglichst sparsam umzugehen. Die Gefahr dabei ist nämlich, dass sie schnell autoritär wirken. Wir hingegen wollen die Physik gewissermaßen demokratisch betreiben.

Mein vorrangiges Ziel ist es, dass die Besucher Neugierde entwickeln und sich den Versuchen möglichst unbefangenen nähern.“ Physik zum Angreifen eben.

Mit der Antwort wollen wir dennoch nicht hinterm Berg halten: Nein, die Bénard-Konvektion widerspricht der Wärmelehre nicht. Zum einen ist der berühmte Entropiesatz in diesem Fall nur bedingt zuständig, weil er streng genommen nur für abgeschlossene Systeme gilt. Der Nobelpreisträger Ilya Prigogine und andere haben in den 1960er-Jahren gezeigt, dass die Bénard'schen Walzen nur ein Beispiel für ein übergeordnetes Organisationsprinzip sind. Wann immer Energie durch Systeme gepumpt wird, können Inseln der Ordnung entstehen. Das ist thermodynamisch nicht nur erlaubt, sondern sogar der Regelfall, besagt das von Prigogine und Co. entwickelte Konzept mit höchst autoritätsverdächtigem Namen: die „Theorie dissipativer Systeme“.

ROBERT CZEPEL



## Station: Netzstrukturen

Welche Netze entstehen durch physikalische Prozesse?

Entwickelt von: Experimentierwerkstatt Wien  
[www.experimentier.com](http://www.experimentier.com)



**EXPERIMENTIER**  
WERKSTATT WIEN

Ausstellung zum Angreifen, Eingreifen und Begreifen  
[www.experimentier.com](http://www.experimentier.com)



# e-Voting

**Elektronische Netze für  
demokratische Mitbestimmung**

## Wählen mit der Maus

### Bequeme Wahl

In vielen Demokratien wird am Wahlrecht gebastelt. Der Grund dafür heißt e-Voting. Der Computer soll dem mobilen Bürger im Zeitalter sinkender Wahlbeteiligungen als Wahlhelfer zur Seite stehen und die Ausübung des Wahlrechts auch abseits der klassischen Wahlurne schnell und leicht ermöglichen.

### Neue Gefahren

Die Stimmabgabe ist jedoch der intimste Akt der Demokratie, und Computer haben oft genug bewiesen, wie schlecht sie Geheimnisse bewahren können. Wahlen müssen geheim bleiben, und Wahlergebnisse dürfen nicht manipuliert werden. Sonst lauert hinter Komfort und Kostenersparnis, welche das elektronische Wählen verspricht, eine neue Bedrohung der Demokratie. In vielen demokratischen Ländern sind e-Voting-Systeme bereits im Einsatz. Immer wieder werden Zweifel an ihrer Zuverlässigkeit artikuliert. Vor allem Wahlmaschinen stehen im Mittelpunkt der Kritik.

### Wahlrechts-Reform mit e-Voting

Mit der Wahlrechtsreform 2007 wurde die Einführung der Briefwahl beschlossen (für alle Wahlen mit Ausnahme von EU-Wahlen) und die Regierung aufgefordert, die Vorbereitung für elektronisches Wählen fortzusetzen. Einzelne Politiker nannten die Wahlen der Österreichischen Hochschülerschaft und der Kammern als Kandidaten für den Einsatz von e-Voting.

### Erfolgreiche Testwahlen

In Österreich hat man sich dem Thema bisher vorsichtig genähert. In drei erfolgreich durchgeführten Testwahlen wurde die Stimmabgabe aus der Distanz über das Internet geprobt. Wahlmaschinen sind in der österreichischen Diskussion kein Thema: Bis jetzt haben sich weder Experten noch Politiker für ihre Einführung ausgesprochen.



Bei der elektronischen Stimmabgabe kann man grundsätzlich zwei Arten von Systemen unterscheiden: Wahlterminals, die in der Wahlzelle aufgestellt werden und die Stimmabgabe über das Internet. Wahlterminals besitzen nur einen begrenzten Mehrwert für den Wähler, man muss ja immer noch ins Wahllokal. Die Stimmabgabe über das Internet (e-Voting) hingegen bedeutet Unabhängigkeit von Zeit und Raum, z.B. vom Ausland aus oder bei Wahlen, bei denen nur wenige Wahllokale unter der Woche geöffnet werden oder bei Wahlen, die bereits heute als reine Briefwahl stattfinden. Dies ist v.a. für Berufs- und Standesvertretungen interessant und so haben auch Wirtschaftskammer und Hochschülerschaft bereits heute die gesetzliche Grundlage für e-Voting.

