

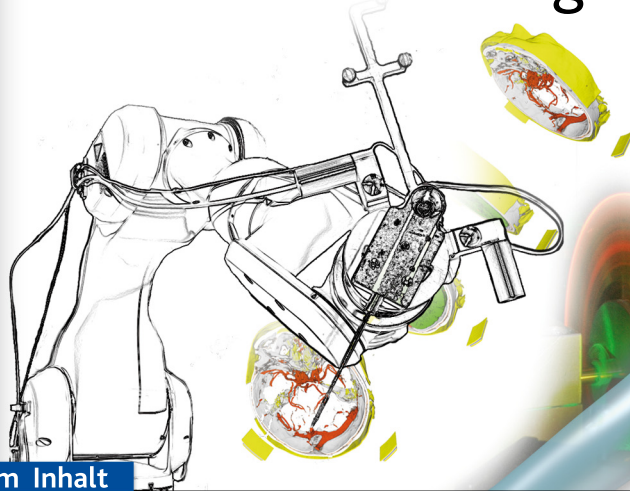
# extrakte

Auszüge aus der Wissenschaft

Ein Pressedienst der



## Gesundheitstechnik: Ingenieure auf dem Weg zur Medizin von Morgen

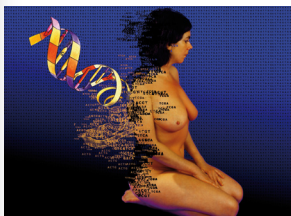


Aus dem Inhalt

2

### Der DNS-Scanner – Gencheck mit Tera- hertz-Strahlung

Je früher Krebs erkannt wird, desto höher sind die Heilungschancen. Wie groß generell die Wahrscheinlichkeit für eine Erkrankung ist, liegt in den Genen codiert; ‚Schwachstellen‘ besitzt jeder. An der Universität

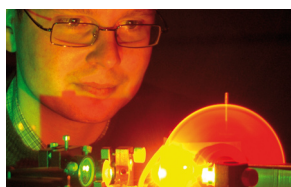


Siegen wird derzeit ein DNS-Scanner entwickelt, mit dem noch vor einem konkreten Verdachtsfall das individuelle Krebsrisiko schneller und einfacher als bisher ermittelt werden kann. Eine individuelle Krebsprävention wird damit zielgenauer

7

### Farbe für die Medizin – Neue Lasertechnik bringt Licht in Therapie und Diagnostik

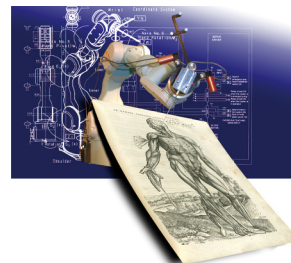
Sie werden gebraucht um Blutgefäße zu schweißen, Krebszellen zu vernichten, und um Gewebe nach Krankheiten zu durchleuchten. Laser sind fester Bestandteil des medizinischen Alltags. Die Instrumente sind jedoch zumeist auf eine einzige Wellenlänge festgelegt. Ein neuer Farbstofflaser bietet gebündeltes Licht in allen Farben des Regenbogens – und ersetzt mehr als 400 verschiedene Geräte. Bei dem ‚CW-Polymerlaser‘ wählt man die Wellenlänge, wie bei einem DVD-Player den Titel.



12

### Neurochirurgie: Adleraugen für die Präzisionsmedizin

In der Neurochirurgie zählt jeder Millimeter. Seit vierzig Jahren sorgen Mikroskope hier für Sicht. Entwicklungen in der Bildgebung, der Me-



chatronik und der Informatik nährten in den letzten Jahren die Hoffnung auf neue Techniken, die bestehende Nachteile überwinden könnten. Wissenschaftler der Universitäten Tübingen und Siegen entwickeln derzeit ein mikrochirurgisches System, das ergonomische und optische Vorteile verspricht.

14

### Anatomie dreidimen- sional: Zielgerichtet vom Röntgenbild zum virtuellen Körper

Computertomographien liefern ein präzises Bild vom Inneren des menschlichen Körpers – für den, der sie zu deuten weiß. Mit 3D Grafiken lässt sich ein Quantensprung in Richtung Anschaulichkeit vollziehen. Am Computer entsteht aus der Summe der Schichtbilder ein virtuelles Ganzes.



Die neu gewonnene Plastizität erleichtert komplexe Operationen. Bisherigen Verfahren mangelt es aber an der Bedienbarkeit sowie an der nötigen Trennschärfe. Neue Semantiken bieten Fortschritte

## Der DNS-Scanner – Gencheck mit Terahertz-Strahlung

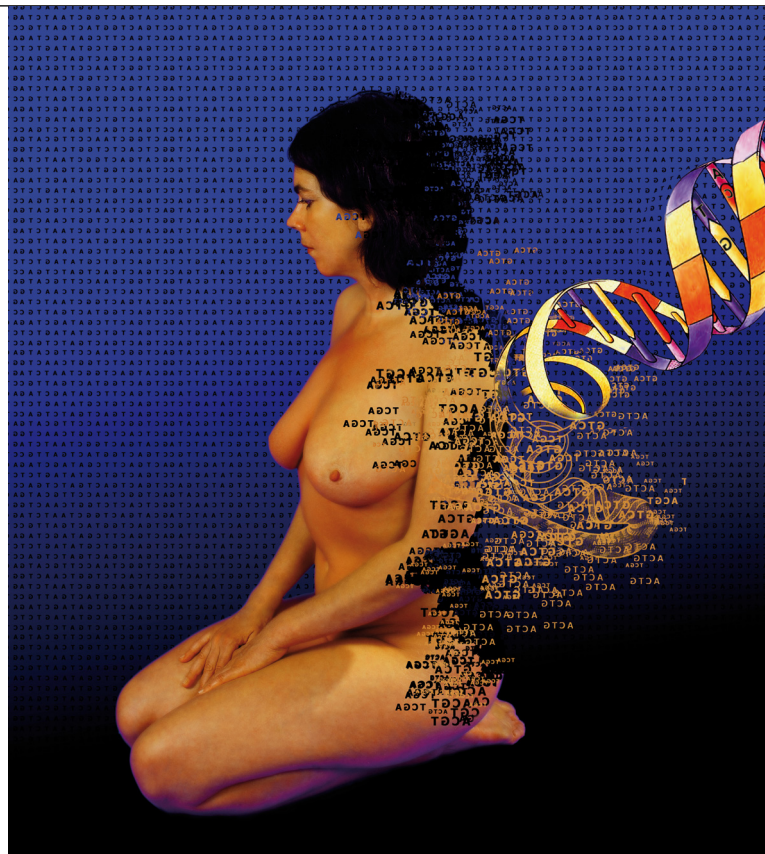
Ein kurzer Piks, ein Tropfen Blut. Der Arzt schiebt den Glasträger mit dem roten Lebenssaft in eine schuhkartongroße Apparatur neben seinem Schreibtisch. Er lächelt entspannt. Kurzer Small-Talk zwischen Patient und Arzt. ‚Ping‘. Ein heller Signalton lenkt den Blick des Arztes auf sein PC-Display. In einem Bildschirmfenster erscheint das Ergebnis der Analyse. Die Diagnose: Ein bakterieller Infekt – nicht untypisch für die kalte Jahreszeit. Der Arzt verschreibt ein leichtes Antibiotikum und rät zu einwöchiger Bettruhe. Einige Minuten nach Betreten des Raumes kann der entkräftete Patient schon wieder den Heimweg antreten. Gute Besserung!

Geht es nach Prof. Dr. Haring Bolívar vom ‚Institut für Höchstfrequenztechnik und Quantenelektronik‘ der Universität Siegen, könnte die Vision schon bald Wirklichkeit in deutschen Arztpraxen werden. Unter internationaler Beteiligung arbeitet der Elektrotechniker derzeit an der Entwicklung eines DNS-Scanners. Krankheits-Diagnosen könnten damit eine nie gekannte Präzision erreichen. Das Ergebnis läge binnen kurzer Zeit vor.

Basis der Präzisions-Diagnostik ist die Entwicklung von schnellen und leistungsfähigen Verfahren zur Analyse von Erbmaterial. Sind die Gensequenzen grundsätzlich erst einmal entschlüsselt, kann jeder Organismus über seine DNS eindeutig identifiziert werden; Viren aller Couleur können über ihren genetischen ‚Fingerabdruck‘ ebenso zweifelsfrei nachgewiesen werden wie Bakterien. Wie ein Virenprogramm den PC nach Würmern und Trojanern, so durchleuchtet der DNS-Scanner den menschlichen Körper nach allen Arten von Krankheitserregern. Ein Blutstropfen genügt. Hier wie dort können allerdings Probleme auftreten, sobald sich der Erreger verändert. Sei es durch Manipulation in der Computerwelt oder durch Mutation in der Körperwelt. Denn eindeutig gefunden werden kann nur, was schon bekannt ist.

So nützlich der DNS-Scanner auch für die Optimierung von Krankheitsdiagnose sein mag, seinen eigentlichen Einsatzbereich sieht Haring Bolívar in einem anderen Gebiet: „Wir stellen uns vor, dass der Scanner zukünftig als wirkungsvolle Waffe im Kampf gegen erblich bedingte Krankheiten oder Krebs eingesetzt wird“, erklärt Haring Bolívar auf die Frage nach den bevorzugten Anwendungsbereichen. Denn nicht nur Mikroorganismen können per DNS-Analyse bestimmt werden; auch das menschliche Erbgut kann auf Fehler hin untersucht werden. So erkennt der DNS-Scanner diejenigen DNS-Abschnitte im menschlichen Genpool, die für die Co-

„Für jeden Patienten ließe sich mit einem DNS-Scan das individuelle Krebsrisiko bestimmen“



dierung von Erbkrankheiten oder Krebsanfälligkeit verantwortlich zeichnen. „Für jeden Patienten ließe sich mit einem DNS-Scan das individuelle Krebsrisiko bestimmen“, so der Professor. Der Gen-Scan würde Aufschluss darüber geben, welche Organe gefährdeter sind als andere bzw. wo die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Karzinoms am höchsten ist. Angesichts der möglicherweise beunruhigenden Ergebnisse drängt sich sogleich die Frage auf, was mit einem solchen Wissen gewonnen wäre. Dazu Prof. Dr.

Haring Bolívar: „Durch eine geeignete Früherkennung lässt sich die krebserkrankungsbedingte Sterblichkeitsrate wesentlich absenken. Stellt der Arzt bei einem Patienten eine entsprechende erbliche Prädisposition fest, können rechtzeitig gezielt Anstrengungen zu einer wirksamen Krebsprophylaxe unternommen werden; einerseits durch eine risikobewusste Abstimmung der individuellen Lebensführung, andererseits durch entsprechend sensibilisierte, regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen. Im Eventualfall könnte der behandelnde Arzt außerdem wesentlich eher und damit auch wirkungsvoller reagieren.“

### Wie funktioniert der DNS-Scanner?

Wie aber funktioniert nun ein solcher DNS-Scanner? Das Grundprinzip ist demjenigen eines normalen Scanners, beispielsweise eines handelsüblichen Flachbettscanners, tatsächlich gar nicht so unähnlich. In beiden Fällen wird der zu untersuchende Gegenstand mit Strahlung aus dem elektromagnetischen Spektrum abgetastet. Teile der Strahlung werden vom gescannten Objekt absorbiert, andere reflektiert. Ein Sensor misst die entsprechenden Strahlungsmengen und leitet die gewonnenen Daten an eine Ausle-

Der menschliche Körper ist ein Produkt seiner 25.000 Gene. Im Guten wie im Schlechten. Denn auch Erbkrankheiten, wie z.B. Krebs, prägen sich aus aufgrund der Informationen, die in den Basensequenzen gespeichert sind

seelektronik weiter. Im Falle eines Flachbettscanners (re)konstruiert der Computer aus diesen Daten das fotografische Bild.

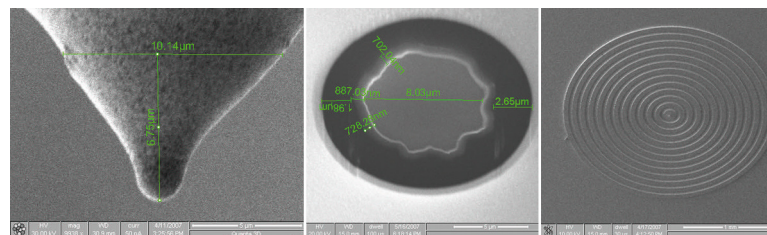
Ein wesentlicher Unterschied zwischen DNS- und Flachbettscanner liegt allerdings in der Art der verwendeten Strahlung. Während der Flachbettscanner Strahlung aus dem sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums nutzt – also ‚Licht‘ – bedient sich der DNS-Scanner einer unsichtbaren Strahlung, die physikalisch zwischen Infrarot und Mikrowellenstrahlung angesiedelt ist: der so genannten ‚Terahertz-Strahlung‘. Die Terahertz-Strahlung ist in der Öffentlichkeit noch kaum bekannt. Weil es bis heute schwierig ist Terahertz-Strahlung nutzbar zu machen, hat sich unter Ingenieuren und Physikern der Begriff der ‚Terahertz-Lücke‘ für diesen Bereich des elektromagnetischen Spektrums eingebürgert. Die angrenzenden Frequenzbereiche, Infrarot und Mikrowellenstrahlung sind inzwischen für viele alltägliche Anwendungen erschlossen worden. Für die Terahertz-Strahlung hat sich die Wissenschaft hingegen erst in der jüngeren Vergangenheit zu interessieren begonnen. Der Siegener Professor erklärt warum: „Das Hauptproblem bei der Verwertung liegt in der Schwierigkeit der Strahlungs-Erzeugung. Bis heute ist es nicht gelungen eine effiziente und gleichzeitig kompakte und kostengünstige Strahlungsquelle zu bauen.“

**THz-Strahlung:  
riesiges Anwendungspotenzial**

Im Gegensatz zu dieser technologischen Hürde steht die Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten: Terahertz-Strahlung macht viele optisch dichte Materialien transparent. Mit ihrer Hilfe lässt sich beispielsweise durch Kleidung schauen, um nach Waffen oder Sprengstoff zu suchen, sie lässt sich zur Qualitätskontrolle von Produktionsprozessen einsetzen oder auch zur drahtlosen Datenübertragung, die um ein Vielfaches schneller wäre, als bei herkömmlichen W-

