

Albrecht Winnacker

Technik und Technikwissenschaft

Erkenntnis und Gestaltung als komplementäre Aspekte

Das Jahr 2004 wurde zum Jahr der Technik ausgerufen. Entsprechend ihrer Aufgabe, Forum für aktuelle Fragen der Zeit zu sein, will auch unsere Universität in diesem Jahr besondere Zeichen setzen. Ein solches nach außen wirkendes Zeichen ist diese Sonderausgabe des UniKurier.

Es geht im Jahr der Technik vor allem darum, Technik als prägende Kraft unserer gesellschaftlichen und kulturellen Verhältnisse sichtbar zu machen. Dazu ist unsere Friedrich-Alexander-Universität in besonderer Weise in der Lage. Sie stellt, wie der Rektor gerade im Zusammenhang mit der aktuellen Spardiskussion wiederholt hervorgehoben hat, gewissermaßen zwei Universitäten in einer dar, indem sie eine klassische Universität mit einer Technischen Fakultät verbindet. Insofern ist es in hohem Maße zu begrüßen, dass das vorliegende Heft nicht etwa schwerpunktmäßig von der Technischen Fakultät gestaltet ist. Es zeigt vielmehr die vielfältigen Ansatzpunkte auf, die sich an unserer Universität für Aktivitäten in den Grenzbereichen zwischen der Technik und anderen Disziplinen bieten. Unter diesem Gesichtspunkt dürfte die Stoffauswahl dieses Heftes zustande gekommen sein. Es ist faszinierend zu sehen, dass durch einen solchen Ansatz nicht nur eine Sammlung von Themen mit interdisziplinärem Charakter, sondern zugleich auch eine Sammlung modernster Themen der Technik entstanden ist. Der Fortschritt der Technik vollzieht sich eben in hohem Maße in den Grenzbereichen zwischen den Disziplinen.

Wenn man nach Trends und Schwerpunkten in der Technik unserer Zeit fragt, so wird man, ohne Vollständigkeit beanspruchen oder ein Reihung vornehmen zu wollen, sicherlich Stichworte wie Informations- und Kommunikationstechnik, Life-Sciences, Medizin- und Bioverfahrenstechnik, neue Werkstoffe und Nanotechnologie sowie optische Techniken nennen dürfen. Die meisten der vorliegenden Aufsätze lassen sich mühelos in diese Bereiche einordnen. Dazu kommen Aufsätze, die die wichtigen Aspekte der Einbindung der Technik und ihrer Entwicklung in die gesellschaftlichen Zusammenhänge betrachten.

Wenn im Titel von „Technik und Technikwissenschaft“ die Rede ist, so weist dies auf zwei Aspekte des Themas „Technik“ an einer Universität hin. Der Technik geht es ja einerseits um das Machbare, um die Anwendung. Sie ist aber zugleich auch Wissenschaft. An einer Universität geht es also immer auch um den Erkenntniswert der Technik. In dieser Doppelaufgabe – Anwendung und Erkenntnis – wird oft ein Konflikt gesehen, formuliert auch als der zwischen Anwendung und Grundlagen. Wo liegen die Aufgaben der Universität, was sind überhaupt Grundlagen? Der Konflikt ist aber nicht so tiefgehend, wie es vielfach scheint oder behauptet wird. Beides greift eng ineinander, der Vorgang der Erkenntnis und der Vorgang der Gestaltung zu einer technischen Anwendung. Auch das wird in den Aufsätzen dieses Heftes deutlich.

Der interdisziplinäre Zug der modernen Technik muss sich auch auf die Lehre auswirken. Dieser Aspekt ist für die Technische Fakultät von besonderer Bedeutung. Ein prägender Grundgedanke bei der Gründung der Fakultät war ja der, die Ausbildung von Ingenieuren einzubinden in eine klassische Universität, um auf diese Weise den naturwissenschaftlichen Grundlagen ein besonderes Gewicht zu verleihen. Der Spiritus Rector auf Universitätsseite, der theoretische Physiker Helmut Volz, schrieb damals in visionärer Schwung: „Diese Technische Fakultät wird einen neuen Zug in das wissenschaftlich-technische Leben Deutschlands bringen. Sie soll dokumentieren, dass die Technik mitten hinein gehört in die übrigen Bereiche unserer geistigen Kultur, und sie soll unserem Land Ingenieure von einem neuen Typus liefern, die ganz nahe bei den mathematischen-naturwissenschaftlichen Grundlagen aufgewachsen und damit unmittelbar mit der Quelle des technischen Fortschrittes verbunden sind“. Das Jahr der Technik sollte für die Technische Fakultät, aber auch für die Universität insgesamt ein Anlass sein zu fragen: Was ist aus dieser Vision geworden, was bedeutet sie heute?

Wie alle großen Ideen, so kann auch diese zu Missverständnissen Anlass geben. Zum Beispiel zu dem Missverständnis, Technik sei im wesentlichen Angewandte Naturwissenschaft. Damit ist aber der Kern nicht erfasst. Ein Mediziner macht zwar Gebrauch von den biologischen Grundlagen, aber man wird ihn kaum als angewandten Biologen bezeichnen wollen. Auch bei dem Ingenieur als Schöpfer nützlicher Maschinen tritt ein eigenes Moment zu der Anwendung der Naturwissenschaft hinzu. Die Studienpläne der Technischen Fakultät tragen dieser Tatsache heute vermehrt Rechnung durch Betonung des spezifisch technischen Elementes. Zugleich muss aber der Gedanke der Interdisziplinarität in den Studienplänen und –angeboten heute stärker in den Vordergrund treten. Die beste Lösung scheint uns die Einführung von Vertiefungsfächern: Elektrotechniker mit Vertiefungsfach Medizintechnik, Fertigungstechniker mit Vertiefungsfach Betriebswirtschaftslehre. Solche Modelle werden vielfach erschwert durch die Kapazitätsgrenzen der Nachbarfakultäten. Das Modell einer Technischen Fakultät in einer klassischen Universität verlangt in diesem Bereich nach neuen Lösungen. Interdisziplinäre Einbindung der Technik ist eine Aufgabe aller Fakultäten!

Prof. Dr. Albrecht Winnacker hat 2001 das Amt des Dekans der Technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg übernommen und ist Inhaber des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaften VI/Werkstoffe der Elektrotechnik.



Abb. 1: Handwerklich geprägte
Automobilproduktion in einer Fertigungshalle.

Wilfried Feldenkirchen

Auf der Überholspur

Technik und Unternehmensgeschichte – das Beispiel der Automobilindustrie

Technische Innovationen zählen zu den faszinierendsten Gegenständen der Unternehmensgeschichte. Dazu gehört auch das Automobil, dessen Herstellung sich innerhalb von hundert Jahren von der handwerklich geprägten Werkstättenfertigung über die fordistische Fließfertigung der 1920er Jahre bis hin zur computer-gesteuerten „zweiten Revolution“ des späten 20. Jahrhunderts entwickelte. An der Geschichte dieser Branche lässt sich die Rolle technischer Neuheiten ebenso wie der wachsende Einfluss des internationalen Wettbewerbs beispielhaft zeigen.

Von der Werkstatt zur Massenproduktion

Die Erfindung des Automobils im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts geht zurück auf deutsche Maschinenbauer wie Carl Benz oder Gottlieb Daimler. Dennoch setzte sich der industriell betriebene Kraftwagenbau im Deutschen Reich vergleichsweise langsam durch. Die werk-

stattorientierte, dezentrale Produktion mit ganzheitlichen Arbeitsvollzügen und der Dominanz der Meisterwirtschaft blieb hier über den Ersten Weltkrieg hinaus typisch. Kraftwagen wurden traditionell in Einzel- oder Kleinserienfertigung mit einfachen Maschinen und einem hohen handwerklichen Aufwand gebaut (Abb. 1).

Im Gegensatz dazu setzte sich in den USA bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert die Massenherstellung durch, die im Wesentlichen auf Normierungs- und Standardisierungsmaßnahmen fußte. Mit Hilfe austauschbarer Teile wurden die Montageprozesse in eine Reihe einfacher, sich stets wiederholender Operationen zerlegt. Hohe Durchlaufgeschwindigkeiten senkten die Herstellungskosten auf einen Bruchteil.

Die im Jahr 1903 gegründete Ford Motor Company gilt als Pionier der Massenproduktion von Automobilen. 1908 brachte das Unternehmen mit dem „Modell T“ das erste standardisierte Auto-

mobil auf den Markt. Nach Einführung der Fließfertigung mit Hilfe automatischer Transportbänder im Jahr 1912 stieg die Anzahl der gefertigten Fahrzeuge von 1.700 im Jahr 1903 auf 248.307 im Jahr 1914. Die so eröffneten Möglichkeiten der modernen Skalenökonomie (economies of scale) verbanden den größtmöglichen Output mit sinkenden Kosten. Während das „amerikanische Modell“ so breite Käuferschichten erschloss, blieb das Auto in Deutschland weiterhin ein Luxusgut. Dass hier der Motorisierungsgrad bis zum Zweiten Weltkrieg weit hinter dem anderer westlicher Industrienationen zurückblieb (Abb. 2), hing auch mit den höheren Steuerbelastungen für Kraftfahrzeuge und Kraftstoffe zusammen.