### Sicherheit ist dabei das zentrale Anliegen, was heißt das aber konkret?

Ausgehend von den Wahlrechtsgrundsätzen lassen sich folgende zentrale Anforderungen aufstellen:

- Sicherung des Stimmgeheimnisses: niemand, auch nicht die Serveradministration des Wahlsystems, darf Stimme und Wählenden zusammenführen können.
- Sicherung gegen Manipulation: ausschließlich die jeweilige Wahlkommission hat Zugang zu den Wahldaten und nur sie kann in einem gemeinschaftlichen Akt die elektronische Urne öffnen und das Ergebnis ermitteln.
- Nachvollziehbarkeit: Alle Vorgänge – außer natürlich wer welche Stimme abgegeben hat – müssen nachvollziehbar sein; außerdem sollte die eingesetzte Software von einer anerkannten Prüfinstitution getestet und zertifiziert sein.
- Es muss sichergestellt werden, dass – egal über welchen Kanal – ein Wählender nur einmal die Stimme abgeben kann.

Die Forschungsgruppe e-voting.at von Prof. Alexander Prosser an der Wirtschaftsuniversität Wien beschäftigt sich bereits seit dem Jahr 2000 mit elektronischen Wahlen und hat 2003 und 2004 unverbindliche Wahltests durchgeführt. 2006 wurde gemeinsam mit der Wiener Zeitung ein Wahltest durchgeführt (<http://e-voting2006.at>), der wertvolle Erkenntnisse v.a. in der Usability und der operativen Abwicklung elektronischer Abstimmungen brachte.

### Wie aber verhält es sich mit der Akzeptanz der möglichen Anwender?

Die selbe Forschungsgruppe führte eine Repräsentativumfrage unter der Wiener Bevölkerung (300 Personen) durch. Dabei zeigten 44% der Antwortenden (starkes) Interesse am e-Voting, hingegen nur 14% an politischer Diskussion über das Internet. Das Interesse am e-Voting ist dabei unabhängig von Geschlecht und Bildungsniveau und nimmt erst ab einem Alter von 50 Jahren ab. Gegenwärtig wird die Studie in Kooperation mit der Wiener Zeitung österreichweit mit einem Sample von 1500 Personen wiederholt.



Am 27. / 28. 9. 2007 findet an der Wirtschaftsuniversität Wien eine von der Österreichischen Computergesellschaft veranstaltete Tagung zum Thema „elektronische Demokratie in Österreich“ statt, bei der die Wiener Zeitung ein Hauptsponsor ist (s. <http://edem2007.ocg.at>). Dabei sollen konkrete Erfahrungen ausgetauscht und Wissen über Systeme zur elektronischen Demokratie weitergegeben werden.

WIENER ZEITUNG .at



BEREIT

**S**oziale Netzwerke zeichnen sich durch hohe Komplexität aus. Auch wenn wir uns noch so anstrengen, es wird uns nie ganz klar sein, warum andere Menschen gerade so und nicht anders handeln. Und es wird uns schwer gelingen, alle Auswirkungen unseres eigenen Handelns zu überblicken. Verständlicherweise unternehmen wir Menschen größte Anstrengungen Komplexität zu reduzieren und Unsicherheit zu minimieren, indem wir forschen und berechnen, lernen und vertrauen, messen und beschreiben. Unsere Beziehungen bestimmen weitgehend darüber, wie wir uns fühlen, was wir erleben, was wir sind und wer wir sind. Sowohl in unseren Freundschaften, in unseren Partnerschaften, als auch unserem Berufsleben sind wir von Beziehungsnetzen geprägt. Aus ihnen beziehen wir Informationen, auf deren Basis wir Entscheidungen treffen und unser Leben gestalten. Interessanterweise ist der Informationsfluss in Netzwerken vor allem dann hoch, wenn Personen aus unterschiedlichen Bereichen einbezogen werden. Netzwerke ermöglichen über diese heterogene Zusammensetzung von AkteurInnen eine Synthese zwischen verschiedenen sozialen Kontexten wie etwa Wissenschaft, Wirtschaft oder Politik. Dem Vorteil der Heterogenität gegenüber steht jedoch die Erkenntnis, dass die Entstehung und der Fortbestand von Netzwerken auf Vertrauen basiert und dieses umso höher ist, je ähnlicher sich die Beteiligten sind und je eher sie einen gemeinsamen Erfahrungshintergrund aufweisen. Dem Aufbau von Vertrauen zwischen heterogenen AkteurInnen kommt also eine wichtige Rolle zu.