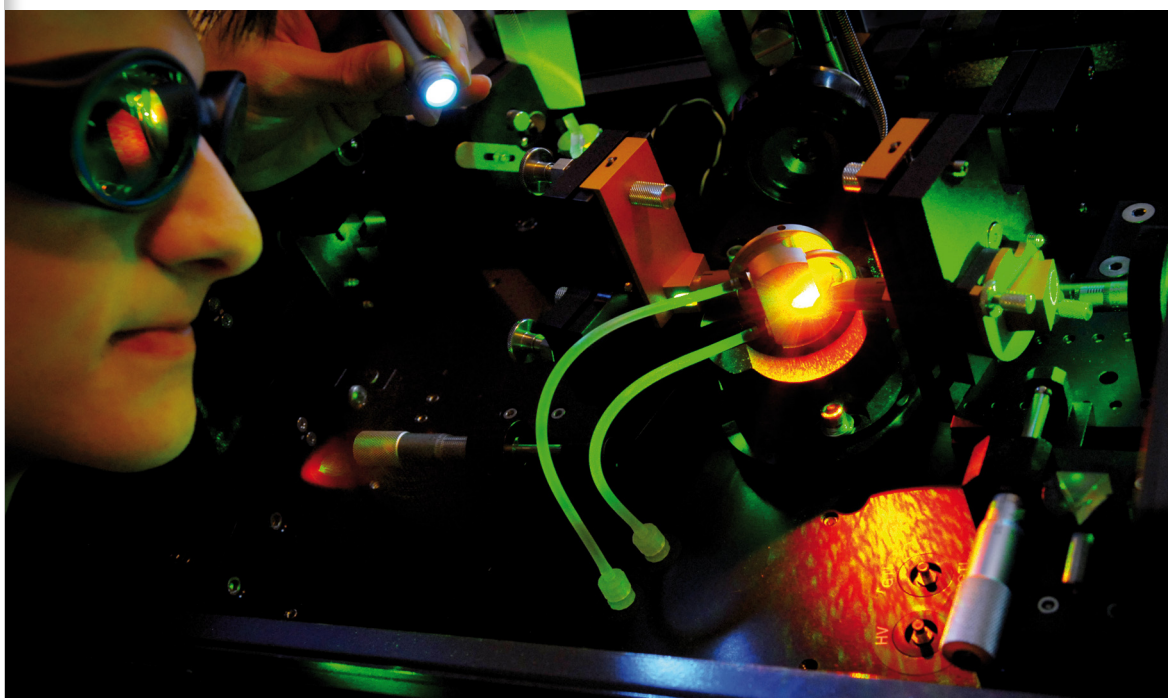
LAN-Technologien. „Das Potential der THz-Strahlung ist inzwischen in der Fachwelt aber auch in der Industrie erkannt worden. In Siegen haben wir bereits vor einigen Jahren mit der Erforschung dieses äußerst spannenden Wellenbereichs begonnen. Mittlerweile konkurrieren wir allerdings mit Universitäten aus aller Welt im Wettlauf um die Konstruktion eines möglichst effizienten THz-Systems“, erläutert Haring Bolívar. Und fügt augenzwinkernd hinzu, dass der Frühstart immer noch einen komfortablen Vorsprung sichere.

Großes Potential birgt die THz-Strahlung eben auch für die Medizin; insbesondere für die Analyse von Erbmaterial. Denn bei der THz-Strahlung handelt es sich

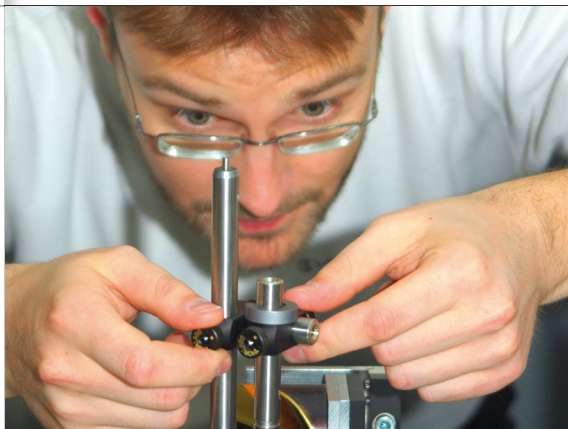


aufgrund der geringen Energie von THz-Photonen – präziser: der geringen Energie der kleinen Energiepäckchen, die diese Strahlung tragen – um so genannte ‚nicht-ionisierende‘-Strahlung. Was im Klartext bedeutet, dass zwischen dem exponierten Objekt und der Strahlung keinerlei Substanz verändernde Wechselwirkung stattfindet. Im Gegensatz zur Röntgenstrahlung löst die THz-Strahlung demnach keine Umbildungen – keine ‚Mutationen‘ – des Erbguts aus; THz-Strahlung ist gesundheitlich unbedenklich. Nur unter der Voraussetzung, dass sich das untersuchte Material bei der Beobachtung nicht verändert, wird es überhaupt erst möglich die winzigen, einige hundert Mikrometer kurzen Wellen für die Analyse von organischem Material zu nutzen. THz-Strahlen bieten sich aber noch aus einem weiteren Grund für biome-

Kleinste Strukturen verstärken die Terahertz-Strahlung: THz-Nahfeldspitze und -Wellenleiter unter dem Rasterelektronenmikroskop



Dustin Surawicz überwacht den Laserbetrieb



Christian Debus bei der Justierung eines DNS-Sensorchips

dizinische Analysen an: Kein anderer Frequenzbereich ruft bei Bio-Moleküle eine ähnlich starke Resonanz hervor; kein anderer Bereich des elektromagnetischen Spektrums liefert diese Schwingungsmoden, die für eine direkte (,resonante') biomolekulare Identifizierung verwertbar sind. Wie ein Blatt im Wind wiegen sich die DNS-Polymere im THz-Photonenstrom. „In Abhängigkeit von der Struktur und der Zusammensetzung des jeweiligen Biomoleküls entstehen unter dem Einfluss der THz-Strahlen spezifische Wellenmuster, die eine gut messbare Grundlage für weitergehende Materialanalysen bilden“, so Haring Bolívar.

### Erotik der Gene

Auch heute schon gibt es Verfahren zur automatisierten Analyse von DNS. Im Zentrum dieser Methodik steht die ,erotische' Anziehung zwischen komplementären DNS-Strängen. Im antiken Griechenland bezeichnete der Komödiendichter Aristophanes ,Eros' als die Kraft, die Mann und Frau als getrennte Hälften, die einstmals verbunden waren, wieder zueinander finden lässt. Auch die Erbsubstanz ist eine Einheit aus zwei Teilen. Trennt man die in Form einer Doppelhelix vorliegende Erbsubstanz in zwei Einzelstränge auf, bleiben die Teile solange alleine, bis sie sich mit ihrer ,fehlenden Hälfte' wieder zu einem Ganzen zusammenschließen können.

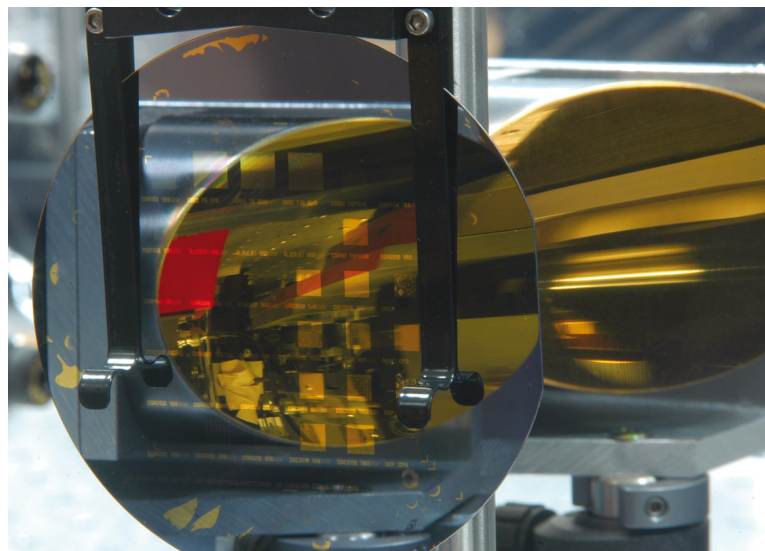
Diese Eigenschaft machen sich Biotechnologen zu nutze. Auf DNS-Chips, auch ,Biochips' oder ,Mikroarrays' genannt, platzieren sie Tausende von kurzen DNS-Einzelsträngen mit bekannten Basensequenzen. Die fixierten Nukleotid-Einzelketten dienen gewissermaßen als Sonden, um in einem Gemisch von unzähligen DNS-Molekülen einer Patientenprobe die genetischen Gegenstücke zu identifizieren. Sobald ein DNS-Fragment in Kontakt mit seinem fehlenden Partner gerät, verbinden sich die isolierten Einzelstränge wieder zu einer Doppelhelix.

Alle Verfahren für die Hochdurchsatzanalyse von genetischem Material basieren auf dieser natürlichen Eigenschaft von DNS-Bausteinen, sich mit ihren fehlenden Partnerteilchen zu verbinden. Wie bei einem Puzzle fügen sich das Träger-Substrat und die gesuchte Ziel-DNS nach dem ,Schlüssel-Schloss-Prinzip' ineinander. Die Ansätze unterscheiden sich lediglich in der Art, wie dieses ,Andocken' detektiert wird. Eine weit verbreiterte Technik ist die Markierung von

DNS-Strängen mit fluoreszierenden Farbstoffmolekülen. Bindet ein markiertes Molekül an eine passende DNS-Sonde, entsteht nach Beleuchtung mit einem geeigneten Laser ein Raster aus Leuchtsignalen. Die fluoreszierenden Punkte signalisieren dabei die Anwesenheit eines bestimmten Gens oder eines bestimmten Gendefekts. Mit den einzelnen Leuchtsignalen lassen sich schließlich die Informationen über die Genaktivitäten in erkrankten oder gesunden Zellen erfassen.

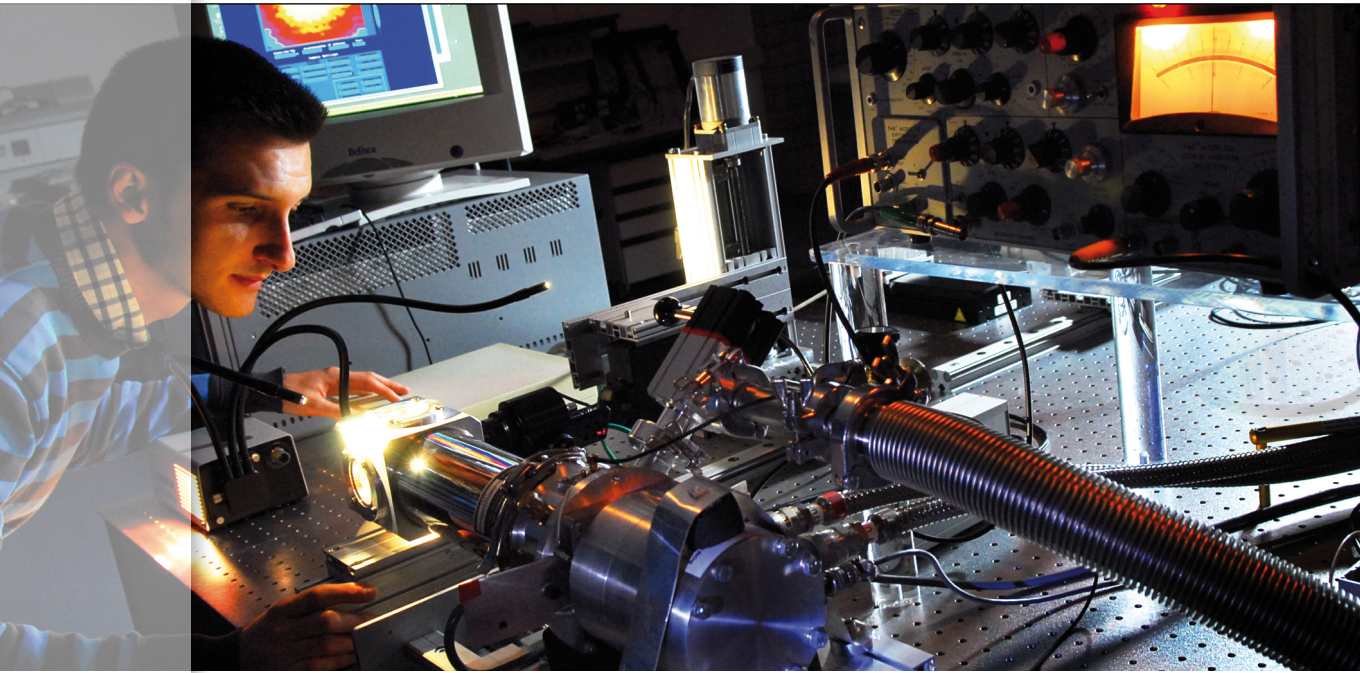
Dieses Verfahren birgt allerdings gewisse Nachteile. So ist es aufwendig und kostenintensiv die DNS-Proben mit den entsprechenden fluoreszierenden Markern zu versehen. Darüber hinaus können die Farbstoffmoleküle den Nachweis von Genen beeinträchtigen, da die Leuchtsignale mitunter variieren. Eine eindeutige Quantifizierung der Anwesenheit eines Gens ist dann nicht möglich. In vielen Fällen, insbesondere in der Krebsforschung, ist es jedoch von entscheidender Bedeutung mengenmäßige Aussagen über die Anwesenheit von Genen oder Gendefekten machen zu können.

Sensorchip-Träger mit aufgetragenen quadratischen Sensorchips. Auf jedem Sensorchip können bis zu 100 DNS-Abfragesonden aufgebracht werden



Für die Konstruktion eines leistungsfähigen DNS-Scanners ist das farbbasierte Nachweisverfahren problematisch. In der Summe erweist sich diese Detektionstechnik als zu arbeitsintensiv, zu kostenaufwendig und in einigen Applikationen als zu ungenau. In Vorexperimenten fand das Team um Prof. Dr. Peter Haring Bolívar heraus, dass man mit elektromagnetischen Wellen von einigen Billionen Hertz – den THz-Strahlen – ohne Umweg herausfinden kann, ob zwei komplementäre DNS-Stränge gekoppelt vorliegen oder nicht.