Die Rationalisierungsbewegung der 1920er Jahre

Die wirtschaftliche Krisensituation nach dem Ersten Weltkrieg und die Stärke amerikanischer Mitbewerber wie Ford oder

KFZ je 10.000 Einwohner

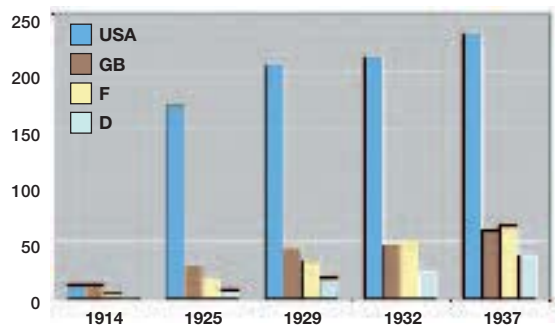


Abb. 2: Motorisierungsgrad in westlichen Industrienationen vor dem Zweiten Weltkrieg.

Wertmäßiger Anteil der Automobilindustrie am Bruttoinlandsprodukt in den Jahren 1952, 1960 und 1968 (in Preisen von 1991)

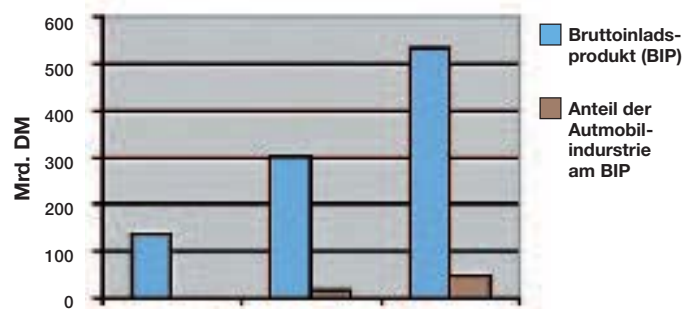


Abb. 4: Anteil der Automobilproduktion am deutschen Bruttoinlandsprodukt. Abbildungen: Lehrstuhl für Wirtschafts-, Sozial- und Unternehmensgeschichte

General Motors veranlassten deutsche Automobilhersteller gegen Mitte der 1920er Jahre zu Rationalisierungsmaßnahmen, so dass die durchschnittliche Arbeitsproduktivität im Jahr 1928 auf fast 260 Prozent des Standes von 1913 anstieg. Amerikanische Vorbilder und Erfahrungen aus der Rüstungsproduktion förderten die Normierung einzelner Bauteile. 1923/24 führte die Firma Opel die Fließfertigung ein und wurde damit zum Pionier des Fordismus in Deutschland.

Andere Hersteller wie Daimler-Benz setzten auf das Konzept der so genannten flexiblen Qualitätsproduktion. Dabei wurde die Fließfertigung durch Kontrollstationen zur Qualitätssicherung unterbrochen, so dass der Anteil manueller Tätigkeit vergleichsweise hoch blieb. Dennoch eröffneten amerikanische Produktionsmodelle zur Typenreduzierung und Standardisierung mittelfristig auch der deutschen Automobilfertigung den Übergang zum preisgünstigen Einheitsmodell. Der „Volkswagen“ wurde in den 1930er Jahren zur Initialzündung für die Massenmotorisierung. 1938, ein Jahr vor Kriegsbeginn, legte Hitler den Grundstein für das Volkswagenwerk in Wolfsburg, das

seinen Aufstieg jedoch erst im bundesdeutschen „Wirtschaftswunder“ nach dem Zweiten Weltkrieg nehmen sollte.

In den 1950er und 1960er Jahren bildete VW die Merkmale des amerikanischen Produktionssystems (Ein-Produkt-Strategie, Fließfertigung mit Fließbändern, Spezialmaschinen und Transferstraßen sowie Erhöhung der Fertigungstiefe und Einrichtung interner Komponentenwerke) geradezu idealtypisch aus (Abb. 3). Unter anderem deshalb hatte sich das Unternehmen in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre als einer der größten europäischen Automobilproduzenten etabliert.

Hohe Produktivität und Nutzung von Skalenerträgen bei sinkenden Stückpreisen machten die Automobilindustrie zur Schlüsselindustrie des deutschen Wirtschaftswunders. Insgesamt stieg ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt von 1,7 Prozent im Jahr 1952 auf 5,0 Prozent 1960 und weiter auf 8,9 Prozent im Jahr 1968 (Abb. 4) Erst mit der Rezession ab der zweiten Hälfte der 1960er Jahre gerieten die Automobilhersteller in eine Strukturkrise, die das fordistische Modell in Frage stellte. Die Verschärfung des Wettbewerbs und neue Anforderungen an die Differenzierung der Produkte wiesen auf ein „Flexibilitätsdilemma“ hin. Die standardisierten Abläufe der Massenproduktion ließen eine elastische Anpassung von Stückzahlen, Typen und Modellen an die Nachfrage nur begrenzt zu.

Der Aufschwung in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre leitete daher eine Wende zur flexiblen Massenproduktion ein, die insbesondere durch neue Technologien wie den Einsatz mikroelektronisch gesteuerter Industrieroboter und moderne Informations-, Steuerungs- und Kontrollsysteme sowie variable Transporteinrichtungen und typenunabhängig einsetzbare Mehrzweckmaschinen getragen wurde.

Investitionsmaßnahmen wie diese waren nicht zuletzt durch die Exportoffensive japanischer Hersteller zu Beginn der 1980er Jahre nötig geworden, die ihren Marktanteil in der Bundesrepublik auf 13 Prozent erhöhte. Eine MIT-Studie aus dem Jahr 1991, die den europäischen Herstellern drastische Produktivitätsrückstände gegenüber japanischen Wettbewerbern nachwies, lenkte die Aufmerksamkeit auf neue kostensenkende Fertigungsmethoden wie die Konzepte des „Just-in-time“ und der „Lean Production“, die auf flexiblen Zulieferstrukturen und auf einer geringen Lagerhaltung fußten. Zu Beginn der 1990er Jahre eröffnete Volkswagen als erster deutscher Hersteller zwei Werke nach dem Vorbild japanischer „Transplants“, die durch flache Hierarchien, eine geringe Fertigungstiefe, die logistische Vernetzung mit Zulieferern und eine teamförmige Arbeitsorganisation geprägt waren. Damit präsentiert sich die Automobilindustrie aus historischer Perspektive als eine der innovativsten Schlüsselindustrien der Weltwirtschaft. Als Modell für den transnationalen Know-how-Transfer fungiert sie heute als Wegbereiter einer globalen Wirtschaft.

Prof. Dr. Wilfried Feldenkirchen ist seit 1990 Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschafts-, Sozial- und Unternehmensgeschichte der Universität Erlangen-Nürnberg, der sich seit Jahren intensiv mit der Geschichte von Unternehmenswachstum und Strategiepoltik in der Automobilindustrie befasst und sich durch die Zusammenarbeit mit dem Stuttgarter Automobilbauer DaimlerChrysler zu einem wichtigen Standort der Automobilgeschichte entwickelt hat. Aus dieser Kooperation ging 2003 die Publikation „Vom Guten das Beste“ hervor, die sich mit der Fusionsgeschichte des Konzerns befasst.



Abb. 3: Der „Käfer“ als Prototyp eines preiswerten Modells für breite Käuferschichten.



Abb. 1: Spritze mit Glaskolben und Edelstahlkanüle. Medizinische Sammlung Erlangen

Marion M. Ruisinger

Ab in die Blutbahn

Die Injektionsspritze – Medizintechnik, Menschenbild und Marktwirtschaft

Medizinische Instrumente sind verätherisch – sie geben das Körperbild der Zeit preis, aus der sie stammen. Ein Aderlassschnäpper ist ohne die Humoralpathologie ebensowenig denkbar wie eine Insulinpumpe ohne die Endokrinologie. Dies gilt auch für die uns allen vertraute Injektionsspritze, die erst unter dem Wandel der medizinischen Konzepte allmählich ihre heutige Gestalt annahm.

Einfache Spritzen waren bereits in der Antike bekannt. In der frühen Neuzeit verwendete man auch eine Art „Spritzebeutel“, eine Tierblase, die mit einem Mundstück aus Metall oder Knochen verbunden war. Damit ließ sich Flüssigkeit in die Körperöffnungen pressen, um Nase,

Ohr, Harnröhre, Scheide oder Darm zu spülen. Einspritzungen in die Gefäße hingegen wurden nicht vorgenommen, solange die antike Lehre von der Physiologie des menschlichen Körpers wirkmächtig war. Dieser zufolge wird die Nahrung in der Leber zu dem Gemisch der vier Säfte (Blut, Schleim, gelbe Galle, schwarze Galle), das sich durch die Venen und Arterien im Körper verteilt und schließlich vom Gewebe aufgezehrt wird. Einspritzungen in die Adern hätten daher nur eine Wirkung auf den peripherwärts liegenden Körperabschnitt entfalten können. Wollte man die Qualität der Säfte in ihrer Gesamtheit beeinflussen, konnte dies nur auf diätetischem Wege erfolgen.

Im Jahr 1628 veröffentlichte William Harvey (1578-1657) seine berühmte Schrift „De motu cordis et sanguinis“ (Über die Bewegung des Herzens und des Blutes). Harvey untermauerte seine revolutionäre These vom Kreislauf des Blutes nicht nur mit Hunderten von Tierversuchen, sondern verwies auch auf Erfahrungen aus der Alltagswelt, so auf die rasche Ausbreitung des Giftes nach einem

Vipernbiss. Diese Beobachtung war der erste Hinweis darauf, dass man die Venen dazu nutzen könnte, um Arzneimittel im gesamten Körper zu verteilen.