### Zusammenspiel

Ein Spiel mit einer sehr simplen Vorgabe, das dennoch die Komplexität und Dynamik unserer sozialen Netzwerke aufzeigt, geht so: In einer Gruppe von mindestens fünf Personen, sucht sich jede/r im Geheimen zwei Personen aus und bewegt sich nun so, dass sie/er zu beiden den gleichen Abstand hält. Dabei wird konkret erlebbar, dass wir uns ständig bewegen und verändern müssen. Wir bemerken, dass unsere Bewegungen an die anderer MitspielerInnen bzw. Netzwerk-AkteurInnen gekoppelt ist. Wer und wo auch immer wir sind: wir werden von anderen bewegt – und wir bewegen andere.

### Mutige Pinguine und die Schattenseiten von Netzwerken

Theorien und Erkenntnisse über soziale Netzwerke formulieren sich beispielsweise in der „Weak-Link Theorie“, die besagt, dass es gerade die Kombination aus starken und schwachen Bindungen einer AkteurIn ist, die ihr/sein Sozialkapital ausmacht. Das heißt, dass auch lose Beziehungen zu anderen Menschen sehr wertvoll sein können. Gerade von Personen, die nicht

# Komplexität ohne Komplexe

**Soziale Netzwerke sind dynamische Systeme – Interaktionen der AkteurInnen beeinflussen nicht nur die Machtverhältnisse, sondern die Veränderungen fallen auch wieder auf die einzelnen AkteurInnen zurück.**

Fotos Jeanette Müller



Um Netzwerktheorien, die mit Hilfe der Ausstellungsstation praktisch erfahrbar werden, bildlich darzustellen, wurden diese von Jeanette Müller gemeinsam mit der Regenbogenvolksschule Wien 2 (Klasse 4 B, 2006) in popkulturelle Codes transformiert und als Graffitis gesprayed.

„zum engsten Kreis“ gehören, erhalten wir manchmal besonders brauchbare Informationen und Anregungen. Eine Theorie die sich „Pinguin-Effekt“ nennt, entführt unsere Vorstellungskraft in die Kälte, denn der Pinguin-Effekt leitet sich aus dem angeblichen Verhalten von hungrigen Pinguinen ab, die auf einer Eisscholle verharren, anstatt ins Wasser zu springen und nach Nahrung zu suchen, weil sie sich vor potenziellen Fressfeinden fürchten. Der einzelne Pinguin weiß nicht, ob sich tatsächlich Feinde im Wasser befinden. Sobald jedoch der erste den Sprung ins Wasser wagt, werden ihm alle folgen, womit der Auslöser für den Pinguin-Effekt gegeben ist. Er besagt, dass frühe NutzerInnen aus einem Netzwerk nur einen geringen Nutzen ziehen, weil noch nicht genügend andere daran beteiligt sind. Der Nutzen an einem Netzwerk wächst, wenn dessen „Nutzerzahl“ größer wird. Ab einer kritischen Masse steigt diese exponentiell an (Netzwerkeffekt).

Soziologische Netzwerktheorien betrachten Personen und kollektive AkteurInnen (z.B. Institutionen, Unternehmen) nicht als soziale Inseln, die vornehmlich durch eine Reihe spezifischer Merkmale charakterisiert sind, sondern als AkteurInnen, die mit anderen AkteurInnen interagieren und von diesen Interaktionsmustern beeinflusst werden. Das heisst, dass es sehr wichtig ist, was sich zwischen Menschen (oder zwischen Gruppen von Menschen) oder Organisationen abspielt. Denn das beeinflusst auch die Menschen oder Organisationen selbst. In der Systemtheorie wird beschrieben, dass das Ganze

mehr als die Summe seiner Teile ist. Das bedeutet, dass man gemeinsam mehr erreicht, als es alle einzeln könnten, wenn man ihre Möglichkeiten zusammenzählt. Ein problematisches Beispiel für ein Netzwerk, das diese Theorie umsetzt und nutzt ist ein Terrornetzwerk, das sich, wie beispielsweise Al-Qaida, über einen starken sozialen Zusammenhalt definiert. Dieser Zusammenhalt sollte jedoch nicht darüber hinweg täuschen, dass soziale Netze auch hierarchisch aufgebaut sein können, sie sind nicht unbedingt ein gleichmäßiges Geflecht gleichstarker, gleichgewichtiger AkteurInnen.

Auch in Netzwerken gibt es Hierarchien und Machtkonzentrationen bzw. -verhältnisse. Netzwerke beschreiben also auch Abhängigkeiten.

JEANNETTE MUELLER

## Station: Soziale Netzwerke

Wie beeinflussen wir einander in sozialen Beziehungen?

Entwickelt von:

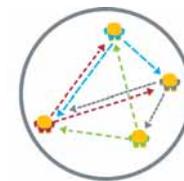
Jeanette Müller & Wissenschaftszentrum Wien,

q-net & Iris Meyer

Das Spiel wurde durch die Arbeit von Joanna Macy inspiriert.