Die Terahertz-Wellen (ein THz entspricht  $10^{12}$  Hz) regen in den DNS-Molekülen eine Reihe von charakteristischen Schwingungen an, die nur in gebundenen Gensequenzen möglich sind. Über die THz-Resonanzen, die als THz-Absorption oder THz-Refraktion messbar sind, kann der Bindungszustand zwischen bekannten und unbekanntem DNS-Sequenzen direkt bestimmt werden. Damit wird es möglich THz Biochips aufzubauen, die ohne jegliche Markierung Gensequenzen direkt quantitativ detektieren und identifizieren können.



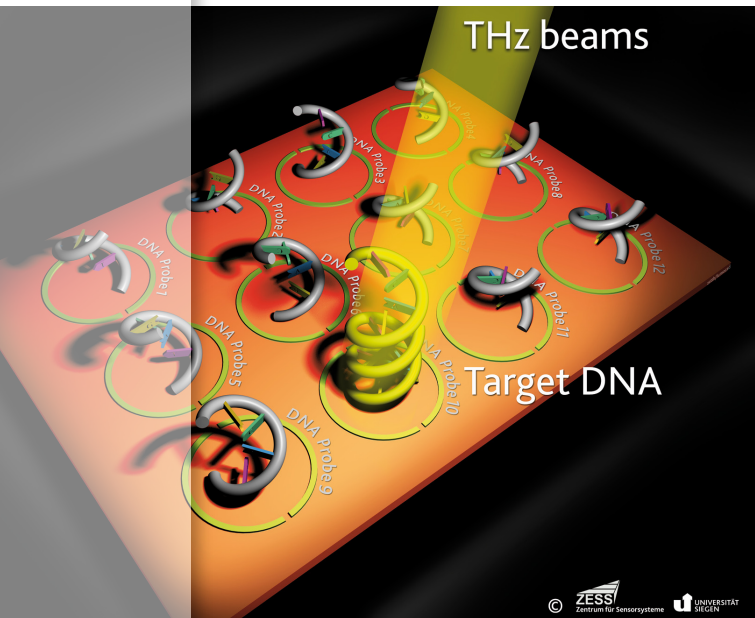
Francesco Voltolino vor Quanten-Kaskaden-Laser

**Ein Chip, ein Sensor, ein THz-Strahler**

Der DNS-Scanner des Forscherteams um Prof. Dr. Haring Bolivar setzt sich aus drei Bauteilen zusammen. Erstens aus der THz-Strahlenquelle, zweitens aus einem DNS-Chip, der mit zahlreichen unterschiedlichen DNS-Sequenzen bestückt werden kann – je nach Analyseinteresse (Nachweis von Tumorzellen, Viren oder Bakterien) mit jeweils anderen Einzelsträngen – und drittens aus einem

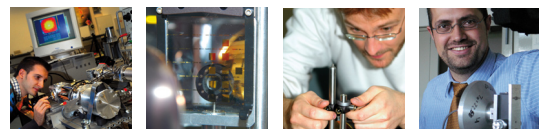
Institut für Höchstfrequenztechnik und Quantenelektronik experimentieren die Mitarbeiter von Haring Bolívar beispielsweise mit einem Quanten-Kaskaden-Laser. Dieser muss derzeitig zwar noch aufwendig gekühlt werden, kann dafür aber die benötigten hohen THz Strahlungsintensitäten zur Verfügung stellen. Auf der Sensorseite entwickelt das Team Substrate, so genannte ‚frequenzselektive Oberflächen‘, auf denen die DNS Abfragemoleküle fixiert werden können. Mit Hilfe der Substrate werden die THz-Felder genau auf den Punkt konzentriert, an dem die Interaktion von THz-Strahlung und DNS-Molekülen zu einer starken Veränderung der THz-Signale führt. Solche Sensoransätze haben mittlerweile die Empfindlichkeit für die DNS-Analysen im Vergleich zu den ersten Untersuchungsmethoden um mehr als sechs Größenordnungen, d.h. um mehr als eine Million Mal, erhöht. Damit hat die THz-DNS-Abfragetechnologie, der Verfahrens-Prototyp des zukünftigen ‚DNS-Scanners‘, erstmalig die Empfindlichkeit erreicht, die von den Anwendern gewünscht wird.

Bild links: Sensorchip mit DNS-Sonden in goldenen Strahlungsverstärkungsringen. Die Illustration zeigt die Detektion einer Kopplung von Proben- und Ziel-DNS



Verfasser: Hellermann / Haring Bolívar

*Text und Bilder sind frei zum Wiederabdruck*



Detektor, der die Strahlungsresonanz misst. Besonders forschungintensiv ist derzeit die Arbeit an der Strahlungsquelle und an Substraten, welche die Wechselwirkung von DNS und THz-Strahlung verstärken; dahinter steht sowohl das Ziel sensitivere Analysen zu ermöglichen, als auch die dazu benötigte Menge an DNS weiter reduzieren zu können. Bei der Konstruktion der Strahlungsquelle nutzen die Wissenschaftler bestehende optische oder elektronische Verfahren zur THz Strahlungserzeugung, die sie verfeinern und für die Analysen einsatzfähig machen. Am

Zusatzmaterial, Texte und Bilder:  
www.extrakte.uni-siegen.de

Ansprechpartner:



Prof. Dr. Ing. Peter Haring Bolívar  
Universität Siegen  
Interdisziplinäres Zentrum  
für Sensorsysteme (ZESS)/  
FB12 – Elektrotechnik und Informatik

Hölderlinstraße 2, 57076 Siegen  
Telefon: ++49 271 740 4428  
Telefax: ++49 271 740 2648  
peter.haring@uni-siegen.de  
www.zess.uni-siegen.de

# Farbe für die Medizin – Neue Lasertechnik bringt Licht in Therapie und Diagnostik



Eigentlich ist ‚Pink‘ eher für die lautereren Töne bekannt. Wenn Dr. Rainer Bornemann vom Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) der Universität Siegen seine Lieblingsscheibe auflegt, ist, abgesehen von dem gleichmäßigen, leisen Surren des Players, allerdings kein Mucks zu hören. Stattdessen geht von der Abspielvorrichtung nur ein diffuses, orangenes Leuchten aus. Da das Gerät kein Gehäuse besitzt ist die Quelle des feurigen Scheins schnell ausgemacht: In der Mitte der Apparatur rotiert mit ca. 3000 Umdrehungen pro Minute die von Bornemann aufgelegte CD um ihre horizontale Achse. Von einem grünen Laserstrahl getroffen, erstrahlt das kreiselnde Plastikrund in hellem Licht. Anders als bei einem gewöhnlichen CD-Player tastet der Laser die Platte nicht an der Oberfläche ab. Vielmehr durchdringt er die Disc, bringt sie scheinbar zum Glühen und tritt aus der CD als orangenfarbiger Laserstrahl wieder heraus.

Was da vor Bornemann steht hat ebenso wenig mit Unterhaltungselektronik zu tun, wie die ‚Scheibe‘, die sich momentan auf dem Plattenteller dreht. Denn mit ‚Pink‘ war nicht das Popsternchen gleichen Namens gemeint. Pink, neonpink um genau zu sein, ist vielmehr die Farbe der CD, die der junge Wissenschaftler zu Demonstrationszwecken aufgelegt hat. Auch die anderen CDs in Bornemanns Plattensammlung schillern in ähnlich grellen Tönen. Neben der erwähnten magentafarbenen Scheibe gibt es hier CDs wahlweise in waldmeistergrün, in apfelsinorange oder auch in cyanblau. ‚Dye Laser Disc‘, kurz DLD, hat der promovierte Chemiker die quietschbunten Scheiben in Anlehnung an die DVD, die ‚Digital Versatile Disc‘ getauft. Und ähnlich revolutionär, wie sich die DVD auf die Unterhaltungsindustrie ausgewirkt hat, könnte sich auch die DLD auf Biotechnologie, Medizin und Halbleiterindustrie auswirken. Denn



die DLDs sind die wichtigsten Bausteine eines neuartigen Farbstofflasers, des ‚CW-Polymerlasers‘, den Bornemann – mit finanzieller und intellektueller Unterstützung von Prof. Dr. Uli Lemmer von der Universität Karlsruhe und Dr. Erwin Thiel von der Universität Siegen (ZESS) – erfunden hat. Dank der vielfarbigen, auswechselbaren DLDs kann der Erfinder mit einem einzigen Gerät Laserstrahlen in allen Farben des Regenbogens erzeugen. „Damit haben wir es geschafft, die Leistungspotentiale von mehr als 400 verschiedenen Lasern in ein einziges System zu integrieren“, freut sich Dr. Bornemann mit Blick auf das vor ihm stehende Gerät.

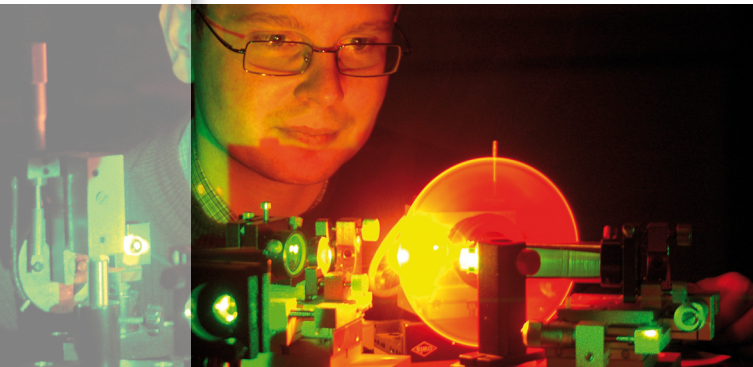
Bornemann durchschlägt mit seinem Prototyp einen gordischen Knoten in der Laserforschung. Denn seit Erfindung vor über 40 Jahren versuchen Forscher aus aller Welt mehr oder weniger erfolglos einen kontinuierlich strahlenden Farbstofflaser auf Festkörperbasis zu bauen. Damals wie heute fußt die Technologie des Farbstofflasers stattdessen auf dem Einsatz von farbigen Flüssigkeiten. Die Farbstoffe derartiger Laser sind in teilweise giftigen Lösungsmitteln gelöst, die Apparaturen wartungsaufwendig und sperrig. Früher oder später treten unweigerlich Lecks im Flüssigkeitssystem des Lasers auf, die dann zu Kontaminationen des Arbeitsbereichs führen. Bornemann erinnert sich: „Während meiner Zeit als studentische Hilfskraft arbeitete ich häufig mit Farbstofflasern. Als dabei einmal ein Schlauch platzte, verteilte sich die Farbstofflösung mit dem sechsfachen Atmosphärendruck im ganzen Labor. Nachdem wir die Pumpe abgeschaltet hatten, um den tanzenden Schlauch zu bändigen, durfte ich mehrere Stunden damit verbringen, Wände und Einrichtung zu säubern.“ Ob Dr. Bornemann ungerne



400 Laser in Einem

DLDs statt DVDs: Farbe für die Plattensammlung

putzt ist nicht bekannt. Fest steht allerdings, dass ihn das Ereignis hinreichend motivierte, um über die



Erfindung eines Farbstofflasers nachzudenken, der ohne Flüssigkeiten auskommt.

Warum aber basiert die Technik von Farbstofflasern bis heute überhaupt auf Farbstoffen in Flüssigkeiten? Weshalb kann man stattdessen nicht einfach einen eingefärbten Kunststoff einsetzen? Oder aber den Farbstoff in ein glasartiges Medium einbetten? Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Um sie zu verstehen, muss man einen genaueren Blick auf die generelle Funktionsweise eines Lasers werfen.

## Licht in Reih und Glied

Der Nutzen eines Lasers besteht darin kohärentes Licht zu produzieren. Kohärent bedeutet, dass das Licht aus Photonen der gleichen Wellenlänge besteht, die sich außerdem alle gemeinsam in die gleiche Richtung im Raum ausbreiten. Demgegenüber ist beispielsweise das Licht einer Glühlampe nicht kohärent. Unkoordiniert sendet die Glühlampe Licht nicht nur in unterschiedlichen Wellenlängen aus, sondern strahlt zudem auch noch zeitlich versetzt, also phasenverschoben und in fast alle Raumrichtungen gleich verteilt. Bei einem Laser geht es dagegen ziemlich aufgeräumt zu. Grundsätzlich ist ein Laser so etwas wie ein Energieumwandler, der ungeordnete thermische, elektrische oder chemische Energie in eine geordnete Form von Strahlungsenergie umwandelt. Der Transformationsprozess findet mit Hilfe eines Mediums statt, das dem Begriff nach aktiv zwischen den beiden Energieformen vermittelt. Als 'aktives Medium' kommen die unterschiedlichsten Substanzen in Frage. Je nach Aggregatzustand des Mediums unterscheidet man zwischen Gaslasern, Festkörperlaseren oder auch Flüssigkeitslasern. Was passiert nun aber genau, wenn man Energiequelle und Medium in der Anordnung eines Lasers zusammen bringt?