In den 1660er Jahren kam es dann zu einem regelrechten „Injektions-Boom“, dem zahllose Hunde, aber auch einige Menschen, zum Opfer fielen. Für die als „Chirurgia infusoria“ oder „Neue Klistierkunst“ bezeichnete intravenöse Injektion bediente man sich im Wesentlichen der gleichen Metallspritzen oder Spritzbeutel (Abb. 2) wie für das Einspritzen in die Körperhöhlen. Um das stumpfe Mundstück in die Vene einführen zu können, musste diese vorher durch eine kleine Operation (Venae sectio) freigelegt und vorsichtig eingeschnitten werden. Die Einspritzung, deren Ausführung manche Parallele zum Aderlass aufwies, lag in der Hand des Chirurgen.

Die neue Methode konnte die in sie gesetzten Hoffnungen nicht erfüllen. Lorenz Heister (1683-1758) berichtete 1719 in seiner „Chirurgie“, dass die intravenöse Injektion, um die „von Anno 1660 ungefähr bis 1680, so grosser Rumor und Wesen [...] ist gemacht worden“, kaum mehr im Gebrauch sei. Sie gewann erst rund 200 Jahre später vor dem Hintergrund neuer physiologischer Erkenntnisse wieder an Bedeutung, als durch die pharmazeutischen Syntheseverfahren Medikamente auf den Markt kamen – allen voran das zur Syphilisbehandlung eingeführte Salvarsan – die so aggressiv waren, dass sie unmittelbar in die Blutbahn eingebracht werden mussten.

Für die intravenöse Einspritzung konnte man nun auf Spritzen zurückgreifen, die zwischenzeitlich für die subkutane Injektion von Opiaten u.a. Arzneimitteln entwickelt worden waren. Als Prototyp der modernen Injektionsspritze gilt das 1853 von Charles-Gabriel Pravaz (1791-1853) entworfene Modell aus Glas, Silber, Kautschuk und Leder, dessen Stempel mit einem Schraubgewinde versehen war, um eine genaue Dosierung zu ermöglichen (Abb. 3). Im Zuge der Asepsis wurde die anfängliche Materialvielfalt reduziert, sterilisierbare Ganzglasspritzen mit eingeschlifftem Kolben oder Glasspritzen mit Metallmontierung („Rekordspritzen“) wurden der neue Standard (Abb. 1).

Damit war die Injektionsspritze technisch ausgereift. Wenn sie ihre Gestalt weiter veränderte, dann nicht aus medizi-

nischen, sondern aus marktwirtschaftlichen Gründen: Die Entwicklung injizierbarer Medikamente wie Insulin und später Penicillin führte zu einem explosionsartigen Anstieg des Spritzenbedarfs, das 20. Jahrhundert wurde zum „injection century“. Die Hersteller reagierten auf die steigende Nachfrage zunächst mit der Automatisierung der Produktion, dann mit der Entwicklung von billigen Einwegspritzen, die im Laufe der 1950er Jahre die sterilisierbaren Mehrwegspritzen weitgehend verdrängten.

Die elegante neue Lösung brachte neue Probleme mit sich, denn Einwegspritzen setzen ein funktionierendes Müllentsorgungssystem und eine hinreichend ausgeprägte Wegwerfmentalität voraus – beides war und ist in vielen Ländern der Dritten Welt nicht gegeben. Durch die Wiederverwendung gebrauchter Spritzen und Kanülen wurde die segensreiche Erfindung für viele zum Fluch: Laut Schätzungen der WHO gehen jährlich etwa 1,3 Millionen Todesfälle an AIDS, Hepatitis B und C auf solche „unsafe injections“ zurück.

Durch neue Sprizentypen wird versucht, dem Rechnung zu tragen: Seit Mitte der 1980er Jahre gibt es die sterilisierbare Kunststoffspritze, wenige Jahre später wurden auf Veranlassung der WHO „selbstzerstörende Einwegspritzen“ entwickelt, die nach einmaliger Verwendung automatisch blockieren. Eine weitere Variante, die „Sicherheitsspritze“, bei der die aufmontierte Kanüle nach Gebrauch geschützt werden kann, soll die Gefahr der Nadelstichverletzungen minimieren.

Auch der wiederverwendbare, nadelfreie Injektionsapparat wird als Alternative zur subkutanen Einspritzung diskutiert, wegen der Gefahr der Kontamination aber kritisch gesehen. Aus der gleichen Überlegung heraus wurde am Klinikum Erlangen Anfang der 1980er Jahre auf den weiteren Gebrauch des Injektionsapparates „Dermojet“ verzichtet, der sich für die schmerzlose Lokalanästhesie beim Legen von Venenverweilkathetern bewährt hatte (Abb. 4).

Dr. Marion Maria Ruisinger ist wissenschaftliche Assistentin am Institut für Geschichte und Ethik der Medizin der Universität Erlangen-Nürnberg.

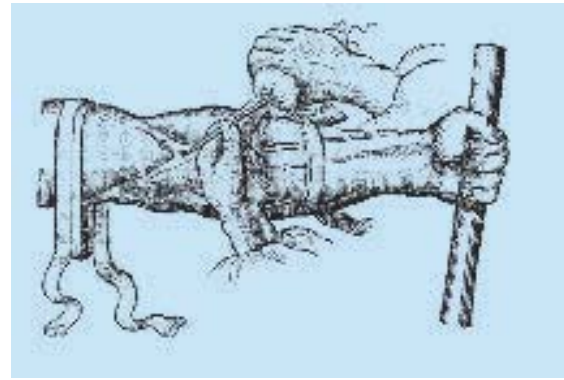


Abb. 2: Vor der Einspritzung wurde die gestaute Vene mit einem Skalpell eröffnet. Holzschnitt aus: Johann Daniel Major: Chirurgie infusoria. Kiel 1667

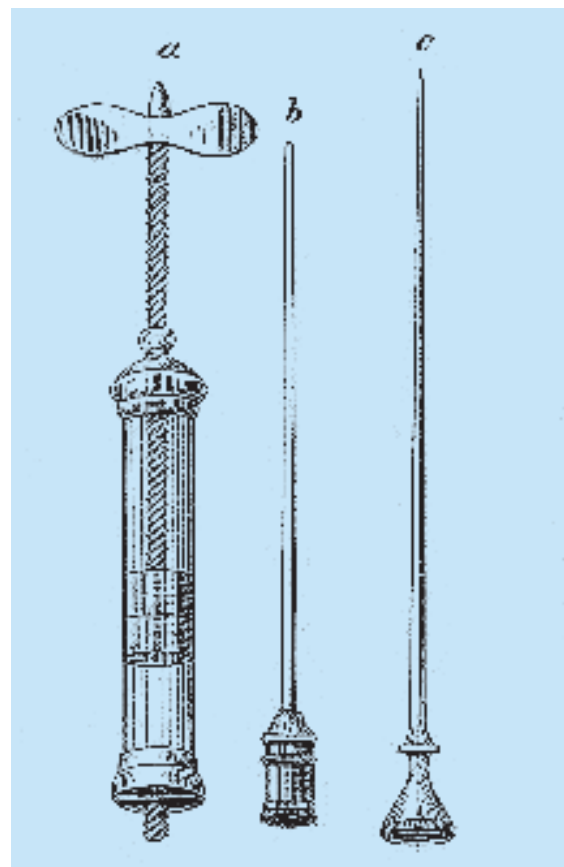
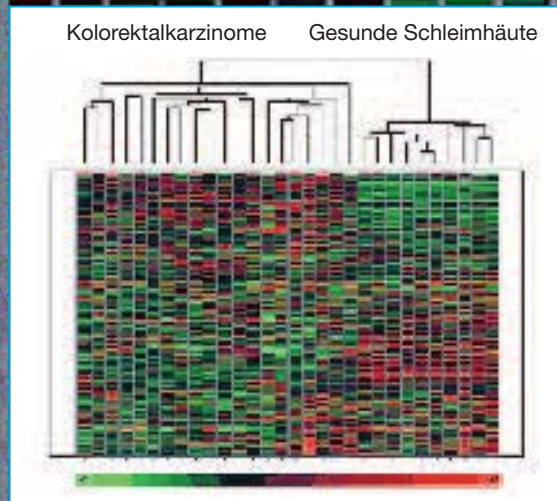


Abb. 3: Die Pravaz'sche Spritze (a) mit Hohlneedle (b) und Trokar (c). Lithographie aus: Albert Eulenburg, Die hypodermatische Injektion als Arzneimittel. Berlin 1865



Abb. 4: Dermojet Druckinjektor zur atraumatischen Lokalanästhesie. Medizinische Sammlung Erlangen



Michael Stürzl

Gen-Chip und Zell-Chip im Operationssaal

Vision einer Molekularen Chirurgie zur Behandlung bösartiger Tumoren

Dem Einsatz im Operationssaal wird selten der erste Gedanke gelten, wenn von dem ungeheuren Wissenszuwachs die Rede ist, den molekularbiologische Forschungsansätze der Medizin gebracht haben. Dennoch wäre solches Wissen, wenn es schnell genug verfügbar ist, eine zusätzliche solide Grundlage für Chirurgen, die beschließen müssen, wie umfangreich ein Eingriff zur Tumorbehandlung ausfallen soll. Noch können detaillierte Kenntnisse über biologische Vorgänge im Einzelfall nicht rechtzeitig zur Stelle sein, doch lässt sich jetzt schon absehen, welchen Nutzen Operateure und Patienten künftig aus der Hilfestellung von naturwissenschaftlicher Seite ziehen werden.