[www.q-net.or.at](http://www.q-net.or.at)

[www.wzw.at](http://www.wzw.at)



**WZwien**  
Wissenschaftszentrum für Wien





Das „mentale Lexikon“ ist der Langzeitspeicher für Worte und ihre Bedeutungen. Dort sind bei einem Erwachsenen im Schnitt 50.000 Worte abgelegt. Rund drei Wörter können dabei pro Sekunde verarbeitet werden. Aber wie „durchblättert“ das Gehirn in so kurzer Zeit das eigene Nachschlagewerk? Auf der Suche nach einem Fremdwort im Wörterbuch braucht es jedenfalls eine ganze Weile, bis die richtige Seite und Zeile gefunden worden ist. Doch auf die alphabetische Ordnung pfeift das Gehirn, es setzt vielmehr auf die Effizienz von „Networking“.

Netzwerkknoten sind dabei Begriffe oder Konzepte, die sich jeder Mensch von etwas bildet. Mit dem „Vogel“ assoziiert das Individuum „Federn“, „Flügel“, „Würmer“ und „Bäume“. Denn: Vögel fliegen mit Flügeln, ihre Flügel bestehen aus Federn, Vögel fressen Würmer und sie bauen ihre Nester in Bäumen. Über Assoziationen können Begriffe über ihre Wortbedeutung miteinander verbunden werden. Sie stehen in Beziehung zueinander.

Dass konzeptuelles Wissen im menschlichen Gehirn über Netzwerke festgehalten wird, vermutete bereits M. Ross Quillian Mitte der 1960er-Jahre. Der Sprachwissenschaftler entwickelte ein assoziatives Netzwerkmodell des Gedächtnisses. „Semantische Netze“ – als mentales Ordnungsprinzip für Bedeutungszusammenhänge – machten es seiner Meinung nach möglich, dass das Gehirn so schnell arbeitet. Damit konnten in der Wortbedeutung verwand-

te und gemeinsam assoziierte Begriffe wie zum Beispiel „Mutter“ und „Vater“ höchst effizient im Netz gefunden werden, obwohl sie sich syntaktisch komplett unterscheiden.

Dass im mentalen Netzwerk Hierarchien eine Rolle spielen, belegte Quillian 1969 in Zusammenarbeit mit dem Kognitionspsychologen Allan Collins. Ihre Versuchspersonen sollten so schnell wie möglich vorgelegte Sätze als richtig oder falsch beurteilen. „Ein Kanarienvogel kann singen“ – diesen Satz bestätigten die Probanden etwa in 1210 Millisekunden. Doch sie benötigten rund 300 Millisekunden länger für ein „Ja“, dass der Kanarienvogel auch Haut hat. Denn das Merkmal „Haut“ schreibt man eher dem Begriff „Tier“ zu – unter das aber natürlich der Kanarienvogel fällt. So sahen sich die Wissenschaftler in ihrer Annahme bestätigt, dass es gewisse Hierarchieebenen gibt: Je weiter entfernt eine Eigenschaft von einem Begriff abgespeichert ist, desto länger dauert es, dass ein Zusammenhang hergestellt wird. Das klingt plausibel, ist in Wirklichkeit aber noch viel komplizierter. Heute weiß

## Navigation durch die Landschaften des Wissens

Das Gehirn hält in seinem Haushalt eine ganz eigene Ordnung. Es sortiert Wissen nicht von A bis Z, sondern setzt auf eine höchst effiziente Netzwerkstruktur beim Abrufen von Begriffen und ihren Eigenschaften – mit Vorbildfunktion für visualisierte und digitale Wissenswelten.

Foto Barbara Smrzka



man beispielsweise auch, dass die assoziativen Verknüpfungen und die Netzwerkstruktur u.a. davon abhängen, wie häufig man bestimmten Dingen in der Wirklichkeit begegnet.

Die Effizienz von semantischen Netzen ist Informatikern bereits länger bekannt. Sie entwickelten daraufhin semantische Technologien. Diese ermöglichen es heute schon in Ansätzen, der steigenden Datenflut Herr zu werden. Die Vision eines „Semantic Web“ kursiert seit rund zehn Jahren und geht auf den WWW-Begründer Tim Berners-Lee zurück. Seine Idee ist „ein Ausbau des aktuellen Webs, in dem Informationen eine wohl definierte Bedeutung gegeben wird, die es Computern und Menschen ermöglicht besser zusammenzuarbeiten“. Maschinen sollen die Bedeutung von Informationen „verstehen“ und daher auch gezielter finden können. So könnte etwa zukünftig der Computer zum persönlichen Reiseplaner werden und das kostengünstigste Urlaubsangebot – Flug, Mietwagen, Hotel, etc. – mit nur wenigen Informationen treffsicher aus dem World Wide Web fischen.