Nehmen wir den Laser unter die virtuelle Lupe und zoomen uns hinunter auf die Ebene des Allerkleinsten, auf die molekulare oder sogar atomare Ebene:

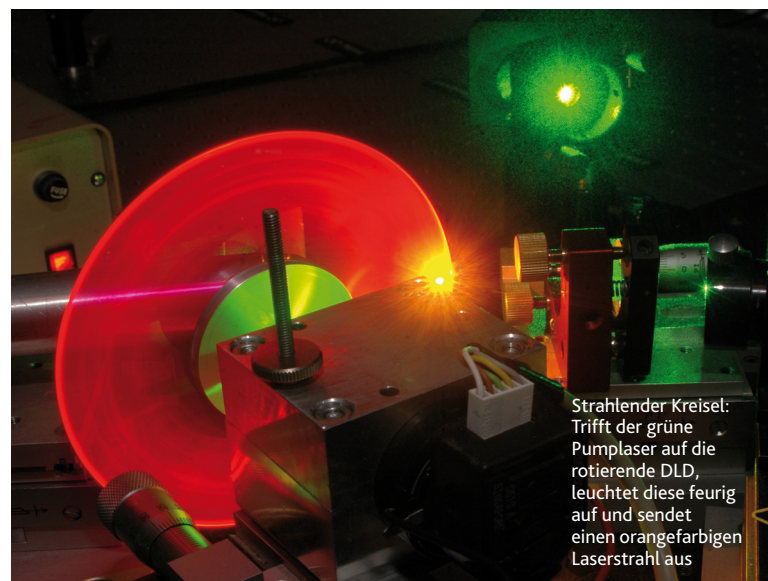
## Laser light: Physikalische Voraussetzungen

In einer Vorstellung von dieser Mikrowelt umkreisen die Elektronen den Atomkern in stabilen Umlaufbahnen, wie die Planeten die Sonne. Hier wie dort in jeweils unterschiedlichem Abstand zum Zentrum. Trifft nun ein Energieteilchen, z.B. ein Photon, auf ein

Atom, kann dieses, die entsprechende 'richtige' Energie vorausgesetzt, ein Elektron des Atoms 'in eine höhere Bahn schießen'. Das jeweilige Elektron hat ein neues Energieniveau erreicht. Um aus diesem 'angeregten Zustand' zurück in die Ausgangsposition zu gelangen, gibt das Atom die überschüssige Energie zu einem unbestimmten Zeitpunkt wieder an die Umgebung ab. Dies kann 'spontan' z.B. wieder in Form eines Photons geschehen; das angeregte Elektron fällt dabei gleichzeitig wieder zurück in seine alte Ausgangsbahn.

Ein wichtiger Schritt in Richtung Anwendung wäre die zweckgerichtete Steuerung eines solchen Prozesses. Ein weiteres physikalisches Phänomen leistet hierbei Schützenhilfe: Es gibt eine Art 'Auslöser' auf den man drücken kann, damit die Energieentladung eines angeregten Atoms nicht zu einem x-beliebigen, sondern zu einem genau definierten Zeitpunkt stattfindet. Durch Hinzufügen eines weiteren Photons lässt sich die Emission gezielt herbeiführen. Trifft dieses 'Abfrage-Photon' auf das zuvor angeregte Atom oder Molekül, so zwingt es dieses die gespeicherte Energie in Form eines identischen Partnerteilchens abzugeben. Aus eins mach zwei. Die Natur kennt demnach neben der 'spontanen' Emission noch eine zweite, steuerbare Emission: die 'stimulierte' Emission. Nicht nur, dass dieser Prozess eine gleich getaktete Strahlung erzeugt; auch die Intensität des hinein geschickten Lichts wird erhöht.

Bild links:  
Faszinierendes  
Farbenspiel:  
Dr. Rainer Bornemann  
vor dem von ihm  
entwickelten  
'CW-Polymerlaser'



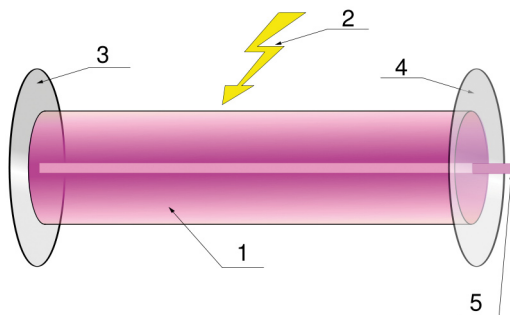
Strahlender Kreisel:  
Trifft der grüne  
Pumplaser auf die  
rotierende DLD,  
leuchtet diese feurig  
auf und sendet  
einen orangefarbenen  
Laserstrahl aus

Theodore Maiman war es, der sich vor nahezu fünfzig Jahren von so viel 'Spontanität' in der Natur dazu 'anregen' ließ, über eine geeignete technische Applikation für die bis dato ungenutzte Wechselwirkung von Energie und Materie zu sinnieren. Wenn man die stimulierte Emission noch zusätzlich verstärken könnte, würde es dann vielleicht möglich sein, so etwas wie einen hochintensiven Lichtstrahler zu bauen?

Für eine 'Netto-Verstärkung' müssen beim Durchlauf des Lichts durch das Medium mehr Photonen 'erzeugt' werden, als durch andere Prozesse wieder verloren gehen. Das hat zur Voraussetzung, dass per

Saldo die Menge der Atome, die sich in einem energetisch höheren Niveau befinden, größer ist als die Menge derjenigen in einem niedrigeren Niveau. In der Natur kommt so eine Anordnung normalerweise nicht vor, da Atome immer danach streben einen möglichst energiearmen Gleichgewichtszustand einzunehmen.

Die energetisch ‚normale Besetzung‘ der Atome muss also auf den Kopf gestellt werden. Durch äußere Energiezufuhr wird im Lasermedium diese so genannte ‚Besetzungsinversion‘ künstlich herbeigeführt. Gelingt dies, sind die physikalischen Voraussetzungen erfüllt, um Maimans Idee in eine Konstruktion zu gießen.



Hauptbestandteile eines Lasers:

1. aktives Medium
2. Pumpenergie
3. Spiegel
4. teildurchlässiger Spiegel
5. Laserstrahl

Bei Betrieb eines Lasers wird zunächst die gasförmige, flüssige oder feste Materie im Zentrum der Apparatur – das ‚aktive Medium‘ – intensiv angeregt. Mittels Energiezufuhr ‚pumpt‘ man die Atome oder Moleküle auf ein höheres Energieniveau.

Jetzt ist das Medium quasi ‚geladen‘. Ein ‚Funke‘ genügt nun, um den Prozess der stimulierten Emission auszulösen. Eine Kettenreaktion läuft ab: Hineingeschicktes Licht löst die erwünschte Produktion der Photonen aus. Die neu entstandenen Photonen stoßen wiederum andere angeregte Atome an, die abermals ihre gespeicherte Energie als Lichtteilchen mit ins Rennen schicken. Durch diesen Dominoeffekt baut sich so in extrem kurzer Zeit eine gewaltige Lawine von identischen Photonen auf.

Mit einem optischen Resonator verstärkt man das Geschehen noch zusätzlich. Indem man das aktive Medium zwischen zwei Spiegel packt, zwingt man die Licht-Quanten des Lasers auf eine Kreisbahn. Wie beim Ping-Pong prallen die Photonen von den Spiegeln ab und zwischen ihnen hin und her. Dabei treffen die frei umher fliegenden Photonen immer wieder auf das aktive Medium und reißen neue Photonen mit. Mit jedem Durchlauf des Lichtstrahls durch das Medium erhöht sich die Anzahl von im Gleichtakt schwingenden Energieteilchen; die im aktiven Medium gespeicherte Energie wird auf diese Weise effektiv abgeräumt. Einer der beiden Spiegel ist teilweise durchlässig; durch ihn verlässt schließlich ein Teil des verstärkten Lichtes den Resonator als nutzbarer Laserstrahl.

Der geschilderte Vorgang erzeugt zunächst jedoch nur einen einzigen kurzen Lichtpuls. Um einen Laser nicht nur ‚gepulst‘, sondern im ‚Dauerstrichbetrieb‘, so der Fachausdruck für den kontinuierlichen Laserbetrieb, laufen zu lassen, muss ein weiteres Hindernis technisch aus dem Weg geräumt werden.

Denn, nachdem die angeregten Atome ihre überschüssige Energie in Form eines Photons abgeben haben, fallen sie ja wieder auf ein niedrigeres Energieniveau zurück. Um nun neuerlich am Laserprozess teilzunehmen, müssen die Atome zuvor abermals angeregt, also energetisch wieder ‚hoch gepumpt‘ werden. Es muss also ständig neue Energie nachgeliefert werden, um die Verluste auszugleichen und den Laserbetrieb dauerhaft aufrecht zu erhalten.

### Die Besonderheiten eines Farbstofflasers

Was bedeutet all das in Bezug auf einen Farbstofflaser? Ein Farbstofflaser nutzt eine besondere Klasse von Substanzen als aktives Medium. Bestimmte organische Fluoreszenzfarbstoffe, so genannte ‚Lasersfarbstoffe‘, bieten das Potential, wenn sie in einer flüssigen Lösung vorliegen und intensiv genug angeregt werden, ebenfalls einen Verstärkungsprozess wie oben beschrieben zu erzeugen. Diese fluoreszierenden Lösungen können daher als aktives Medium für einen Laser verwendet werden. Auch für andere Lasertypen hat man geeignete Lasermaterialien gefunden (die zuvor benannten Festkörper- oder Gaslaser); sie sind sogar oftmals leichter zu handhaben. Diesen Konkurrenten gegenüber verfügt der Farbstofflaser aber über den unschätzbaren Vorteil, dass er nicht von vornherein auf seine Laserwellenlänge festgelegt ist. Denn die Laserfarbstoffe verfügen über ein sehr breites Emissionsspektrum innerhalb dessen der Laser frei ‚durchstimmbar‘ ist. Ein gelb-orange strahlender Farbstofflaser kann völlig frei Laserstrahlung im Wellenlängenbereich zwischen 560 und 620 nm emittieren. Damit sind Farbstofflaser in Bezug auf ihre möglichen Einsatzgebiete wesentlich anpassungsfähiger als andere Laser.

Trotz dieses Hauptvorteils konnten sich Farbstofflaser in der Praxis kaum durchsetzen. Einer der wesentlichen Gründe für die mangelnde Praxistauglichkeit liegt eben darin, dass man bisher nur flüssigkeitsbasierte Systeme für den Dauerstrichbetrieb mit den geschilderten Nachteilen bauen konnte. Warum?

Organische Farbstoffmoleküle sind zumeist sehr groß und komplex. Um die benötigte Besetzungsinversion zu erreichen muss man die Moleküle mit Laserlicht, einem ‚Pumplaser‘, optisch anregen. Bei diesem Vorgang verändern die Farbstoffmoleküle nach einer gewissen Zeit das spektrale Absorptionsvermögen der kompletten Farbstofflösung; die Folge ist eine Verminderung der Lasereffizienz bis hin zum Totalausfall. Selbst gute und ergo teure Laserfarbstoffe (gute Farbstoffe sind bis zu 30-mal teurer als ihr Gewicht in Gold!) geben nur einen Teil der absorbierten Energie in Form von Strahlung an die Umgebung ab. Der restliche Teil der Energie führt zur Erwärmung des Lasermediums. Diese Erwärmung stört den Laser-

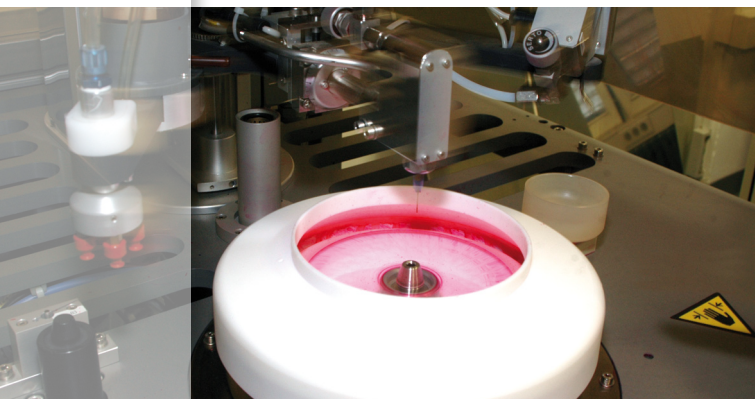


prozess ebenfalls, da sie die Homogenität des aktiven Mediums negativ beeinflusst.

Mit flüssigkeitsbasierten Farbstofflasern wurde es jedoch möglich die Probleme einigermaßen in den Griff zu bekommen. Die Idee: Man bewegt die Farbstofflösung einfach mit hoher Geschwindigkeit durch einen sehr kleinen Anregungsfokus. Auf diese Weise minimiert man die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein und dasselbe Farbstoffmolekül längere Zeit in diesem Raumbereich befindet und damit sehr schnell zerstört wird. Gleichzeitig werden verbrauchte Farbstoffe laufend gegen neue ausgetauscht, wodurch sich auch die Wärmebelastung des Mediums reduziert. Die unausweichliche Zerstörung der Farbstoffmoleküle kann so hinaus gezögert und der Dauerstrichbetrieb für einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden. Würde man demgegenüber mit dem Pumplaser auf einen still stehenden Farbstoffblock schießen, so würde der Laser nach ein paar Mikro- bis Millisekunden von alleine wieder erlöschen.

### DVD-Technik als Inspirationsquelle

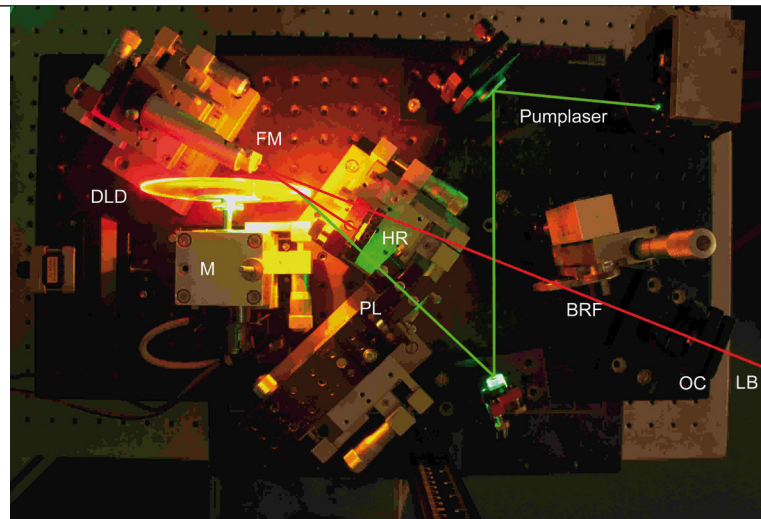
Mit einer ebenso einfachen wie genialen Idee hat Bornemann einen Weg gefunden, die Vorteile des flüssigkeitsbasierten Systems mit denen eines feststoffbasierten Lasers zu kombinieren. Inspiriert hat ihn die Technik eines DVD-Players. Eine DVD wird mittels eines Lasers sequentiell ausgelesen. Der Laser arbeitet sich dabei von innen nach außen vor. Durch



Produktion einer DLD: Automatische Beschichtung eines DVD-Rohlings mit pinkfarbendem Laserfarbstoff

die spiralförmige Rotation und die zeitgleiche laterale Verschiebung der DVD trifft der Laser jeweils nur ein einziges Mal auf ein und dieselbe Stelle. Und dies auch nur für einen sehr kurzen Zeitraum. „Das war genau der Mechanismus den man brauchte, um das Ausbrennen der Farbstoffmoleküle zu vermeiden“, erinnert sich Bornemann. Sein Lasersystem nutzt einfach zwei transparente DVD-Rohlinge, zwischen denen ein beliebiger Laserfarbstoff dünn und damit Kosten sparend aufgebracht wird. Analog zu einem DVD-Player ‚liest‘ der Pumplaser die kreisende DLD nun einfach von einem Ende zum anderen aus.