Pathologie als Entscheidungshelfer

In die chirurgische Behandlung bösartiger Tumoren sind derzeit vor allem Pa-

thologen einbezogen. Bereits intraoperativ entnimmt der Operateur ein Stück Gewebe und verschickt es in einem kleinen Plastikgefäß sofort über ein Rohrpostsystem. Dieses kleine Gewebestück wird den Fortgang der Operation entscheidend beeinflussen. Am anderen Ende der Rohrpost sitzt ein Pathologe, der in den nächsten Minuten ein sehr umfangreiches Programm zu bewältigen hat. Er wird das Gewebe einfrieren, aus dem gefrorenen Material 2-5 Mikrometer dünne Schnitte erzeugen, diese anfärben und unter dem Mikroskop begutachten. Diese Untersuchung soll zeigen, ob es sich um die vermutete Tumorart handelt, ob der Tumor gutartig oder bösartig wächst und ob mit Metastasen gerechnet werden muss. Bereits zehn Minuten später wird der Pathologe das Ergebnis den Chirurgen im Operationssaal mitteilen, die dementsprechend mit der Operation fort-

fahren. Diese als Schnellschnitt bezeichnete Methode stellt derzeit eine der wichtigsten Entscheidungshilfen während der Operation dar.

Was der Chirurg nicht weiß, ist, wie sich der Tumor speziell bei diesem Patienten entwickeln wird, ob der Patient zu postoperativen Komplikationen neigt, ob er eine gute oder schlechte Wundheilung besitzt und ob eine oder welche begleitende Therapie die Behandlungschancen verbessern wird. Wichtige Einblicke hierzu könnten über den Vergleich der Genexpression von Tumor und Normalgewebe eines Patienten erhalten werden. Die genetische Information des Menschen umfasst etwa 40.000 Gene. Gene sind in der Zelle in Form von Desoxyribonukleinsäure (DNS) gespeichert. Aktive Gene werden in spezifische Ribonukleinsäure-Moleküle (RNS) umgeschrieben, die dann in Proteine übersetzt werden. Abhängig vom Aktivierungsgrad eines Gens werden mehr oder weniger RNS-Moleküle gebildet.

Abb. 1: Vergleichende Analyse der Genaktivität in verschiedenen Kolorektalkarzinomen (n=20) und in gesunden Darmschleimhautproben (n=10). Dargestellt sind die Genaktivitätsmuster der verschiedenen Gewebeprobe. Angegeben sind Gene, die im Tumor (rot) bzw. im Kontrollgewebe (grün) stärker aktiv sind. Es fällt auf, dass die Muster der Genaktivitäten in den Kontrollgeweben einheitlicher als in den Karzinomen sind [Ergebnisse von Dr. Roland Croner, Chirurgische Klinik].

Rot oder grün:**Test für Tumor-Genaktivität**

Dies ist der Ansatzpunkt für die Verwendung von Gen-Chips, beschichteten Glasplättchen, auf die mittels mikrotechnologischer Verfahren an exakt vorgegebenen Positionen jeweils spezifische molekulare Angelhaken (Gensonden) für alle RNS-Moleküle des Menschen aufgetragen wurden. Alle RNS-Moleküle eines Tumors und, zur Kontrolle, des umgebenden Normalgewebes werden isoliert und mit einem roten (Tumor-RNS) bzw. grünen (Kontroll-RNS) Farbstoff markiert. Die markierten RNS-Moleküle werden in wässriger Lösung auf den Gen-Chip gegeben und lagern sich an den entsprechenden Gensonden an. Abhängig davon, ob ein Gen im Tumor oder Normalgewebe aktiver ist, färben sich die Sondenaustragsflächen rot oder grün.

Über die Farbe aller 40.000 Sondenaustragsflächen kann die gesamte Genaktivität beider Gewebetypen verglichen werden. In der Chirurgischen Klinik in Erlangen wird diese Methode routinemäßig für den Vergleich der Genaktivität von Kolorektalkarzinomen und Normalgewebe eingesetzt. Es konnten bereits über 200 Gene identifiziert werden, die in den beiden Gewebetypen unterschiedlich aktiv sind (Abb. 1). Sie werden gegenwärtig als molekulare Marker eingesetzt, um Karzinomzellen von normalen Körperzellen zu unterscheiden.

Einblick in Kooperation der Gene

Von noch größerer Bedeutung ist, wie diese 200 Gene bei der Karzinomentstehung zusammenwirken. Untersuchungen von Kombinationseffekten sind extrem aufwendig. Bereits die Untersuchung der Wirkung von 200 paarweise kombinierten Genen erfordert mehr als 20.000 Experimente. Erst vor zwei Jahren wurde mit der Zell-Chip-Analyse eine Methode beschrieben, mit der dieses Pensum bewältigt werden kann.

Ausgangspunkt ist wie beim Gen-Chip ein beschichtetes Glasplättchen, mit dem Unterschied, dass Nukleinsäuren aufgetragen wurden, welche in einer Zelle die Synthese der verschiedenen Genprodukte bewirken (Abb. 2A). Der Chip wird mit Zellen überbeschichtet, wobei die Bedingungen so gewählt werden, dass die Zellen über einem Auftragspunkt die entsprechenden Nukleinsäuremoleküle aufnehmen und das/die kodierte/n Protein/e synthetisieren (Abb. 2A, B). Auf einem einzigen Zell-Chip können bereits bis zu 2.000 Experimente zur Einzel- und Kombinationswirkung von Genen durch-

geführt werden. Das Verfahren wurde an der Chirurgischen Klinik in Zusammenarbeit mit dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Neuherberg etabliert.

Gegenwärtig dauern Gen-Chip- und Zell-Chip-basierende Verfahren noch mehrere Tage. Weltweite Anstrengungen zur Optimierung lassen jedoch den operationsbegleitenden Einsatz beider Techniken in nicht allzu ferner Zukunft als möglich erscheinen.

Naturwissenschaft und Medizin als Partner

Zum 1. August 2003 hat die Abteilung Molekulare und Experimentelle Chirurgie (AMEC) der Chirurgischen Klinik der Universität Erlangen-Nürnberg unter der Leitung von Prof. Dr. Michael Stürzl die Arbeit aufgenommen. Die Abteilung soll eine Plattform für die Zusammenarbeit von Medizinern und Naturwissenschaftlern bieten, um Neuentwicklungen der molekularbiologischen Grundlagenforschung schneller für die Diagnose und Behandlung bösartiger Erkrankungen verfügbar zu machen.

Um die Anwendung molekularbiologischer Verfahren in der Chirurgie zu fördern, hat die AMEC mit der Chirurgischen Klinik (Direktor: Prof. Dr. Werner Hohenberger) ein Partnerschaftsprogramm ein-

gerichtet. Dieses Programm ermöglicht es Naturwissenschaftlern, die Abläufe und Erfordernisse bei Operationen zu erfassen, und bietet umgekehrt Chirurgen detaillierte Einblicke in die Perspektiven und Möglichkeiten molekularbiologischer Forschung. Die interdisziplinäre Vernetzung der chirurgischen Forschung wird wesentlich dazu beitragen, dass der Operateur fundierte Entscheidungen treffen kann.

Prof. Dr. Michael Stürzl ist seit 2003 Professor für Molekulare und Experimentelle Chirurgie an der Universität Erlangen-Nürnberg und leitet die Abteilung Virale Vaskulopathie am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Neuherberg. Die Arbeiten werden durch den BioFuture-Forschungspreis des BMBF, den Förderschwerpunkt „Apoptosedefizienz und ihre Modulation bei malignen Erkrankungen“ der Deutschen Krebshilfe - Dr. Mildred Scheel-Stiftung, das Schwerpunktprogramm 1130 „Infektionen des Endothels“ der DFG, durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Bavarian-Quebec Research Cooperation), durch das Interdisziplinäre Zentrum für Klinische Forschung der Universität Erlangen-Nürnberg und den Wiener Wirtschaftsförderungsfonds (Co-operate Vienna 2003) unterstützt.