Semantische Netze können Wissen sehr übersichtlich visualisieren – auch wenn das abgebildete Wissen natürlich immer nur einen Teil des ursprünglichen Wissens darstellt. Streng formal gesehen ist ein semantisches Netz ein gerichteter Graph. Die einzelnen „Knoten“ des Graphen stellen Begriffe dar, die „Kanten“ hingegen Beziehungen zwischen den Begriffen. Die daraus entstehen-

den „Wissensnetze“ werden etwa im Bereich der Künstlichen Intelligenz sowie beim Wissensmanagement gerne genutzt, um Wissen strukturiert darzustellen. „Wissens(land)karten“ auf der Basis von semantischen Netzen können zum Beispiel zeigen, welches Wissen wo und in welcher Ausprägung in einer Firma vorhanden ist.

Die Kartographisierung von Wissen schafft auch Transparenz. Sie hilft bei der Navigation durch die „Wissenslandschaften“. Mit dem Internet haben sich neue Möglichkeiten ergeben, Netzstrukturen graphisch-interaktiv anzubieten. So kann jeder Einzelne etwa über die „Wiki“-Technologie selbst „Landkarten des Wissens“ mitgestalten – sei es in textlicher Form oder als Einträge in Land- und Straßenkarten. Die Wissensnetze werden dabei ständig erweitert und verfeinert.

LENA YADLAPALLI

## Station: Wissensnetze

Wie lassen sich Informationen ordnen?

Präsentiert von: Ars Electronica Center –  
Museum der Zukunft Linz  
Entwickelt von: WikiMap Linz: Ars Electronica  
Futurelab, im Rahmen der Initiative Hotspot Linz  
Europäische Gedankenlandschaft: Dietmar  
Offenhuber, Statistiken EUROSTAT  
[www.aec.at](http://www.aec.at)  
[www.aec.at/wikimap](http://www.aec.at/wikimap)



ARS ELECTRONICA



Mammutbäume sind die Giganten des Pflanzenreichs. Die immergrünen Vertreter der Art *Sequoia sempervivens*, die u.a. in den Küstengebirgswäldern Kaliforniens und Oregons wachsen, können 3.000 Jahre alt und mehr als 100 Meter hoch werden – das entspricht etwa einem dreistöckigen Hochhaus.

Im Gegensatz zum Bluttransport bei Tieren haben Pflanzen keine muskulösen Pumpen (sprich: Herzen) zur Verfügung, um das Wasser von den Wurzeln bis zu den Blättern zu transportieren. Hinzu kommt noch, dass Pflanzen beim Wassertransport zwei mächtige Kräfte überwinden müssen. Da ist zum einen die Schwerkraft, die der Wanderung des Lebensaftes entgegenwirkt, zum zweiten entstehen innerhalb der Wasserleitungsbahnen aus Holz beträchtliche Reibungskräfte. Ein 100 Meter großer Mammutbaum muss, will er seine grünen Pflanzenteile mit Wasser versorgen, einen Druck von zwei bis drei Megapascal bewältigen, was etwa 20 bis 30 Atmosphären entspricht.

Wie schafft das die Pflanze? Der Hauptantrieb des Wassertransports ist der so genannte Transpirationssog. Dessen Wirkprinzip ist bei allen Pflanzen gleich, es gilt für Gänseblümchen ebenso wie für Mammutbäume: Blätter haben in der Regel an ihrer Unterseite kleine verschließbare Öffnungen, mit denen die Pflanze Kohlendioxid aufnimmt. Der Sinn des Ganzen ist bekannt:  $\text{CO}_2$  und Wasser werden mit Hilfe von Sonnenenergie zu Kohlenhydraten, also biochemisch verwertbarer Energie, verarbeitet. Sind die kleinen Löcher in den Blättern geöffnet, pas-

siert aber noch etwas anderes: Wasser, das von den Wurzeln bis nach oben gewandert ist, verdunstet an der Oberfläche der Blätter – dadurch entsteht eine kräftige Zugspannung, die mehr Wasser nach oben zieht. Anschaulich kann man sich das so vorstellen, als würde jemand an Blättern und Nadeln saugen und damit einen Unterdruck erzeugen.