Jeweils nur eine sehr kleine Fläche der Gesamtdisk (Durchmesser einige Mikrometer) wird als aktives Medium genutzt. Dadurch, dass der Pumplaser auf einer festen Spurrille fährt, wird bei Bornemanns Feststofflaser – wie bei einem flüssigkeitsbasierten System auch – das aktive Medium ständig erneuert.



Vogelperspektive: Laser in Betrieb mit eingezeichneten Strahlengängen von Pump- und Farbstofflaserstrahl

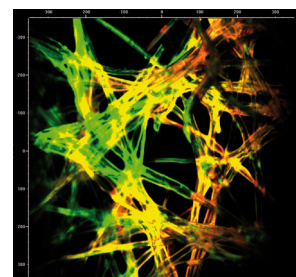
BRF: doppelbrechendes Filter zur Variation der Wellenlänge  
 HR: hoch reflektierender Spiegel  
 OC: Auskoppelspiegel

Auf diese Weise steht immer ‚frisches‘ Lasermaterial zur Verfügung; der Laserprozess kann zeitlich nahezu beliebig ausgedehnt werden. Möchte der Benutzer einen Laserstrahl in einem anderen, und damit weiter entfernten Spektralbereich erzeugen, legt er einfach eine andere Platte auf; statt pink z.B. waldmeistergrün, oder statt orange-gelb z.B. tiefrot.

### Einsatz in der Medizin

Der potentielle Nutzen des neuen Farbstofflasers ist groß. Überall dort, wo es auf eine variable aber genaue und sehr schnelle Abstimmbarkeit in der Laserwellenlänge ankommt, bietet sich der ‚CW-Polymerlaser‘ (CW: ‚Continuous Wave‘; zu deutsch: ‚Dauerstrich‘) als Arbeitsgerät an. Prädestiniert wäre Bornemanns Laser insbesondere auch für den Einsatz in der Medizin.

Licht wird von Materie entweder hindurch gelassen (transmittiert), zurückgeworfen (reflektiert), verschluckt (absorbiert) oder wieder neu ausgesendet (emittiert). Alle Farben, die wir in unserer Welt wahrnehmen, sind ein Produkt dieser Prozesse. Auf Basis dieses Wechselspiels von Licht und Materie gründet sich eine Vielzahl von Verfahren in der Medizin. Weite Bereiche der medizinischen Diagnostik machen sich die Emission (nach einer vorherigen Absorption) von Licht zu nutze. Je nach stofflicher Zusammensetzung lagern sich spezielle Farbstoffmarker an verschiedene Moleküle unterschiedlich stark an. Durch Bestrahlung dieser Proben-Marker mit geeigneten Lasern lassen sich diese Markersonden selbst wieder zum Leuchten anregen; über Anzahl, Position und Stärke der Leuchtpunkte lässt sich auf die stoffliche und räumliche Zusammensetzung der Probe schlie-



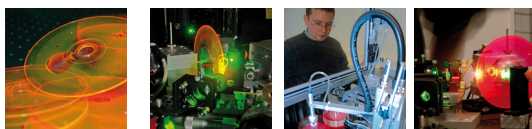
Farbstofflaser in Aktion: Mit Laserlicht angeregte Mikrostrukturen unter dem Elektronenmikroskop

ßen. In der medizinischen Therapie dreht man diesen Mechanismus einfach um. Baut die Bodiagnostik oftmals auf *Emission* so nutzt die Therapie die *Absorption*. Beispiel Krebsbehandlung: Aufgrund dessen, dass der Stoffwechsel von Tumorzellen höher ist, als derjenige gesunder Zellen, werden verabreichte Farbstoffe von Krebszellen verhältnismäßig stärker aufgenommen. Bestrahlt man nun das betroffene Gewebe mit einem Laser der richtigen Wellenlänge, absorbieren die eingefärbten Krebszellen das Licht stärker als die gesunden und damit nicht eingefärbten Zellen. Aufgrund der durch die Absorption entstehenden Wärme werden die Krebszellen gezielt unter Schonung des umliegenden gesunden Gewebes zerstört. Auch die Dermatologie arbeitet mit diesem Verfahren der ‚selektiven Photothermolyse‘. Besenreißer, erweiterte Äderchen oder auch Tätowierungen können aufgrund ihrer Farbpigmentierung durch Laserlicht der passenden Wellenlänge behandelt und entfernt werden.

Für Bornemann geht es in den folgenden Monaten darum, den derzeit noch experimentellen Aufbau des Lasers in eine nutzerfreundliche Form zu bringen. Äußerlich sollten sich DVD-Player und DLD-Laser nach diesem ‚Lifting‘ tatsächlich kaum noch unterscheiden lassen. Bei soviel Ähnlichkeit droht zukünftig dann vielleicht aber Gefahr für die Plattensammlung. Denn, versehentlich in Bornemanns Laser eingelegt, käme jede Musikplatte wohl gehörig ins Schwitzen. Und aus ‚Pink‘ würde schließlich ‚Lady Marmelade‘.

Verfasser: Hellermann / Bornemann

*Text und Bilder sind frei zum Wiederabdruck*



Zusatzmaterial, Texte und Bilder:  
[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)



**Ansprechpartner:**  
 Dr. rer. nat. Rainer Bornemann  
 Universität Siegen  
 Interdisziplinäres Zentrum für Sensorsysteme  
 (ZESS)

Paul-Bonatz-Str. 9-11  
 PB-H 0104  
 57076 Siegen  
 Telefon: ++49 271 740 4527  
 Telefax: ++49 271 740 2336  
[rainer.bornemann@zess.uni-siegen.de](mailto:rainer.bornemann@zess.uni-siegen.de)

Interdisziplinäres Zentrum für Sensorsysteme (ZESS)  
[www.zess.uni-siegen.de](http://www.zess.uni-siegen.de)



# Neurochirurgie: Adleraugen für die Präzisionsmedizin

Operationsmikroskope haben in der Neurochirurgie vor mehr als 30 Jahren eine medizintechnische Revolution ausgelöst. Winzigste Hirnstrukturen wurden plötzlich unterscheid- und damit auch behandelbar. Ergonomisch gesehen sind die optischen Hilfsinstrumente allerdings alles andere als ein Segen. Und auch aus technischer Sicht verschenken sie viele der Möglichkeiten, die moderne Verfahren computergestützter Chirurgie heutzutage anbieten. Ein neues, preisgekröntes System könnte das Mikroskop im Operationssaal bald ersetzen und für mehr Durchblick im dichten Neuronenschwungel sorgen. Im Mittelpunkt steht dabei ein einarmiger Assistent mit viel Gefühl.

Vernunft, Emotion, Seele, Bewusstsein: Das Gehirn gilt dem Menschen als Zentrum seines Seins, als Sitz seiner Identität. Aus physiologischer Sicht fasziniert insbesondere die feingliedrige und hocheffiziente Architektur des Denkkorgans: Nervenbahnen mit einer Gesamtlänge von insgesamt 5.8 Millionen Kilometern verkabeln auf kleinstem Raum mehr als 100 Milliarden Nervenzellen zu einem neuronalen Netzwerk von unnachahmlicher Komplexität und Leistungsfähigkeit.

Wie genau Geist und Gehirn im Einzelnen zusammenhängen, darüber grübeln unter dem Begriff des ‚Leib-Seele‘ Problems die Philosophen seit Jahrhunderten. Mit der materialistischen These, dass alle Bewusstseinsvorgänge eine physikalischen Basis haben fordern die Neurowissenschaften – neuen bildgebenden Verfahren sei Dank – inzwischen eindrucksvoll die jahrhundertealte Deutungshoheit der Philosophen in einem ihrer zentralen Gegenstandsbereiche heraus. Mit Hilfe von Computer- und Magnetreso-

nanztomographie erstellen Neurobiologen immer präzisere ‚Landkarten‘, die Aufschluss über die jeweiligen kognitiven Fähigkeiten und Funktionen von einzelnen Hirnareale geben. Die ‚Hirnatlanten‘ zeigen, dass jeder Bewusstseinsprozess seinen eigenen ‚Ort‘ im zerebralen Ganzen hat; entsprechend folgenreich wirken sich – informatisch gesprochen – Schäden an einzelnen ‚Partitionen‘ des Gehirns aus. Sie können im schlimmsten Fall nicht nur zum Verlust einzelner Daten, sondern sogar zum Ausfall kompletter kognitiver ‚Programme‘ führen.

Es ist diese direkte Abhängigkeit des menschlichen Selbst von der physischen Unversehrtheit des Gehirns einerseits und die Feingliederigkeit und Komplexität des neuronalen Netzwerks andererseits, die Operationen am Kopf zu einer der größten Herausforderungen in der Medizin werden lassen. Neurochirurgie ist häufig Millimeterarbeit; verfahrenstechnisch zählen daher in der Neurochirurgie viele Eingriffe

Neurochirurgie:  
jeder Millimeter zählt

zur Mikrochirurgie. Was bedeutet, dass Operationen in diesen Fällen unter Zuhilfenahme optischer Geräte durchgeführt werden. Hier, in einem Körperbereich wo der kleinste ‚Fehltritt‘ unmittelbare Auswirkungen auf die geistige Verfassung des Patienten hat, sind die Sichtverhältnisse von entscheidender Bedeutung für den Erfolg des Eingriffs. Seit ihrem ersten Einsatz im Jahre 1957 sorgen Operationsmikroskope in der Neurochirurgie dafür, dass der Chirurg auch da noch etwas sieht, wo das bloße Auge schon längst keine treffsicheren Unterscheidungen mehr vornehmen kann. 40-fach durch ein entsprechendes Mikroskop vergrößert kann der operierende Arzt auf einem Stecknadelkopf einen Staubpartikel noch ebenso gut identifizieren, wie er Italien als Stiefel auf der Oberfläche einer unvergrößerten Ein-Euro-Münze erkennen kann.

Doch trotz aller Errungenschaften bringt der Einsatz von Operationsmikroskopen in der Neurochirurgie auch Nachteile mit sich – allen voran ergonomische Probleme. So ist der Neurochirurg gezwungen, da die Optik des Mikroskops zwischen ihm und dem Patienten angeordnet werden muss, die Operationsinstrumente während der gesamten Dauer des Eingriffs mit durchgestreckten Armen zu führen. Wer schon einmal getestet hat, wie lange man seine Arme ausgestreckt vor den eigenen Körper halten kann, weiß wie viel Kraft und Ausdauer eine solche Stellung erfordert. Überanstrengungen drohen auch für die Augen. Denn ebenso, wie der stundenlange Blick durch einen Feldstecher die Scharfsicht trübt, ist auch das ununterbrochen Fixieren des Untersuchungsgegenstandes durch das Binokular des Mikroskops alles andere als angenehm.

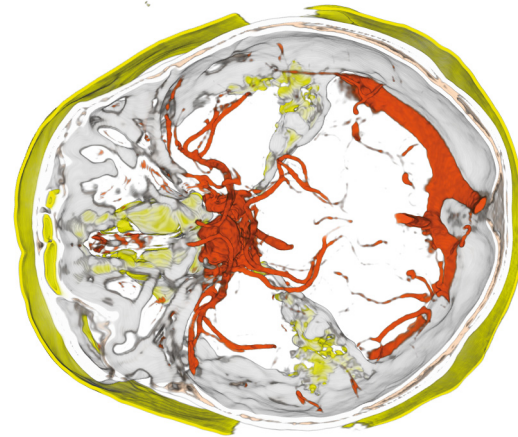
**Ermüdungsfreies Operieren**

Die ergonomischen Schwierigkeiten in der Mikrochirurgie stimulierten in den letzten Jahren die Suche nach geeigneten Alternativen. Ausschau gehalten wurde nach einem optischen Hilfsgerät, das dem Chirurgen ein ermüdungsfreies Arbeiten ermöglicht.

Eine Lösung für das Problem schien der Einsatz von Endoskopen zu bieten, die sich neben den Operationsmikroskopen als bildgebende Systeme zunehmend in der Neurochirurgie etablierten. Tatsächlich konnte mit dem Endoskop bequem operiert werden. Die Millimeter kleinen Abmessungen des Kameraauges gaben dem Chirurgen eine neue, nie gekannte Bewegungsfreiheit. Schnell wurde allerdings deutlich, dass auch dieses Verfahren seine Tücken hat. Denn, zum einen erreichte die Bildqualität der bis dato bekannten Endoskope noch nicht das Niveau der Operationsmikroskope. Zum anderen lässt sich mit dem Endoskop nur ein äußerst kleines Sichtfeld erschließen, da der Durchmesser des Objektivs naturgemäß sehr gering ist; die Folge: die Übersicht über das angrenzende Operationsgebiet fehlt gänzlich, so dass die Orientierung für den Chirurgen deutlich erschwert wird.

Die Verfügbarkeit einer neuen Generation von Endoskopen mit wesentlich verbesserter Bildqualität

brachte Prof. Dr. Duffner, einen erfahrenen Neurochirurgen von der Universitätsklinik Tübingen, auf die Idee, die Vorzüge des Operationsmikroskops – hohe punktuelle Ortsauflösung, leichte räumliche Orientierung – mit den Vorzügen des Endoskops – gute Ergonomie – zu verbinden. Duffner machte sich auf die Suche nach geeigneten Kooperationspartnern im In-



Gefährliche Klippen bei einer Hirn-OP: Blutgefäße (hier rot gekennzeichnet) Die Läsion von Arterien kann zu Hirnblutungen führen.

Zur 3D Visualisierung anatomischer Strukturen: siehe nachfolgenden Artikel

genieurbereich, die über Erfahrungen in der computer- und robotergestützten Chirurgie verfügten und bereit waren, bei der technischen Umsetzung mitzuwirken. Fündig wurde Prof. Dr. Duffner an der Universität Siegen. Hier beschäftigte sich bereits seit einigen Jahren ein Forscherteam um den Ingenieur Dr. Jürgen Wahrburg mit der Entwicklung eines universell einsetzbaren Systems für die Chirurgie; das System basiert auf der Konstruktion anpassungsfähiger Einzelmodule.