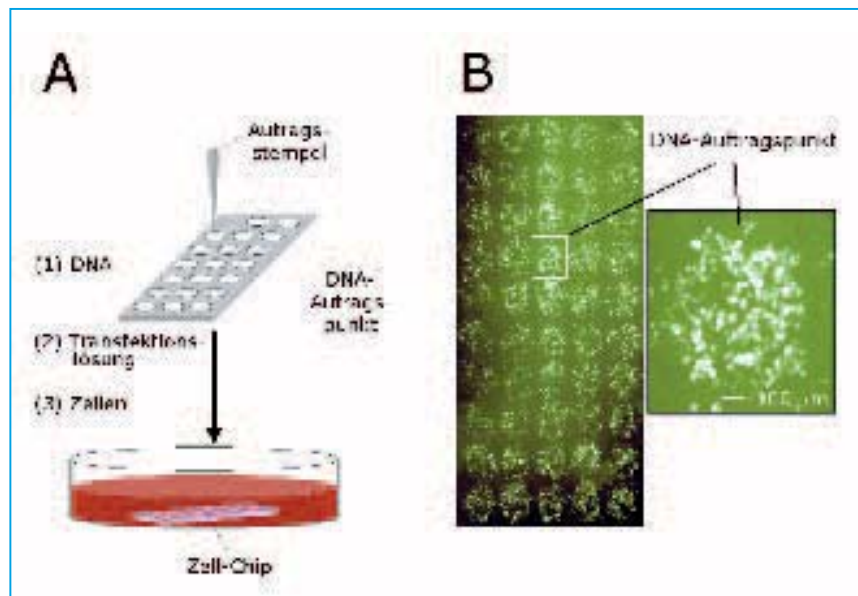


Abb. 2: (A) Schematische Darstellung der Zell-Chip-Analyse. Zuerst werden Desoxyribonukleinsäuren (DNA) aufgetragen, die für verschiedene Proteine kodieren. Nachfolgend werden die Chips mit einer Lösung beschichtet, die die Aufnahme der DNA in Zellen unterstützt. Dieser Prozess wird Transfektion genannt. Abschließend werden die Chips in geeignetes Nährmedium gegeben und mit Zellen überbeschichtet. Dies führt zur Aufnahme der DNA und zur Expression der entsprechenden Proteine. (B) Beispiel einer Transfektion auf einem Zell-Chip. Es wurden Nukleinsäuren auf den Chip aufgetragen, welche nach Aufnahme in die Zelle die Expression eines grün fluoreszierenden Proteins steuern. Rechts ist die Vergrößerung eines Auftragspunkts gezeigt. Der Durchmesser des Auftragspunkts beträgt 600 nm. Er ist von etwa 300 Zellen besiedelt, von denen etwa 70 Prozent das Fremdgen exprimieren. [Ergebnisse von René Leubert, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg]

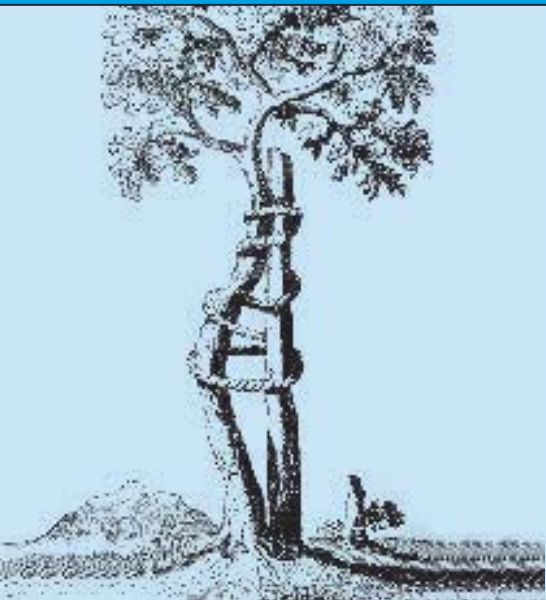


Abb. 1: Das Symbol der Orthopädie von Nicolas Andry

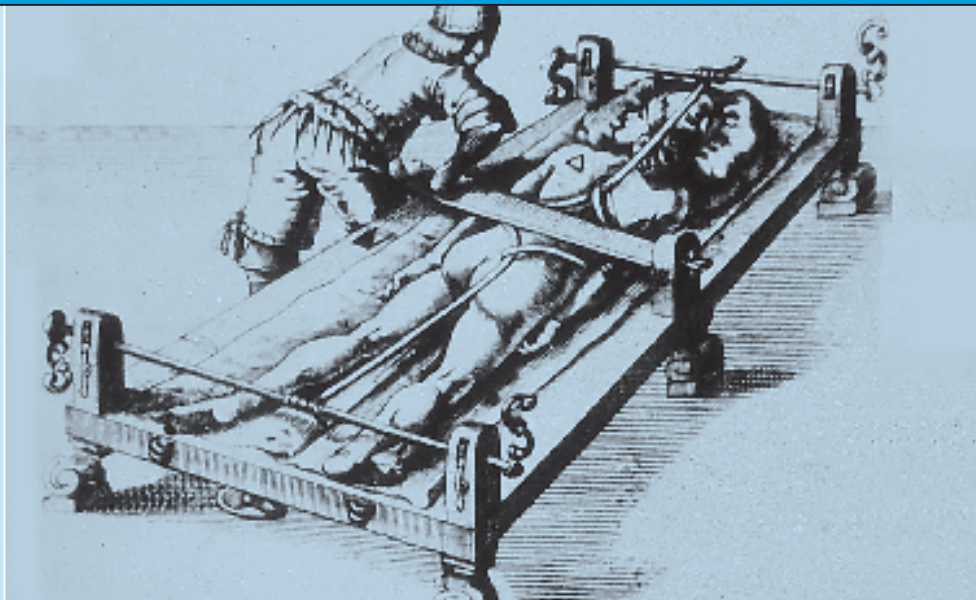


Abb. 2: Beispiel einer Skoliosebehandlung im 17. Jahrhundert.

Constantin Klöckner

Kleines Gelenk mit großer Wirkung

Eine neue Schraube hilft bei Wirbelsäulenoperationen

Der an einem geraden Stamm angebundene krumme Baum ist das Symbol der Orthopädie. Es geht auf Nicolas Andry zurück, der 1741 auch das Wort „Orthopädie“ prägte. Das Bild charakterisiert deren beide Heilprinzipien: die Wuchslenkung beim jugendlichen Individuum und die Stütztherapie beim „Krüppel“, wie körperlich Behinderte noch bis 1945 offiziell bezeichnet wurden. Mit Maschinen und Apparaten versuchte man in den ersten, zu Beginn des 19. Jahrhunderts gegründeten orthopädischen Kliniken und Instituten hauptsächlich Klumpfüße und Rückgratverkrümmungen, so genannte Skoliosen, zu „behandeln“. Heute werden bei der Behandlung von Rückgratverkrümmungen spezifische Operationsverfahren wie die Ventrale Derotations-Spondylodese (VDS) eingesetzt. In der Zusammenarbeit zwischen Medizinern und Ingenieuren konnte durch eine Implantat-Modifikation eine verfahrenstypische Komplikationsgefahr reduziert werden.

Die Skoliose der Wirbelsäule begünstigt deren Verschleiß und kann zu vermehrten Beschwerden im gesamten Bewegungsapparat führen sowie die kardiopulmonale Funktionsfähigkeit einschränken. Des Weiteren fühlen sich die Patienten durch die entstellende Kos-

metik beeinträchtigt. Mit operativen Eingriffen lässt sich die Fehlstellung zumindest teilweise korrigieren. Die VDS wird seit 1975 erfolgreich angewandt. Bei dieser Operationsmethode werden in die fehlstehenden Wirbelkörper Schrauben eingebracht, die durch einen flexiblen Gewindestab verbunden sind. Damit lässt sich eine dreidimensionale Korrektur der Deformität realisieren. Auf Grund der wirkenden Kräfte besteht jedoch die Gefahr von Schraubenausrisen im Endwirbelbereich.

Mit einer gelenkigen Verbindung zwischen Schraubenkopf und Gewinde der Schraube lässt sich die auf die Endschrauben wirkende Auszugskraft entscheidend verringern. Hierzu sind einige Erläuterungen notwendig. Beim VDS-Instrumentarium sind die Schrauben zu Beginn der Korrektur konvergierend zueinander ausgerichtet, gegen Ende der Korrektur kommt es zu einer annähernd parallelen Konfiguration. Durch die Korrektur der Skoliose und die damit verbundene Verschiebung der Schraubeneinstellung zueinander kommt es zu einer Veränderung der Kräfteverhältnisse im System. Vor allem die Endschrauben werden durch die einwirkende Querkraft einseitig belastet. Des Weiteren wird der axiale Gewindestab durch das Anziehen

der Muttern zwangsläufig stets im rechten Winkel zur jeweiligen Schraubenlängsachse ausgerichtet. Bei der Korrektur einer ausgeprägten Skoliose kommt es im Normalfall im begradierten Bereich zu einem seitlichen Versatz der Wirbelkörper in der Frontalebene. Zwischen jeweils zwei Schrauben wird dem Gewindestab dadurch eine bestimmte Form aufgezwungen. Auf Grund seiner Biegesteifigkeit übt der Gewindestab auf die Endwirbelschraube eine axiale Auszugskraft P_1 aus:

$$P_1 = 12 \cdot s \cdot E \cdot l_y : l^3$$

Die Auszugskraft ist also proportional dem Elastizitätsmodul E des Gewindestabs, dem Flächenträgheitsmoment l_y des Ge-

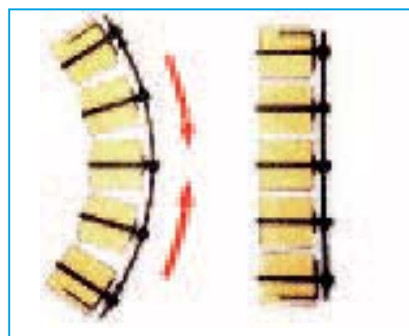


Abb. 3: Idealierte Schematisierung der Funktionsweise der VDS.

windestabs und dem seitlichen Versatz s der benachbarten Schraubenköpfe. Sie ist umgekehrt proportional zur dritten Potenz des Abstandes l zwischen den beiden Schrauben.