Bei diesem Vorgang müssen zwei Dinge verhindert werden. Erstens darf keine Luft in die Leitungsgefäße eindringen. Zum Glück gibt es ein physikalisches Phänomen, das solche Unfälle unterbindet: Es handelt sich dabei um die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten. Dadurch verhält sich das Wasser an der Grenzfläche zur Luft so, als wäre es von einer elastischen Folie bedeckt. Dieses Prinzip ist im Übrigen auch verantwortlich dafür, dass Wasser Tropfen bildet und manche Insekten auf der Wasseroberfläche laufen können, ohne dabei unterzugehen. Und dann gibt es noch eine zweite Gefahr: Die Wasserfäden im Transportgewebe von Bäumen dürfen unter der herrschenden Zugspannung nicht reißen. Das verhindert der Zusammenhalt der Wassermoleküle, besser bekannt unter dem Namen „Kohäsion“. Ursache der

# Von der Wurzel bis zum Blatt: Wassertransport in Pflanzen

**Schwerkraft und Reibungskräfte müssen überwunden werden, wenn eine Pflanze Wasser aus dem Boden aufnimmt. Lufteinschlüsse,  $\text{CO}_2$ -Gehalt und Ionen beeinflussen diesen Prozess.**

Fotos links: Ingo Pertramer, rechts: Barbara Smrzka



Kohäsion sind elektrostatische Wechselwirkungen. Pro Molekül sind die wirkenden Kräfte zwar vergleichsweise gering, in Summe reichen sie dennoch aus, um dem Transpirationssog zu widerstehen.

## WUSSTEN SIE, DASS ...

### ... auch Pflanzen unter Embolien leiden können?

Wenn von Embolien die Rede ist, denkt man zunächst an Thrombosen, also Verschlüsse von Blutgefäßen. Weniger bekannt ist, dass auch Pflanzen von Embolien bedroht sind. Dabei handelt es sich um Luftblasen, die die Wasserleitungen im Holz verstopfen. Sie entstehen bei Trockenstress sowie beim Übergang von Gefrier- und Tau-Perioden. Forscher um Stefan Mayr von der Universität Innsbruck vermuten, dass die so genannten Winterembolien zumindest teilweise dafür verantwortlich sind, dass Bäume ab einer bestimmten Höhe nicht mehr wachsen können. (Quelle: Spektrum der Wissenschaft, Mai 2005, S. 80).

### ... Ionen den Wassertransport beschleunigen?

Bereits seit den 1970er-Jahren weiß man, dass Leitungswasser (das mineralische Salze enthält) schneller durch die Pflanze strömt als deionisiertes Wasser. Die Erklärung für dieses Phänomen fand Martin Zimmermann von der Harvard University: Die Wasserleitungen in Pflanzen sind durch Mikrokanäle verbunden,

die in ein Geflecht von Zellulose, Hemizellulose und Pektinen eingebettet sind. Geladene Atome im Wasser – etwa Kaliumionen – verhindern, dass die Pektine aufquellen und sich die Mikrokanäle verengen. Dadurch kann das Wasser schneller zu den Blättern strömen. (Quelle: Science, Bd. 291, S. 1059).

### ... gezackte Blätter bei Kälte von Vorteil sind?

In kälteren Klimaten wachsen mehr Pflanzen mit Zacken an den Blatträndern als in wärmeren. Dana Royer von der Wesleyan University erklärt diesen Zusammenhang folgendermaßen: Zacken vergrößern die Oberfläche der Blätter und fördern den Wassertransport durch Verdunstung. Auf diese Weise gelangen mehr Nährstoffe in die Blätter, was wiederum die Photosynthese ankurbelt. Bei tiefen Temperaturen ist das ein Vorteil, weil die Photosynthese auf Sparflamme läuft. Bei höheren Temperaturen sind gezackte Blätter hingegen ein Nachteil – sie führen zu höheren Wasserverlusten.

ROBERT CZEPEL

## Station: Wassernetze

Warum steigt das Wasser von der Wurzel in die Baumkrone?

Entwickelt von:

Botanischer Garten Universität Innsbruck  
Grüne Schule

[www.uibk.ac.at/botgarden/garten/gschule.html](http://www.uibk.ac.at/botgarden/garten/gschule.html)



*Fälschungssichere Ausweisdokumente leisten einen wesentlichen Beitrag für ein mehr an Sicherheit. Die Österreichische Staatsdruckerei (OeSD) entwickelt und realisiert heute jene Sicherheitsstandards, die die Fälschungssicherheit eines Sicherheitsdokumentes auch in der Zukunft garantieren*



Mag. Thomas Zach, Generaldirektor-Stellvertreter der OeSD: „Mehr Sicherheit und Service für den Bürger steht im Vordergrund.“

Prof. Reinhart Gausterer, Generaldirektor der OeSD: „Durch unsere Mitarbeit in den Gremien der EU und der UNO können wir die Normen mitgestalten.“