„Wir begannen unsere Entwicklungsarbeit mit einer Bestandsaufnahme“, erinnert sich Dr. Wahrburg. „Dabei stellten wir fest, dass die Technik in vielen unterschiedlichen medizinischen Anwendungsgebieten große Fortschritte gemacht hatte. Die Verfahren boten aber größtenteils Insellösungen. Für ein einzelnes Problem stellten sie eine entsprechende Lösung zur Verfügung“, so Wahrburg. Prof. Dr. Duffner ergänzt: „Ein System, das alle Neuerungen in den Bereichen Optik, Halbleitertechnologie und computerassistierte Chirurgie zusammenführte, gab es für die Neurochirurgie noch nicht. Unsere Idee war es, die medizintechnischen Errungenschaften in ein einziges System zu integrieren und gleichzeitig die Einzelkomponenten in Hinsicht auf ihre spezifische Aufgabe zu optimieren.“ Das ehrgeizige Projekt erforderte die Mitarbeit weiterer Spezialisten. Zusätzliches Computer-Know-How kommt von der Universität Leipzig. Hier entwickelt unter Leitung von Prof Dr. Bartz vom ‚ICCAS‘ (Innovation Center Computer Assisted Surgery) eine Gruppe von Informatiker die benötigte Software zur Bildverarbeitung. Von Seiten der Industrie beteiligt sich der Endoskophersteller Henke-Sass, Wolf GmbH (HSW) aus Tuttlingen. HSW gehört zu den Pionieren bei der Entwicklung der neuen Endoskop-Generation.

„Neuro-Comrade“ nennen die Entwickler ihr System – zu deutsch: ‚Neuro-Kamerad‘. Der Name ist mit bedacht gewählt: „Von der Planung bis zur

Durchführung der Operation soll ‚Neuro-Comrade‘ den Chirurgen in allen Bereichen seiner Arbeit möglichst effektiv unterstützen“, beschreibt Dr. Wahrburg die Aufgabe des Systems als die eines technisch zuverlässigen Gehilfen. Dr. Wahrburg baut mit seinem Forscherteam an der Universität Siegen einen der zentralen Bausteine von Neuro-Comrade: ein ‚mechatronisches‘ Assistenzsystem.

**Vorbild Mensch: Der mechatronische Arm**

Die Mechatronik ist ein interdisziplinäres Fachgebiet der Ingenieurwissenschaft, das Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik miteinander kombiniert. Hinter dieser ganzheitlichen Betrachtungsweise steht das Ziel, mechanische Systeme höherer Komplexität aufzubauen; Vorbild dafür ist unter anderem die Natur.

Ein Beispiel: Der Griff nach der Kaffeetasse ist das Resultat des erfolgreichen Zusammenspiels von Hand, Auge und Gehirn. Als ‚sensomotorisch‘ bezeichnet man diese Koordination von wahrnehmenden und motorischen Nerven zur Steuerung von Bewegungsabläufen. Die Mechatronik baut aus elektronischen Sensoren und mechanischen Aktoren technisch ähnliche Systeme. Eine mechatronische Konstruktion dieser Art wäre ein Greifarm, der sensibel auf seine Umwelt reagiert – eben z.B. um eine Kaffeetasse zu heben.

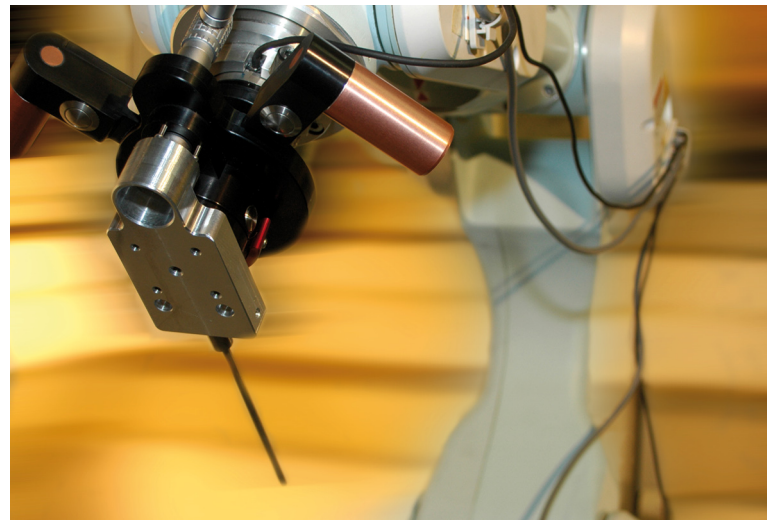
‚Sensibel‘, nicht im Sinne von ‚zartbesaitet‘, sondern im Sinne von ‚sinnlich wahrnehmend‘ und ‚motorisch feinfühlernd‘ ist auch der mechatronische Assistent, der im Entwicklungslabor des ‚Zentrums für Sensorsysteme‘ (ZESS) der Universität Siegen steht. In bis zu zehntel Millimeter kleinen Abständen kann sich das Aktorsystem – ein 100 Zentimeter langer Arm an dessen ‚Handgelenk‘ sich wahlweise die verschiedensten medizinischen Instrumente anbringen lassen – in fließenden Bewegungen durch alle drei Raumdimensionen bewegen. Fünf Gelenke sorgen dafür, dass der Arm jede erdenkliche Position in einem imaginären dreidimensionalen Koordinatensystem einnehmen kann. „Das mechatronische System ist sehr beweglich, dabei gleichzeitig aber äußerst fein navigierbar. Im Gegensatz zum Arzthelfer kann es Instrumente, wesentlich genauer in eine bestimmte Position bringen und zitterfrei auch in dieser halten“, erläutert Dr. Wahrburg.

**Im Operationsaal: ‚Nummer 5 lebt‘**

In einiger Entfernung neben dem mechatronischen Arm steht auf einem dreibeinigen Stativ ein Objekt, dessen Äußeres auffällig an den Kopf des Roboters aus dem 80er Jahre Kinofilm ‚Nummer 5 lebt‘ erinnert. Das Haupt von ‚Nummer 5‘ bestand aus einem rechteckigen Kasten, in dem nebeneinander zwei Kameras angeordnet waren: die ‚Augen‘ des Roboters. Bei dem fraglichen Objekt am ZESS – einem stereoskopischen 3D-Digitalisierungssystem – könne man zwar nicht direkt von ‚Augen‘ sprechen, erklärt Dr. Wahrburg. Denn im eigentlichen Sinne ‚seh-

en‘ könne das Gerät nicht. Für den mechatronischen Arm erfülle es aber durchaus eine vergleichbare Funktion, führt Dr. Wahrburg weiter aus.

Die 3D-Kamera ist der visuelle ‚Wahrnehmungs-



Mechatronischer Arm von Neuro-Comrade mit Endoskop an der Spitze

apparat‘ des Arms. Sie ermittelt über drei geometrisch angeordnete Kugeln, die am vordersten Gelenk des mechatronischen Arms in der Verlängerung des medizinischen Instrumentes befestigt sind, stetig dessen Position. Die Raumkoordinaten des elektronischen Assistenten werden während der Operation über die 3D-Kamera mit denen des Patienten abgeglichen; dazu bringt der behandelnde Arzt am Kopf des Patienten ebenfalls drei Marker an. Die Informationen über die Raumposition werden an den mechatronischen Arm weitergegeben, so dass dieser zu jedem Zeitpunkt genau ‚weiß‘ wo er sich befindet. ‚Matching‘ heißt das Verfahren, mittels dessen Objekte über die Messung ihrer lokalen Lage zueinander in Beziehung gesetzt werden. Geringste Bewegungen des Patientenkopfes können so sekundengleich vom Assistenzarm automatisch nachvollzogen werden. 3D-Kamera und Assistenzarm bilden zusammen das mechatronische Sensor-Aktor-System von Neuro-Comrade.

**Fingerzeig der Technik**

Was aber ist die Aufgabe des ‚sensiblen‘ Assistenzarms. Wie kann er die Operationsbedingungen für den Neurochirurgen verbessern?

„Am Ende des mechatronischen Arms installieren wir an der Instrumentenhalterung ein neuartiges Endoskop des Industriepartners HSW mit einem Durchmesser von einigen Millimetern. Dieses ist mit einer HDTV-Kamera kombiniert und liefert hochauflösende Bilder vom Operationsgebiet“, führt Dr. Wahrburg aus. Der Assistenzarm übernimmt die automatische Positionierung der Kamera. Wie ein Finger zeigt die Metallnadel mit dem Endoskop an der Spitze auf die Eingriffsstelle. Auf einem Monitor erscheint das Kamerabild in mehrfacher Vergrößerung; per Zoom kann der Arzt den Aufnahmebereich je nach Bedarf näher heranholen oder weiter wegrücken. So weit so gut. Das Ziel ein mikrochirurgisch optimiertes System zu konstruieren ist mit dem mechatronisch justierbaren Endoskop-Bild alleine aber noch nicht erreicht.



Wie löst man das Problem des eingeschränkten Sichtfeldes? Wahrburgs Antwort: „Die Realitätswahrnehmung muss um zusätzliche Informationen angereichert werden.“ Das Konzept, das dahinter steht, ist unter dem Namen ‚Augmented Reality‘ bekannt.

**Erweiterte Realität:  
Blick unter die Oberfläche**

Wie kann man sich das im Falle einer Kopf-OP vorstellen? Woher kommen die ‚zusätzlichen Informationen‘? Der Schlüssel liegt in der modernen Bildgebung: „Um den Eingriff zu planen, schickt der Neurochirurg den Patienten zunächst in die Röhre“, erläutert Dr. Duffner mit Blick auf den regulären Ablauf eines neurochirurgischen Eingriffs. Schicht für Schicht durchleuchtet der Computer- oder Kernspintomograph im Millimeterabstand den Kopf des Patienten. Dabei entsteht eine Vielzahl kontrastreicher Graustufenbilder, die übereinander gelagert ein dreidimensionales Gesamtbild des Gehirns ergeben. Der Arzt nutzt die Bilder in der präoperativen Planung, um den Zugang zum Zielgebiet so zu wählen, dass die durch den Eingriff unausweichlich entstehenden minimalen Läsionen nach Möglichkeit kein funktional bedeutsames Hirngewebe treffen.

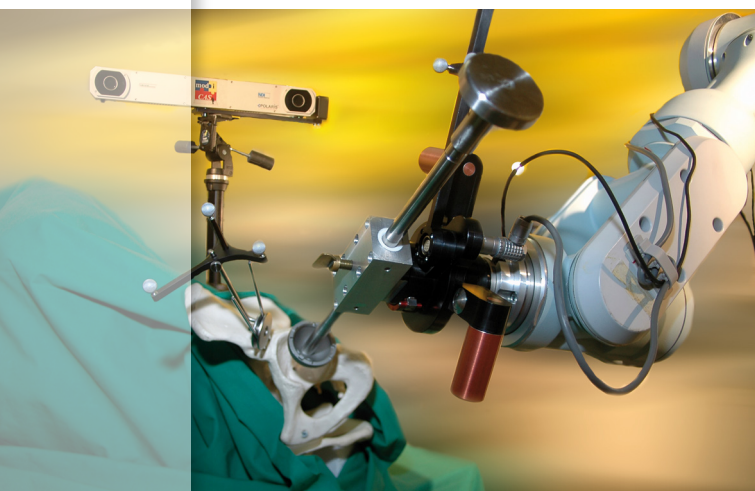
Während der OP dienen dem Chirurg die CT- oder MR-Bilder dann zur Orientierung. Wie in der Nautik ermittelt der Arzt über ‚Landmarken‘ im Operationsgebiet seine Ist-Position und bestimmt an Hand der CT-Karten den ‚Kurs‘ den er mit seinen Instrumenten einschlagen muss, um die Soll-Position, z.B. den Tumor, zu erreichen. In der heutigen Praxis muss der Arzt seinen Kopf dabei allerdings immer zwischen der Darstellung der präoperativen Aufnahme auf dem Computer-Bildschirm und dem Operationsbereich

mit der intraoperativen Wirklichkeit kombinieren“, erklärt Dr. Wahrburg. Auf dem Bildschirm erscheint dann nicht nur das Realbild aus dem Endoskop, sondern virtuell auch das angrenzende Operationsgebiet. Der Clou: nicht nur in der Fläche sieht der Arzt mehr als die Wirklichkeit hergibt; er kann sogar im Millimeterabstand in tiefere, operativ noch nicht freigelegte Schichten hineinzoomen. Im Bild der Seefahrt gesprochen, sieht der Arzt als Navigator jetzt nicht mehr nur die Wasseroberfläche, sondern hat auch im Blick, was sich darunter abspielt. Gefährliche ‚Klippen‘, wie Arterien oder Venen, können farblich gekennzeichnet und damit mühelos ‚umschifft‘ werden.

**Innovationspreis Medizin**

Um sicherzustellen, dass der Computer Realbild und virtuelles Bild zu jedem Zeitpunkt passgenau aufeinander abbildet, werden am Kopf des Patienten schon vor der Bildaufnahme mehrere Marker angebracht, die auch während der OP zur Orientierung des mechatronischen Assistenzsystem dort belassen werden. Für die Koordination der Elemente ‚Patient‘, ‚Realbild‘ und ‚CT-/MR-Bild‘ kommt abermals das ‚Matching‘-Verfahren zum Einsatz. Die Navigationssoftware von Neuro-Comrade stellt anhand der Marker, die in der präoperativen Aufnahme lokalisiert werden können und deren Position intraoperativ mit der 3D-Kamera gemessen wird, eine Beziehung zwischen prä- und intraoperativer Welt her. Dank der wachsamem ‚Augen‘ des 3D-Digitalisierungssystem verfügt Neuro-Comrade stetig über alle notwendigen Koordinaten, um an Hand der jeweiligen Marker mechatronischen Assistenzarm, Patient, Realbild und CT-/MR-Bild aufeinander abzustimmen. Dadurch, dass die Raumkoordinaten aller relevanten Einheiten bekannt sind, kann das CT-Querschnittsbild, exakt auf den Blickwinkel des Arztes ausgerichtet werden. Der Neurochirurg erhält damit die Möglichkeit, den Zugang zum Zielgebiet so zu wählen, wie es aus medizinischer Sicht am sinnvollsten erscheint. Der in der präoperativen Planung einmal festgelegte Zugangsort, kann später durch den mechatronischen Assistenzarm automatisch angefahren werden.