Hat die äußere Schraube jedoch ein Scharniergelenk, das eine Kippung in der Frontalebene zulässt, dann nimmt der Gewindestab beim Anziehen der Muttern eine andere Form ein. Die Auszugskraft P_2 an der Schraube bestimmt sich für diesen Fall wie folgt:

$$P_2 = 3 \cdot s \cdot E \cdot I_y : l^3$$

Bei der Schraube mit starrem Kopf ist die Auszugskraft theoretisch also viermal so hoch wie bei einer Schraube mit Scharniergelenk. In der Realität ist dieser Faktor jedoch wegen des Spiels zwischen Mutter und Gewindestab wahrscheinlich deutlich geringer. Um die wahre Reduzierung der Auszugskraft durch ein Scharniergelenk zu ermitteln, wurde die Auszugskraft für beide Schraubentypen experimentell bestimmt. Dazu wurde vom Hersteller des VDS-Implantats (Fa. Ulrich, Ulm) eine modifizierte Schraube mit einem Scharniergelenk zwischen Gewindeteil und Kopf hergestellt. Diese Schraube erlaubt eine Kippung des Kopfes um jeweils 20° in beide Richtungen und damit wird eine exakt rechtwinklige Ausrichtung des Gewindestabs zur Schraubenlängsachse verhindert. Die modifizierte Schraube kann mit dem übrigen VDS-Instrumentarium kombiniert werden. In einer experimentellen Untersuchung konnte eine Reduktion der Schraubenauszugskraft auf 51 Prozent bei Anwendung der modifizierten Schraube nachgewiesen werden. Die Differenz zwischen theoretisch und experimentell ermittelter Auszugskraft lässt sich durch das Spiel zwischen Gewindestab und Mutter erklären.

Die Schraube wurde nach entsprechenden biomechanischen Belastungstests mit dem CE-Zeichen versehen. Mittlerweile wird die Schraube in der Orthopädischen Universitätsklinik der Universität Erlangen-Nürnberg eingesetzt. Die kurzfristigen klinischen Ergebnisse bestätigen die theoretischen und experimentellen Untersuchungen.

Priv.-Doz. Dr. Constantin Klöckner ist Leitender Oberarzt an der Orthopädischen Universitätsklinik der Universität Erlangen-Nürnberg. Die Arbeiten wurden gemeinsam mit Dr.-Ing. Antonius Rohlmann und Prof. Dr.-Ing. Georg Bergmann, Biomechanik-Labor der Charité, Universitätsmedizin Berlin, Campus Benjamin Franklin durchgeführt.



Abb. 4: VDS-Instrumentarium mit herkömmlichen Schrauben (links) und modifizierter Endwirbelschraube (rechts) mit Gelenkverbindung.

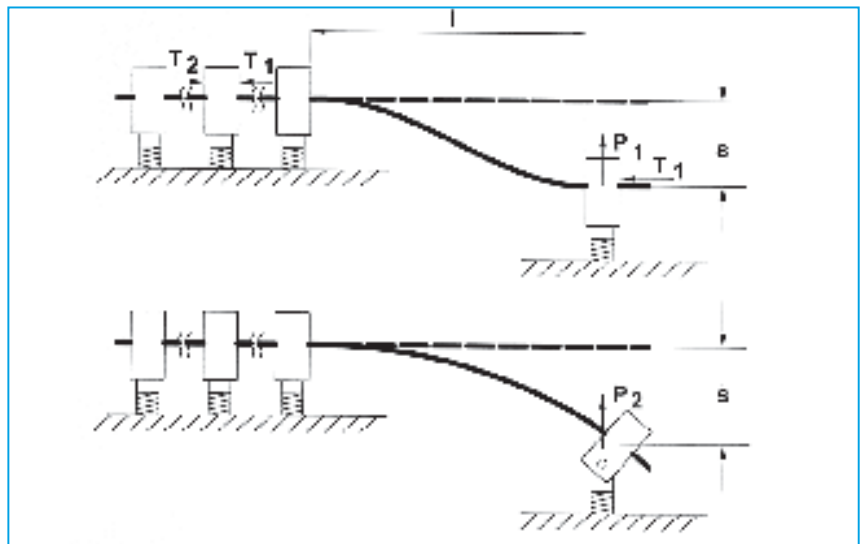


Abb. 5: Schematisierte Darstellung der Versuchsanordnung zur Bestimmung der Auszugskraft der herkömmlichen Schraube (oben) und der modifizierten Schraube (unten).

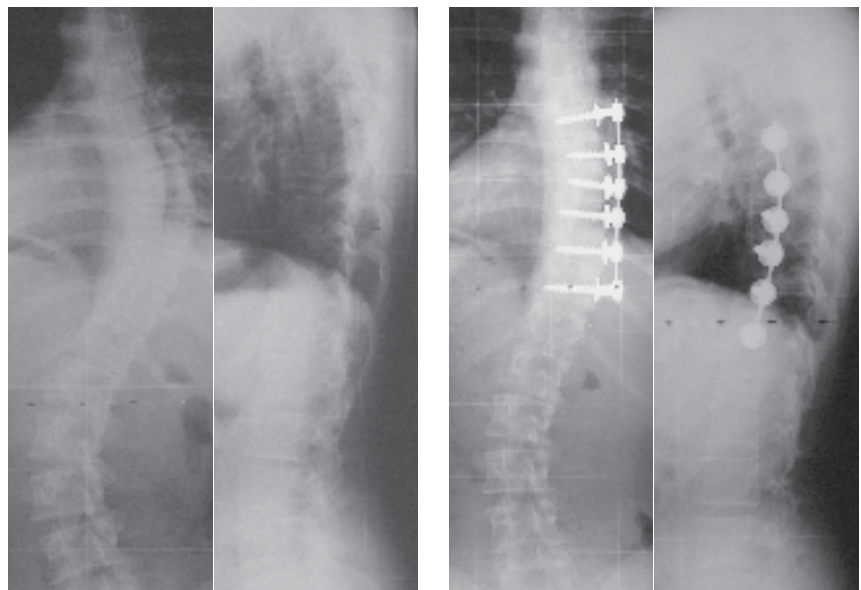


Abb. 6: Röntgenbilder präoperativ (links) und ein Jahr postoperativ (rechts) einer mit dem modifizierten Instrumentarium versorgten Patientin.

Abb. 1: Ein Shopping-Dreirad macht der Einkauf für ältere Menschen bequem und sicher.
Foto: PFAU-TEC



Ellen Freiberger

Die stille Epidemie

Sicherheit vor Stürzen im höheren Lebensalter – der Beitrag der Technik

Wir leben in einer Gesellschaft, in der sich der Anteil der über 60jährigen von fünf Prozent um die Jahrhundertwende auf heute fast 22 Prozent gesteigert hat. Für das Jahr 2030 werden knapp 35 bis 38 Prozent prognostiziert, wobei sich besonders der Anteil der über 80jährigen überproportional verändert. Überraschenderweise belegen neuere Erhebungen, dass bis zu drei Viertel der über 85jährigen noch alleine ihren Alltag meistern können. Allerdings ist diese Selbständigkeit im Alter beispielsweise durch Stürze stark gefährdet.

Nicht zu Unrecht nennt die Geriatrie Stürze im Alter die „stille Epidemie“. Gemäß internationalen Studien stürzt jeder dritte über 65 Jahre alte Mensch mindestens einmal im Jahr. In der Gruppe der über 80jährigen steigert sich dieser Anteil auf 40 bis 50 Prozent. Rund zehn Prozent der Stürze haben behandlungsbedürftige Folgen – mit entsprechenden finanziellen Konsequenzen. Für Morbidität und Mortalität bei den über 65jährigen sind Stürze eine der häufigsten Ursachen, und fast 40 Prozent der Heimeinweisungen lassen sich unter anderem auf Stürze zurückführen.

Spirale der Unsicherheit

Doch die wirtschaftlichen Folgen sind nur ein Aspekt des Themas. Ein Sturz ist für

viele Betroffene ein einschneidendes Ereignis mit weitreichenden Konsequenzen. Aus Angst vor weiteren Stürzen schränken viele Ältere ihre Aktivitäten ein und setzen damit eine verhängnisvolle Spirale in Gang. So verlieren diese Menschen weitere Kompetenzen zur Gleichgewichtserhaltung und provozieren damit den nächsten Sturz. Außerdem droht für die Betroffenen eine soziale Isolation mit einer Minderung der Lebensqualität.

Die Ursachen für Stürze sind vielfältig. Im Alltag zum Beispiel stellen nicht abgesenkte Bürgersteige, kurze Ampelschaltungen und Treppen ohne Handläufe unterschiedliche Herausforderungen an den älteren Menschen. Studien haben in diesem Zusammenhang gezeigt, dass durch gezielte Trainingsprogramme Sturzanzahl sowie Sturzhäufigkeit reduziert werden können.

Am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Universität Erlangen-Nürnberg findet ein Forschungsprojekt unter der Leitung von Dr. Ellen Freiberger statt, das den Einfluss eines multifaktoriellen Interventionstrainings bei selbständig lebenden 70- bis 90jährigen untersucht. Alle 160 Teilnehmer dieser randomisierten Kontrollstudie wurden einem Eingangstest unterzogen, in dem motorische Faktoren, z.B. Gleichgewicht, Ganggeschwindigkeit und Kraftmessungen in den

Beinen, kognitive Faktoren wie Merkfähigkeit und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit sowie die Aufmerksamkeit erhoben wurden. Zusätzlich beantworteten die Teilnehmer Fragebogen zur Lebensqualität und zu ihrer Angst vor Stürzen und Selbstwirksamkeit. Danach wurden die älteren Menschen per Los der Experimentalgruppe oder der Kontrollgruppe zugeteilt.