## Die Österreichische Staatsdruckerei Sicherheit durch Innovation

Sicherheitsdokumente der neuesten Generation sind der neue Reisepass mit integrierter Chiptechnologie, aber auch der Personalausweis und der Führerschein, beide im handlichen Scheckkartenformat. Die OeSD nahm die Herausforderung der Entwicklung neuer, fälschungssicherer Ausweisdokumente von Beginn an war. „Unsere Mitarbeiter sind in jenen Gremien vertreten, in denen die Normen der Zukunft

Am Ende dieses Prozesses steht aber das Bedürfnis des Einzelnen, nach fälschungssicheren Ausweisdokumenten, die seine Identität zweifelsfrei feststellen und so sicheres und bequemes Reisen ermöglichen.



entstehen, wie etwa in der Europäischen Union, oder der Internationale Zivilluftfahrtbehörde ICAO, einer UNO-Organisation“, berichtet Prof. Reinhart Gausterer, Generaldirektor der OeSD. „Auch die Kooperation mit der Universität Wien und den Austria Research Centers – Seibersdorf sind für unsere ständige Entwicklungsarbeit unerlässlich.“

„Durch die intensive Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Inneres und dem Bundesministerium für Verkehr, Infrastruktur und Technologie und den zuständigen Behörden in den Bundesländern und Städten gelang es bei der Einführung der neuen Sicherheitsdokumente auch ein Höchstmaß an Service für den Bürger zu garantieren“, erklärt Mag. Thomas Zach, Generaldirektor-Stellvertreter der OeSD, den Erfolg der neuen ID-Dokumente. Die Personalisierung der Sicherheitspässe, Personalausweise und Führerscheine wird

heute unter besonders hohen Sicherheitsauflagen zentral in einem eigenen Hochsicherheitsraum der Österreichischen Staatsdruckerei vorgenommen. Von dort werden die Sicherheitsdokumente für ganz Österreich mit der Post an eine Wunschadresse zugestellt. Die Ausstellung der neuen Ausweisdokumente dauert heute fünf Werktage.

Die Sicherheitsbedürfnisse von morgen sind die Herausforderung von heute. Durch gemeinsamen, verantwortungsvollen Umgang mit den Bedürfnissen der Bürger, und kontinuierliche Forschung und Entwicklung im Bereich der Sicherheitstechnologien, werden diese Anforderungen auch in Zukunft erfüllt.

## PartnerInnen im **ScienceCenter** **NETZWERK**

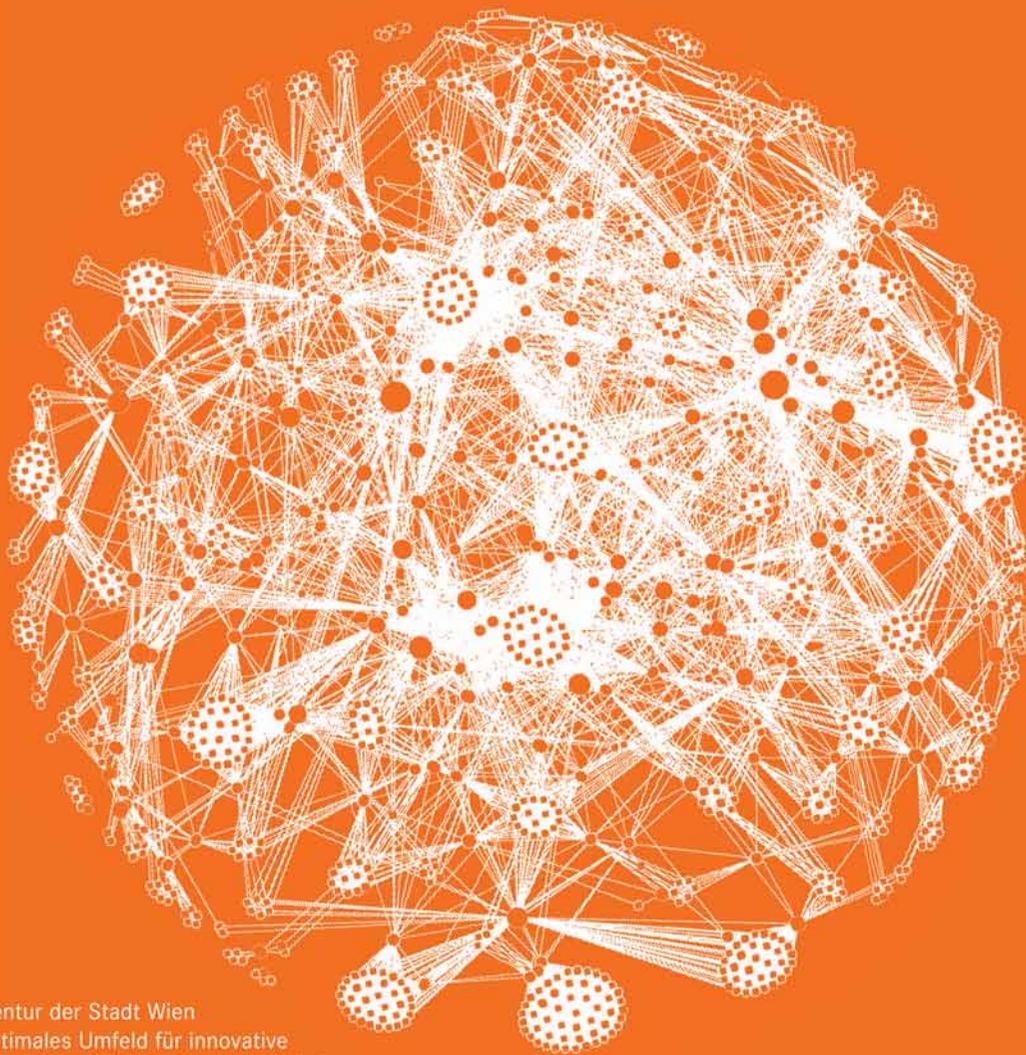
Das Science Center Netzwerk besteht seit Jänner 2006. PartnerInnen im Science Center Netzwerk unterstützen aktiv das Ziel, durch informelles Lernen und hands-on Erleben zum Verständnis von Naturwissenschaft und Technik und deren gesellschaftlich relevanten Anwendungen beizutragen und damit das Bewusstsein für Wissenschaft als integralen Bestandteil unserer Gesellschaft und Kultur zu stärken.