‚Neuro-Comrade‘ ist eine Spezialanwendung des am ZESS der Universität Siegen entwickelten modularen Assistenzsystems ‚modiCAS‘. 3D-Digitalisierungssystem, Navigations- und Operationsplanungssoftware, sowie der mechatronische Arm bilden die Bausteine eines ganzheitlichen Lösungsansatzes für die computer- und roboterassistierte Chirurgie. Der erfolgreiche erste klinische Einsatz eines Prototyps erfolgte in der Hüftendoprothetik, wo weltweit erstmalig die Implantation der Pfannenprothese mit Roboterassistenz durchgeführt wurde. Die chirurgischen Instrumente werden hierbei am äußeren Ende des mechatronischen Arms auf einer Linearführung befestigt und vom Operateur selbst bewegt und betätigt, während sie von ‚modiCAS‘ in der korrekten räumlichen Lage positioniert werden.



Nicht nur für die Neurochirurgie geeignet: Operationseinheit aus stereoskopem Digitalisierungssystem und mechatronischem Assistenzarm, hier bei der Simulation eines hüftchirurgischen Eingriffs

hin und her wenden. Und auch die zur Positionsbestimmung notwendigen ‚Landmarken‘ sind rein mental vom Arzt zu erfassen; im Einerlei des grauen Zellgewebes sind sie zudem nur mühselig auszumachen.

Hier setzt das Neuro-Comrade-System an. „Mit Hilfe der Verfahren, die bei unserem Projektpartner an der Universität Leipzig entwickelt werden, lassen sich die Bilder aus der präoperativen Bildgebung

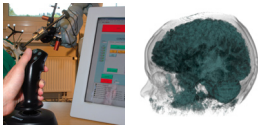
„Das neuartige System birgt ein großes Innovationspotenzial für alle mikrochirurgisch tätigen Fachgebiete“, ist sich Dr. Duffner sicher. Laut Duffner haben die deutlich besseren ergonomischen Eigenschaften „einen günstigen Einfluss auf den Operationsverlauf und damit auch auf die Gesundheit des Patienten.“ Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gibt Duffner Recht. Als eines von insgesamt dreizehn herausragenden Projekten, die aus 129 eingereichten Konzepten ausgewählt wurden, gewann Neuro-Comrade 2006 den Innovationswett-

bewerb zur Förderung der Medizintechnik des BMBF. Dr. Wahrburg freut sich, dass er mit Bewilligung der Preisgelder zum 01. August 2007 die Entwicklung des Systems nun mit zusätzlicher Unterstützung vorantreiben kann.

Verfasser: Hellermann / Wahrburg

*Text und Bilder sind frei zum Wiederabdruck*

---



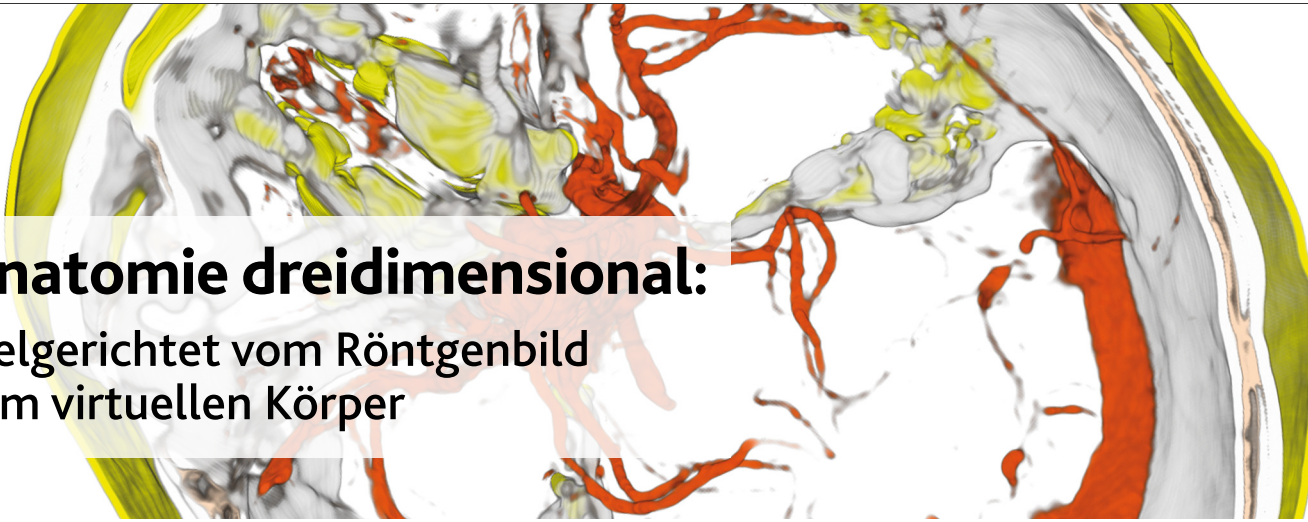
Zusatzmaterial, Texte und Bilder:  
[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)



**Ansprechpartner:**  
Dr. Ing. Jürgen Wahrburg  
Universität Siegen  
Interdisziplinäres Zentrum für Sensorsysteme  
(ZESS)/ FB12 – Institut für Regelungs-  
und Steuerungstechnik

Paul-Bonatz-Str. 9-11  
57076 Siegen  
Telefon: ++49 271 740 4442  
Telefax: ++49 271 740 2336  
[wahrburg@zess.uni-siegen.de](mailto:wahrburg@zess.uni-siegen.de)

Interdisziplinäres Zentrum für Sensorsysteme (ZESS)  
[www.zess.uni-siegen.de](http://www.zess.uni-siegen.de)



# Anatomie dreidimensional: Zielgerichtet vom Röntgenbild zum virtuellen Körper

Tomographische Bildgebungsverfahren, wie die Computer- und Kernspintomographie, sind heute fester Bestandteil des medizinischen Repertoires an Methoden für die Diagnostik und Interventionsplanung. Die bekannten Schichtbilder ermöglichen detaillierte Einblicke in den menschlichen Körper bei einer relativ geringen Belastung für den Patienten. Erfahrene Radiologen verfügen über die erstaunliche Fähigkeit, durch Blick auf die aufgenommenen Schichtbilder anatomische Strukturen mental rekonstruieren und Pathologien sofort erkennen zu können. In vielen Fällen jedoch, beispielsweise bei der Planung eines komplizierten chirurgischen Eingriffs, sind Schichtbilder alleine nicht ausreichend. In den letzten Jahren sind daher ‚Volume Rendering‘ Verfahren interessant geworden, mit denen das aufgenommene Volumen aus den Schichten im Computer dreidimensional rekonstruiert wird.

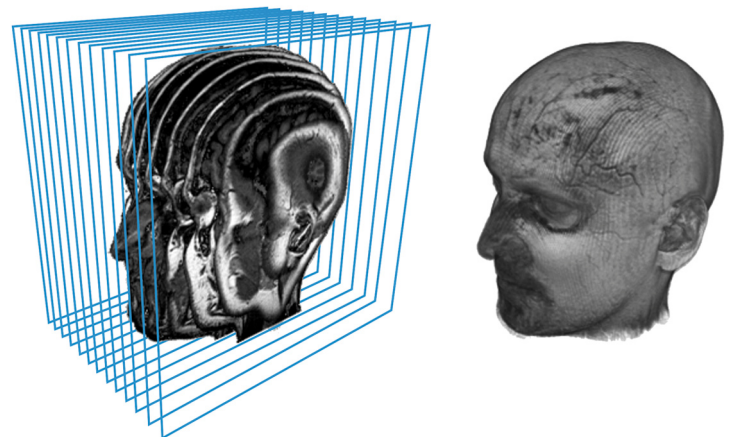
Derartige Verfahren sind nicht nur für die Planung und Durchführung von Operationen wichtig (Abb. 1). Sie helfen auch jungen Radiologen, das Lesen der Schichtbilder zu erlernen und bieten ideale Möglichkeiten zur Kommunikation, insbesondere zur Veranschaulichung einer Diagnose für den Patienten selbst.

In der Realität des klinischen Alltags werden Volume Rendering Verfahren allerdings nicht so häufig eingesetzt, wie es uns populäre Arzt-Fernsehserien glauben machen wollen. Die Bedienung komplexer Visualisierungssysteme ist nicht einfach und benötigt für einen individuellen Datensatz viel ‚Rumprobieren‘. Während der klinischen Routine bleibt oft nicht die Zeit, um notwendige Parameter zu justieren. Dr. Christof Rezk-Salama von der Fachgruppe ‚Computergraphik und Multimediasysteme‘ der Universität Siegen

beschreibt die Problematik: „Viele der 3D Visualisierungsverfahren, die Sie heute in klinischen Anwendungen finden, sind nicht zielgerichtet genug. Es handelt sich im Grunde um eines der klassischen Probleme der Mensch-Maschine Interaktion: Der Mediziner hat eine bestimmte Absicht. Er möchte in der virtuellen Darstellung beispielsweise das Weichgewebe ausblenden, um darunter liegende Blutgefäße zu untersuchen. Die Benutzeroberfläche bietet ihm eine Reihe komplexer Bedienelemente zur Einstellung visueller Parameter. Sein Dilemma ist jedoch, dass ihm nicht intuitiv klar wird, welche Änderungen der Parameter er vornehmen muss, um sein Vorhaben umzusetzen.“

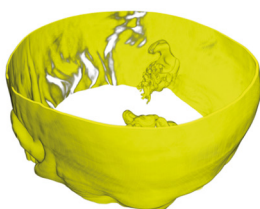
### Semantik

In der Linguistik bezieht sich der Begriff ‚Semantik‘ auf den Sinn, die Bedeutung eines Wortes. In der Informatik versteht man unter der Semantik einer Aktion (z.B. Drücken der Umschalt-Taste) die Wirkung, die diese Aktion auf das System hat (z.B. der Text wird groß geschrieben).

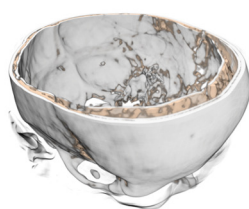


Es fehlen klare Semantiken, sprich eindeutige Bedeutungszuordnungen, zu dem Angebot an möglichen Aktionen. Welche Benutzerschnittstellen müssen wie bedient werden, um zum gewünschten Ergebnis zu kommen?“

Abb. 1: 3D-Rekonstruktion des dreidimensionalen Volumens aus tomographischen Schichtbildern



Haut und Hohlräume



Knochen



Weichgewebe



Blutgefäße

Abb. 2: Klassifikation anatomischer Strukturen basierend auf dem Datenwert und dem Gradientenbetrag



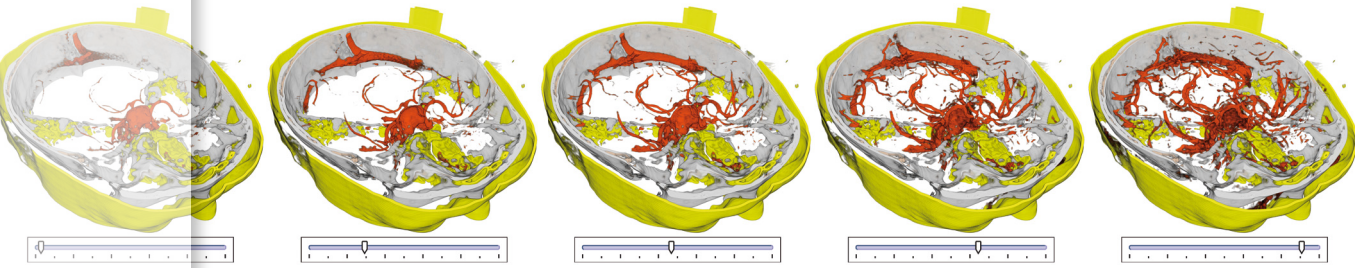


Abb. 3: Die Feinjustierung zur Anpassung des semantischen Modells an unterschiedliche Datensätze erfolgt anhand eines einzigen Parameters

Gerade in der Medizinischen Visualisierung sind derartige Probleme schwierig zu lösen, da sowohl die Menge der sinnvollen Aktionen als auch die Semantik einer bestimmten Aktion abhängig von dem individuellen Datensatz und dem Untersuchungskontext ist. Dabei spielen viele Faktoren eine Rolle. Die Wahl der Aufnahme sequenz und der Strahlendosis, die Verwendung eines Kontrastmittels oder die Körperfülle des Patienten haben beispielsweise starken Einfluss auf das Visualisierungssystem. Bei vielen Datensätzen ist es gar nicht möglich, anatomische Strukturen voneinander zu trennen, da sie sich anhand des aufgenommenen Datenwerts kaum unterscheiden. In diesen Fällen werden in der Forschung höherdimensionale Klassifikationsverfahren angewendet, die aus dem Datensatz zusätzliche Informationen errechnen. Der Gradientenvektor beispielsweise, ist ein einfaches Maß für die lokale Veränderung der Datenwerte in der Umgebung eines Messpunktes und kann

**Lernfähiges Visualisierungssystem**

Um die Einsatzfähigkeit komplexer Visualisierungssysteme in Zukunft zu verbessern, entwickelte die Fachgruppe für Computergraphik und Multimediasysteme der Universität Siegen den Prototypen eines Visualisierungssystems, das es ermöglicht Semantiken für bestimmte Aktionen anhand von Beispielen automatisch zu erlernen.

Um ein semantisches Modell für eine bestimmte klinische Untersuchungsprozedur zu erstellen, muss der Visualisierungsprozess mehrfach an unterschiedlichen Datensätzen durchexerziert werden. Während dieser Trainingsphase arbeitet ein Visualisierungsexperte mit einem erfahrenen Mediziner zusammen. Sie erstellen gemeinsam aussagekräftige Bilder für eine repräsentative Menge relevanter Datensätze in einem vorgegebenen Untersuchungsszenario. Dabei können sie sich soviel Zeit nehmen, wie sie benötigen und spielerisch verschiedene Einstellungen ausprobieren. Während dieser Prozedur sammelt das Softwaresystem Informationen über die benötigten Aktionen und Parametereinstellungen. Ein statistischer Algorithmus ermittelt anschließend automatisch die relevanten Parameteränderungen, die für bestimmte Aktionen notwendig sind. Informationstechnisch betrachtet, ist dieser Vorgang gleichzusetzen mit einer möglichst verlustfreien Datenreduktion durch Ausnutzung von Korrelationen. Mathematisch gesehen entspricht dies wiederum der Suche nach der optimalen Projektion eines hochdimensionalen Parameterraums in einen niedrigdimensionalen Unterraum.