Die Experimentalgruppe bekam ein viermonatiges, multifaktorielles Training, das zweimal die Woche für je eine Stunde stattfand. Jeweils eine dieser Stunden war motorischen Übungen vorbehalten, in der anderen wurden unterschiedliche Themen theoretisch behandelt. Die motorischen Übungseinheiten beinhalteten vorwiegend Wahrnehmungstraining und koordinative Trainingselemente, Gleichgewichts- und Kraftübungen. Ein wichtiges Element war zudem die reflektive Verarbeitung der Übungseinheiten, z.B. um den Bezug zum Alltag herzustellen, nach dem Motto „Warum trainieren wir dieses Element überhaupt?“.

Bewusst geändertes Verhalten

In den theoretischen Trainingseinheiten informierten zunächst Vorträge die Teilnehmer über die Veränderungen, die der Alternsprozess für den menschlichen Körper bedeutet, und deren Folgen sowie über Daten und Fakten zum Thema Stürze. Im weiteren Verlauf wurde das Thema Angst und Stürze in einem kognitiv-verhaltensorientierten Ansatz behandelt. Die Teilnehmer lernten zuerst, die Angst auslösenden Gedanken bewusst wahrzunehmen und die entsprechenden Folgen im Verhalten zu erkennen. Anschließend wurden mögliche Verhaltensänderungen besprochen.

Der letzte Teil der theoretischen Einheiten galt gezielt den Hilfsmitteln. Studien haben belegt, dass durch den Einsatz eines Hüftschutzes (Abb. 2) die durch Stürze bedingte Schenkelhalsfraktur bei gefährdeten Senioren vermeidbar ist. Da die überwiegende Anzahl von Stürzen im engeren Wohnumfeld geschieht, sind Wissenschaftler dabei, spezielle Systeme als Personennotruf zu entwickeln, die Stürze automatisch erkennen und weiterleiten. Ein solches Notrufsystem soll in die Uhr oder den Fingerring integriert werden und die Defizite herkömmlicher Geräte ausschließen.

Das Fahrradfahren gehört gerade in einer „Fahrradstadt“ wie Erlangen für ältere Menschen zur alltäglichen Routine. Viele Teilnehmer der Studie gaben an, Probleme beim Fahrradfahren zu haben. Es

wurden Alternativen aufgezeigt, z.B. bietet der Handel für Senioren mit Gleichgewichtsproblemen Shopping-Dreiräder an (Abb. 1).

Nach vier Monaten ging die Interventionsphase mit einer Abschlussveranstaltung zu Ende. Die Kontrollgruppe wurde in der Zwischenzeit telefonisch alle vier Wochen kontaktiert, um für Stürze relevante Daten zu erheben. Nach vier Monaten nahmen alle Teilnehmer der Studie an einem Post-Test teil.

Zur Zeit laufen Telefoninterviews mit allen Studienteilnehmern über einen Zeitraum von weiteren sechs Monaten; danach werden alle Teilnehmer zum letzten Mal getestet, um Auskunft über Langzeitwirkungen der Intervention zu erhalten. Die Ergebnisse stehen noch aus. Weitere Forschungsprojekte mit anderen Interventionsschwerpunkten sind am Institut für Sportwissenschaft und Sport in der Planung. Was Wissenschaft und Technik tun können, um die Unfallgefahr für ältere Menschen zu begrenzen, soll geschehen.

Dr. Ellen Freiburger ist wissenschaftliche Assistentin am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Erziehungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg. Ihre Forschungsschwerpunkte umfassen Bewegungskoordination im Alter, Kognition und Koordination im Zusammenhang mit dem Alternsprozess, körperliche Aktivität und Gesundheit sowie altersbedingte Stürze.



Abb. 2: Hüftprotektoren schützen bei einem Sturz vor Knochenbrüchen.
Foto: SAFEHIP, Rölke Pharma, Hamburg



Internet-Adressen zum Thema Stürze im Alter
www.aktiv-in-jedem-alter.de
www.aekno.de/htmljava/a/kammerarchiv/sturzpraevention.pdf
www.pflegen.net/wissen/literatur/sturzpraevention.html



Abb. 1: Risiken und Nutzen der Technik beschäftigen den Gesetzgeber. Quelle: Deutscher Bundestag/Siegfried Bükler

Klaus Vieweg

Technik und Recht im Wechselspiel

Gesetzliche Regeln unter den Bedingungen von Dynamik und Komplexität

Spätestens mit der Industrialisierung hat die Technik in fast jeden Lebensbereich Einzug gehalten. Produktion, Transport, Energieversorgung, Kommunikation, Dienstleistungen, Haushalt und Freizeitgestaltung sind ohne Technik nicht mehr vorstellbar. Auch das Recht erfasst – wenn auch mit unterschiedlicher Intensität – alle Lebensbereiche. Es gibt – man mag das beklagen – keine „rechtsfreien Räume“ mehr. Nimmt man Wirtschaft, Naturwissenschaften und Ethik hinzu, so wird deutlich: Die Beziehung von Technik und Recht bildet nur einen Ausschnitt aus einem vernetzten, komplexen System. Bei isolierter Betrachtung dieses Ausschnitts sind starke wechselseitige Abhängigkeiten und Einflüsse erkennbar. Als Mittel des Rechts kann Technik der Rechts- und Entscheidungsfindung dienen. Radarfallen und Videoüberwachung sowie der Rückgriff auf technische Sachverständige vor

Gericht sind Beispiele hierfür. Umgekehrt vereinnahmt das Recht die Technik in ihrer Vielfalt als Objekt.

Da Technik nützen und schaden kann, schafft sie Konfliktpotentiale, die rechtlicher Ordnung bedürfen. So hängen einerseits Art und Weise der wirtschaftlichen Ausnutzung der Technik davon ab, ob sie rechtlichen Schutz, z. B. durch Patente genießt. Das Recht regelt ebenfalls, unter welchen Voraussetzungen Technik genutzt werden darf. Beispiele hierfür sind Vorgaben für energiesparende Heizungsanlagen und deren Prüfung durch Schornsteinfeger sowie die Fahrerlaubnis für Kraftfahrzeuge. Andererseits begründen die mit der Technik verbundenen Gefahren einen besonderen Regelungsbedarf. Neue Techniken erweisen sich als Kristallisationskerne neuer Rechtsgebiete: Rundfunkrecht, Atom- und Strahlenschutzrecht, Datenschutz-

recht, Medizinprodukterecht und Gentechnikrecht zeigen dies.

Technikrecht hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einem eigenständigen Rechtsgebiet entwickelt. Sinnfälliger Ausdruck dafür sind die drei Universitätsinstitute in Trier (seit 1989), Erlangen (seit 1991)¹⁾ und Dresden (seit 1994) sowie die erstmals in Erlangen im Jahre 2003 erteilte Lehrbefugnis für Technik- und Wirtschaftsrecht. Allerdings ist Technikrecht eine Querschnittsmaterie und somit nicht klar abgegrenzt.

Kennzeichen des Technikrechts

Dynamik und Komplexität der Technik spiegeln sich in drei Charakteristika des Technikrechts. Zum einen fällt ein zeitlicher Abstand zwischen der Entwicklung einer Technik und ihrer rechtlichen Regelung auf. So fuhr das erste von Carl Benz entwickelte Kraftfahrzeug 1886 auf

öffentlichen Straßen, die gesetzliche Regelung des Straßenverkehrs ließ jedoch noch 24 Jahre auf sich warten. Man kann dieses Phänomen als „legal lag“ bezeichnen. Eine zeitnahe oder sogar vorausschauende rechtliche Regelung würde angesichts der Komplexität der Technik den Gesetzgeber in aller Regel überfordern. Nur ausnahmsweise erfolgt – wie beim Verbot des Klonens menschlicher Embryonen (1991) – im Vorgriff eine rechtliche Regelung. Zum anderen verlangen insbesondere die Komplexität der Technik, ihre Innovationsorientierung und die nicht immer exakt vorherzusehenden Folgen nach differenzierenden gesetzgeberischen Lösungen. Nicht verwunderlich ist deshalb die Fülle spezialgesetzlicher Regelungen und die damit einhergehende Rechtszersplitterung. Zum Dritten wird – staatsentlastend – privater Sachverstand in einem besonderen Umfang durch Gesetzgebung, Verwaltung und Rechtsprechung rezipiert. Technische Normen – wie die DIN-Normen – und das technische Sachverständigenwesen (z. B. TÜV) belegen dies eindrucksvoll.

Wie bereits erwähnt, gibt es kaum noch „rechtsfreie Räume“. Überspitzt kann man von einer verrechtlichten Welt sprechen. Die vom Deutschen Institut für Normung (DIN) erstellte Datenbank „Technisch relevante Rechtsvorschriften“ erfasst 1.530 Gesetze, 4.313 Verordnungen und 6.030 Verwaltungsvorschriften des Bundes und der Länder sowie Richtlinien der EU. Diese Regelungsfülle verwundert nur auf den ersten Blick. Geradezu bescheiden nimmt sie sich aus im Vergleich mit den technischen Normen privater Normungsorganisationen wie dem DIN, dem Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) und dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Allein das DIN-Normenwerk und die VDE-Bestimmungen füllen über 125.000 Druckseiten.