### INSTITUTIONEN

ARC systems research  
Ars Electronica Center Museumsg.m.b.H.  
Az W Architekturzentrum Wien  
Botanischer Garten Univ. Innsbruck  
Büchereien Wien  
Cox Orange  
dialog<>gentechnik  
Dialog im Dunkeln GmbH  
Event Marketing Services GmbH  
Experimentierwerkstatt Wien  
FH Joanneum, Digitale Medientechnologien  
FRida & freD, Kindermuseum Graz GmbH  
Gymnasium & Realgymnasium Rahlgasse  
Haus der Mathematik  
Haus der Natur  
Haus der Wissenschaft  
heureka / Falter  
IMST  
IMST3 Regionales Netzwerk Kärnten  
Inatura Erlebnis Naturschau Dornbirn  
InnoC – Gesellschaft für innovative Computerwissenschaften  
Institut für Neue Kulturtechnologien  
Junge Uni / Vizerektorat Forschung, Uni Innsbruck  
Kinderbüro Univ. Wien GmbH  
KinderUni Graz  
Kompetenzzentrum für Begabungsförderung  
Kuffner Sternwarte Wien  
math.space  
Max F. Perutz Laboratories GmbH  
NaturErlebnisPark Schulbiologiezentrum  
OÖ Science Center Wels Planungs GmbH  
Österreichische Akademie der Wissenschaften  
Österr. Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, Univ. Wien  
PHAROS International  
Planetarium Wien  
Q-Net – Netzwerk Qualifiziertes Migrationswissen  
Quantentechnologien, Geschäftsfeld der ARC Seibersdorf research GmbH  
Redaktion Wissenschaftskompass  
Salzburger Nationalparkfonds Hohe Tauern  
SciCo – Verein zur Förderung der Wissenschaftskommunikation  
Science on Stage  
SciMedia  
sciQ-Verein Wissenschaft-Jugend  
Technisches Museum Wien  
Technologiezentrum Salzkammergut  
uma information technology GmbH  
Urania-Sternwarte  
Verband der Chemielehrer Österreich  
Wiener Urania  
Wissenschaftszentrum Wien  
ZOOM Kindermuseum

### PERSONEN

OStR Prof. Mag. Theodor Duenbostl  
Dipl. Ing. Monika Fiby  
Dr. Erich Grießler  
Gerald Grois  
Mag. Werner Hollunder  
HR Dir. Dr. Christa Koenne  
Astrid Kuffner  
Mag. Leo Ludick  
Mag. Hansjörg Mikesch  
Mag. Jeanette H. Müller  
Ida Regl  
Werner Rentzsch



Als Technologieagentur der Stadt Wien schaffen wir ein optimales Umfeld für innovative Unternehmen. Wir vergeben Förderungen, entwickeln Technologiestandorte und bieten Dienstleistungen. Alles aus einer Hand.

**Forschung  
lebt in Wien**



**ZIT ZENTRUM  
FÜR INNOVATION  
UND TECHNOLOGIE**

Die Technologieagentur der Stadt Wien.  
Ein Unternehmen des Wiener Wirtschaftsförderungsfonds.