**Gradient**

Der ‚Gradient‘ ist ein Maß dafür, wie stark sich ein Messwert in der nahen Umgebung seines Messpunktes ändert. Ein niedriger Gradient bedeutet, dass sich die Werte in der Umgebung kaum ändern (= homogene Regionen), während ein hoher Gradient auf einen steilen Anstieg oder Abfall hinweist.

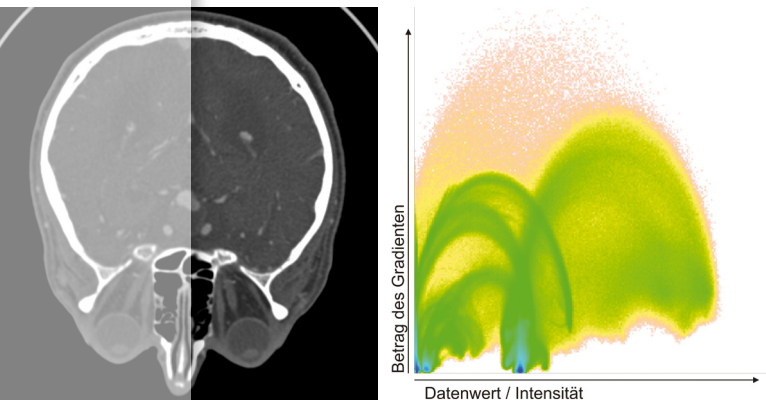


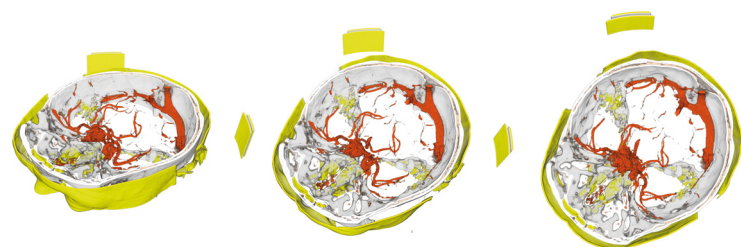
Abb. 4 und 5: Links: Axiales Schichtbild einer CT-Angiographie des menschlichen Kopfes. Die weißen Strukturen entsprechen dem Schädelknochen. Die hellgrauen Strukturen im Inneren sind die Blutgefäße, die durch Kontrastmittel hervorgehoben wurden. Rechts: Das 2D Histogramm eines Datensatzes zeigt die Korrelation zwischen Datenwert und Gradientenbetrag. Die blauen Peaks entsprechen den homogenen Gewebetypen. Übergänge zwischen unterschiedlichen Gewebetypen bilden parabelförmige Bögen im Histogramm.

Als Beispielszenario wurde eine Anwendung für die Behandlungsplanung intrakranieller Aneurysmen mittels CT-Angiographie (CTA) erstellt. Unter einem intrakraniellen Aneurysma versteht man die blasenförmige Erweiterung einer Arterie im Gehirn, die das

Abb. 6 (links und rechts): Interaktive Visualisierung in Echtzeit



verwendet werden, um Teilbereiche anhand ihrer Homogenität zu klassifizieren. Solche Verfahren führen allerdings schnell zu sehr komplexen Benutzerschnittstellen, die selbst für Experten oft nur schwer zu verstehen sind. In der klinischen Praxis kommen sie daher so gut wie nie zum Einsatz.



Risiko einer Hirnblutung birgt. Die CTA ist eine Computertomographie sequenz mit Kontrastmittel und wird in der klinischen Routine verwendet, um Blutgefäße dreidimensional aufzunehmen. Die Patienten-

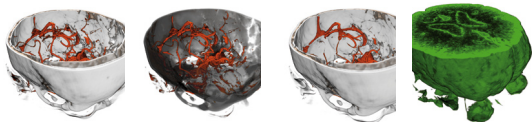
daten für das Untersuchungsszenario wurden von Dr. Bernd Tomandl von der Abteilung für Neuroradiologie des Klinikums Bremen-Mitte bereitgestellt.

Abbildung 4 zeigt ein typisches Schichtbild eines CTA Datensatzes. Das dazugehörige 2D Histogramm (Abb. 5) stellt die relative Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Datenwerts in Kombination mit einem bestimmten Gradientenbetrag farbcodiert dar. Die kleinen blauen Punkte am unteren Rand des Bildes sind die Peaks im Histogramm. Sie entsprechen den relativ homogenen Gewebetypen mit geringem Gradienten. An den Übergängen zwischen unterschiedlichen Gewebetypen steigt der Betrag des Gradienten zunächst an und fällt anschließend wieder ab. Dies ist im Histogramm an den parabelförmigen Bögen deutlich zu erkennen. Anhand dieser Eigenschaften lassen sich selektiv bestimmte anatomische Strukturen im Datensatz klassifizieren, um ihnen in der folgenden Visualisierung bestimmte Farbeigenschaften zuzuordnen (Abb. 2). Abbildung 6 zeigt das semantische Modell in der Anwendung. Die dreidimensionale Darstellung erfolgt in Echtzeit. Der Benutzer kann visuelle Eigenschaften, beispielsweise die Transparenz des Weichgewebes, oder den Kontrast zwischen Knochen und Blutgefäßen direkt und zielgerichtet beeinflussen. Für die Feineinstellung zur Anpassung des vordefinierten Modells an unterschiedliche Datensätze muss lediglich ein einziger Parameter justiert werden (Abb. 3).

Der am ‚Institut für Bildinformatik‘ entstandene Prototyp wird als wichtiger Baustein für die Entwicklung medizinischer Expertensysteme angesehen und hat auf internationalen Konferenzen großes Interesse gefunden. Für die Zukunft gilt es den Prototyp des Visualisierungssystems für unterschiedliche Anwendungsfälle im klinischen Alltag zu erproben. Hierzu werden zurzeit verstärkt klinische Partner aus unterschiedlichen Fachgebieten gesucht.

Verfasser: Dr. Christof Rezk-Salama

*Text und Bilder sind frei zum Wiederabdruck*



Zusatzmaterial, Texte, Bilder:  
[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)



**Ansprechpartner:**  
 Dr.-Ing. Christof Rezk-Salama  
 Universität Siegen  
 Institut für Bildinformatik, Fachgruppe  
 Computergraphik und Multimediasysteme

Hölderlinstr. 3, H-A 7109, 57076 Siegen  
 Telefon: ++49 271 740 2826  
 Fax: ++49 271 740 3337  
[rezk@fb12.uni-siegen.de](mailto:rezk@fb12.uni-siegen.de)

Institut für Bildinformatik  
<http://www.ivg.informatik.uni-siegen.de/>

Fachgruppe Computergraphik und Multimediasysteme  
<http://www.cg.informatik.uni-siegen.de/>

## andere Meldungen aus der Forschung

### Schule ist mehr als PISA – Demokratie als Lebensform, nicht nur als Lernziel

Das wissenschaftliche Vergrößerungsglas durch das die Öffentlichkeit, größtenteils unhinterfragt, den Mikrokosmos ‚Schule‘ seit einigen Jahren unter die Lupe nimmt heißt PISA. „Aber zu einer guten Schule gehört mehr als das Messen fachlicher Leistungen“, meint Prof. Dr. Hans Brügelmann. Durch die PISA-Testbrille sei kaum zu erfassen, was Schulen zur Persönlichkeitsentwicklung und zur Förderung demokratischer Haltungen beitragen, so Brügelmann.

‚Demokratische Grundschule‘ ist Titel und Thema einer internationalen Fachtagung über Chancen und Probleme der Mitbestimmung von Grundschulern, die das Forschungsinstitut für Geistes- und Sozialwissenschaften der Universität Siegen (FiGS) unter Leitung von Prof. Dr. Hans Brügelmann vom 19. bis 21. September 2007 veranstaltet.

Die Schule als einzige Institution, in der Kinder und Jugendliche aus allen sozialen Milieus aufeinander treffen, ist der Ort, an dem eine Gesellschaft zusammenwächst – oder Gruppen voneinander getrennt werden. Und sie ist alltäglicher Lebensraum, in dem Macht ausgeübt, Interessen ausgehandelt, Rechte respektiert oder missachtet werden.

Während der Siegener Tagung suchen Reformpädagogen und Wissenschaftler unterschiedlichster Disziplinen im Dialog nach Antworten auf Fragen der gerechten Chancenverteilung und Möglichkeiten der individuellen Nutzung von Freiräumen im Spannungsfeld zwischen optimaler Förderung des Einzelnen und den Ansprüchen auf Allgemeinbildung im demokratischen Lebens- und Lernraum Schule.

#### Informationen

Prof. Dr. Hans Brügelmann  
Forschungsinstitut für Geistes- und Sozialwissenschaften (FiGS)  
FB 2 – Erziehungswissenschaften und Psychologie  
Telefon: ++49 271 740 - 4470  
Telefax: ++49 271 740 - 2509  
oase@paedagogik.uni-siegen.de  
Elena\_Schiemann@gmx.de (Tagungsorganisation)

Homepage  
[http://www.uni-siegen.de/fb2/demokratische\\_grundschule/](http://www.uni-siegen.de/fb2/demokratische_grundschule/)

### Informatik-Fachtagungen: Unterrichten über die Zukunft

Zu drei Tagungen unter dem Gesamttitel ‚Unterrichten über die Zukunft‘ lädt der Fachbereich für Elektrotechnik und Informatik der Universität Siegen in der Woche vom 17. bis 21. September über 400 Vertreter aus Forschung und Praxis der Informatik ein.

#### ‚5. e-Learning Fachtagung Informatik – DeLFI 2007‘ der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI)

Die DeLFI-Tagung präsentiert neueste Ergebnisse aus Forschung und Praxis des E-Learnings und betrachtet alle Aspekte rechnergestützten Lernens und Lehrens in und außerhalb von Bildungseinrichtungen und Unternehmen. Anwendern, Entwicklern und Forschern wird hier ein Kontakt- und Kommunikationsforum geboten, um intensiv an der Realisierung innovativer und effizienter E-Learning-Konzepte zu arbeiten.

#### 12. GI-Fachtagung ‚Informatik und Schule – INFOS 2007‘

Unter dem Motto ‚Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis‘ fördert die INFOS 2007 in über 30 Vorträgen und Workshops den Austausch zwischen Informatiklehrkräften und Wissenschaftlern, um gemeinsame Interessen öffentlich zu formulieren und Anregungen und Perspektiven für den Informatikunterricht in beiden Sekundarstufen zu bieten.

#### 6. Informatiktag Nordrhein-Westfalen der GI-Fachgruppe ‚Informatische Bildung in NRW‘

Die Fachgruppe ‚Informatische Bildung in NRW‘ lädt Lehrende der Sekundarstufen I und II sowie der Berufskollegs und Studierende zum sechsten Informatiktag an die Universität Siegen. Vorträge und Workshops informieren über aktuelle Entwicklungen in der Schul-informatik und richten ihren Fokus auf das neu eingeführte Zentralabitur in NRW.

#### Informationen

Prof. Dr. Sigrid Schubert  
Didaktik der Informatik und E-Learning  
FB 12 – Elektrotechnik und Informatik  
Telefon: ++49 271 740 - 3457  
Telefax: ++49 271 740 - 3231  
schubert@die.informatik.uni-siegen.de

Homepage  
<http://www.die.informatik.uni-siegen.de>

Themen und Redner  
[http://www.nw.schule.de/gi/informatiktag/informatiktag2007/6\\_informatiktag\\_2007\\_in\\_siegen.pdf](http://www.nw.schule.de/gi/informatiktag/informatiktag2007/6_informatiktag_2007_in_siegen.pdf)

*Herausgeber*

Der Rektor der Universität Siegen  
Presse- und Informationsstelle Universität Siegen

*Redaktion*

Dipl. Medienw. Michael Hellermann (verantw.)  
Telefon ++49 271 740 4923  
Telefax ++49 271 740 4911  
hellermann@presse.uni-siegen.de  
extrakte@presse.uni-siegen.de  
www.extrakte.uni-siegen.de  
Herrengarten 3  
57068 Siegen

*Layout, Satz*

Peter Büdenbender, zettb.de

*Texte und Bilder sind frei zum Wiederabdruck*

*Bildnachweis*

*Titelblatt*

oben: Peter Büdenbender; unten: Spalte 1, 2, 3: Universität Siegen/ Michael Wagener;  
Spalte 4: Universität Siegen/ Christof Rezk-Salama

*Der DNS-Scanner – Gencheck mit Terahertz-Strahlung*

S. 2: Universität Siegen/ Michael Wagener;  
S. 3 oben rechts: Universität Siegen/ Zess;  
S. 3 unten: Universität Siegen/ Markus Döring;  
S. 4: Universität Siegen/ Michael Wagener;  
S. 5 oben: Universität Siegen/ Markus Döring  
S. 5 unten: Peter Büdenbender/ Michael Kreutz

*Farbe für die Medizin – Neue Lasertechnik bringt Licht in Therapie und Diagnostik*

S. 6 oben: Universität Siegen/ Michael Wagener;  
S. 6: Universität Siegen/ Rainer Bornemann  
S. 7: Universität Siegen/ Michael Wagener; S. 8 Illustration: Wikipedia/ User: Tatoute  
S. 8 unten: Universität Siegen/ Rainer Bornemann;  
S. 9 linke Spalte: Universität Siegen/ Michael Wagener;  
S. 9 rechte Spalte: Universität Siegen/ Rainer Bornemann

*Neurochirurgie: Adleryaugen für die Präzisionsmedizin*

S. 11: Universität Siegen/ Michael Wagener; S. 12: Universität Siegen/ Christof Rezk-Salama  
S. 13, 14: Universität Siegen/ Michael Wagener

*Anatomie dreidimensional: Zielgerichtet vom Röntgenbild zum virtuellen Körper*

S. 16, 17: Universität Siegen/ Christof Rezk-Salama