Schon hinter der klassischen Ingenieurfrage „Wie sicher ist sicher genug?“ verbergen sich Zielkonflikte zwischen technischer Sicherheit und Praktikabilität einerseits und finanzieller Machbarkeit andererseits. Hinzu kommt, dass es weder eine absolute Sicherheit noch ein allgemein anerkanntes Risiko-Akzeptanz-Kriterium gibt. Aufgabe des Staates ist es, eine Schädigung seiner Bürger durch technische Risiken möglichst zu vermeiden. Dazu dienen das technische Sicherheitsrecht und die zivilrechtliche Haftung, also die Pflicht zur Zahlung von Schadensersatz und Schmerzensgeld. Die Effizienz dieses In-

struments beruht nicht zuletzt darauf, dass die Durchsetzungsinitiative bei den unmittelbar Betroffenen liegt. Ihr persönlicher Schaden ist hier der Garant dafür, dass Technikfehler und -folgen vor die Gerichte gelangen.

Beispiel Patentrecht

Schutz und Vermarktung technischer Informationen werden insbesondere durch die gewerblichen Schutzrechte, vor allem durch das Patentrecht gewährleistet. In Deutschland kommt es erst Ende des 18., Anfang des 19. Jahrhunderts in einzelnen Ländern – z. B. in Bayern und Preußen – zum Erlass patentrechtlicher Regelungen. Das erste reichseinheitliche Patentgesetz wird 1877 verabschiedet. Ein vorausgehender längerer Streit zwischen Anhängern und Gegnern wird unter der Federführung Werner von Siemens' (1816 - 1892) durch einen Kompromiss gelöst: Eine sogenannte Zwangslizenz wird für den Fall eingeführt, dass die Benutzung einer Erfindung im öffentlichen Interesse geboten ist, sich der Patentinhaber aber weigert, dies gegen eine angemessene Vergütung zu gestatten.

Die Zwecke des Patentrechts sind vielfältig. Neben dem Schutz der Erfinderpersönlichkeit soll es in erster Linie motivieren, Kenntnisse über gewerblich verwendbare Erfindungen preiszugeben, damit die Allgemeinheit Nutzen daraus

ziehen kann und der technische Fortschritt forciert wird. Für seine Leistung wird der Erfinder durch ein Schutzrecht belohnt, das ihm einen Vorteil im Wettbewerb verschafft.

Neben der Dynamik der Technik tragen insbesondere die europäischen und internationalen Einflüsse dazu bei, dass das Technikrecht selbst einem ständigen Wandel unterliegt. Wirtschaft, Technik und Recht bilden insoweit eine untrennbare Einheit. Der Rechtsverbund aus europäischem und nationalem Technikrecht hat seinen inneren Grund vor allem in der wirtschaftlichen Logik des Binnenmarktes. Dies gilt sowohl für das technikbegrenzende Sicherheitsrecht als auch für die technikfördernden gewerblichen Schutzrechte, insbesondere das Patentrecht.

Prof. Dr. Klaus Vieweg ist Inhaber des Lehrstuhls für Bürgerliches Recht, Rechtsinformatik, Technik- und Wirtschaftsrecht und leitet das Institut für Recht und Technik der Universität Erlangen-Nürnberg seit dessen Gründung im Jahr 1991.

¹⁾ Einen Überblick über die Tätigkeitsfelder des Instituts für Recht und Technik gibt der aus Anlass des 10-jährigen Bestehens erschienene Symposiumsband „Spektrum des Technikrechts“, herausgegeben von K. Vieweg, 2002 (www.irut.de).



Abb. 2: Auch für die Abwasserbehandlung gibt es rechtliche Vorschriften. Foto: Kurt Fuchs



Heinrich von Veldeke: Eneas-Roman. Vollfaksimile des Ms. germ. fol. 282 der Staatsbibliothek zu Berlin, Preußischer Kulturbesitz.

Friedrich M. Dimpel

Digitales Mittelalter

Der Handschriften-Diebstahl in Veldekes Eneasroman als Fiktion

Hat vor über 800 Jahren ein Diebstahl stattgefunden? Um die Frage zu diskutieren, ob damals tatsächlich ein wichtiges Manuskript entwendet wurde, ist es keineswegs zu spät. Im Gegenteil bietet erst jetzt die Computerphilologie neue Möglichkeiten, verlässliche Spuren zu entdecken. Als Werkzeug literatur-

wissenschaftlich-detektivischer Arbeit ist das für philologische Fragestellungen entwickelte Textanalysesystem „Erlanger Mittelalter-Statistik“ (ErMaStat) einsetzbar, das in der germanistischen Mediävistik Neuland betritt. Erstmals sind hier die Erfassung einer großen Zahl verschiedenster Textmerkmale und die Aus-

wertung der gewonnenen Daten durch ein statistisches Prüfverfahren in einem einzigen Programmpaket integriert.

Am Ende des 12. Jahrhunderts hat Heinrich von Veldeke mit dem Eneasroman den ersten höfischen Roman in deutscher Sprache verfasst. Zwar sind uns bei vielen mittelhochdeutschen

Texten die Umstände der Entstehung und die genaue Datierung unbekannt, der Epilog jedoch des „Eneas“ gehört zu den kostbarsten Gönnerzeugnissen des Mittelalters. Veldeke habe, so der Epilog, sein unvollendetes Manuskript der Gräfin von Kleve geliehen, ein Graf Heinrich habe es der Gräfin gestohlen. Erst nach neun Jahren habe Veldeke das Manuskript zurückerhalten und das letzte Fünftel des Werkes fertigstellen können. Aufgrund dieser Angaben wurde eine Datierung zwischen 1170 und 1186 möglich.

Der Bericht vom Handschriftendiebstahl wurde von der Forschungsliteratur bis vor kurzem für authentisch gehalten. Zuletzt hat jedoch Tina S. Weicker die These vertreten, der Bericht könne literarische Fiktion sein, Beispiele für fiktive Manuskriptverluste gebe es etwa in der Antike genug.

Über diese These kann mit traditionellen philologischen Methoden kaum eine Entscheidung getroffen werden. Eine Alternative bietet ein computerphilologischer Ansatz. Der Reiz, der von solchen quantifizierenden Verfahren ausgeht, liegt in der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit: Korrekt erhobene Zahlen kann man kaum anzweifeln, allenfalls kann man ihre Bewertung in Frage stellen. Freilich können statistische Erhebungen die hermeneutische Tätigkeit des Philologen nicht ersetzen, sie können aber eine Entscheidungshilfe bei Streitfragen sein, bei denen durch traditionelle Forschung anders keine Einigkeit zu erzielen ist.

Verräterische Textmerkmale

Mit der Textanalysesoftware „ErMaStat“ können mittelhochdeutsche Versromane in Hinblick auf statistische Unterschiede untersucht werden. „ErMaStat“ erfasst eine große Anzahl verschiedener Textmerkmale, da es in der Forschung bislang keine Einigkeit gibt, anhand welcher Textmerkmale sich Autoren, Werke oder Werkabschnitte unterscheiden. Die Vielzahl der Textmerkmale, die in „ErMaStat“ erhoben werden, reicht von einfachen quantitativen Merkmalen wie Wort- oder Satz-längen über Vokal- und Konsonantenverteilungen, über Funktionswörter und einfache Stilmittel zu syntaktischen Phänomenen, zu lexikalischen Untersuchungen bis hin zu einer metrischen Analyse.

Zunächst wird die Häufigkeit der jeweiligen Textmerkmale ermittelt. Um die Frage beantworten zu können, ob die Unterschiede bei einem Textmerkmal zwischen zwei Texten signifikant sind, wird ein statistisches Prüfverfahren eingesetzt, der Wilcoxon-White-Test. Unter-

schiede zwischen zwei Textpassagen gelten dann als signifikant, wenn die Hypothese, dass die Unterschiede durch den Zufall bedingt sind, mindestens mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent zurückgewiesen werden kann.

„ErMaStat“ stellt Computer und Statistik in den Dienst der Philologie. Es geht hier nicht um eine weitere Ausbreitung des Herrschaftsbereichs von Informatik oder Statistik, sondern darum, den Computer als Hilfsmittel für Fragestellungen einzusetzen, die der Literaturwissenschaftler formuliert; es geht um Textmerkmale, die mit dem Stil eines Textes zusammenhängen. Besonders deutlich wird die Relevanz nicht mathematischer, sondern philologischer Kompetenz bei dem aufwendigsten Teilprojekt: der automatischen metrischen Analyse. Bei einer Fehlerquote von ca. 3 Prozent erkennt das Programm, welche Silben betont und welche unbetont sind. Dabei werden Textmerkmale wie Kadenztyp oder Alternierungsindikatoren erfasst, die wichtige stilistische Analyse Kriterien bieten.

Schwindende Unterschiede

Nimmt man den Eneas-Epilog beim Wort und geht von einer neunjährigen Arbeitsunterbrechung aus, so wäre zu erwarten, eine derart lange Pause würde sich in einer Änderung der sprachlich-stilistischen Eigenschaften an der Stelle niederschlagen, bei der Veldeke die Handschrift abhandeln gekommen ist. Ob das der Fall ist, wird mit „ErMaStat“ geprüft. Der Epilog nennt diese Stelle: *unz daz der hêre Ênêas frowen Lavînen brief gelas*. Diese Angabe bezieht sich auf die Zeile 290,5. Um festzustellen, ob die Schwankungen bei diesem Einschnitt größer sind als die übrigen Schwankungen im Roman, wird der Roman in vier Abschnitte segmentiert, die ersten beiden Segmentgrenzen liegen dabei auf 100,1 sowie 200,1. „ErMaStat“ vergleicht die vier Romansegmente miteinander und untersucht dabei jeweils 606 verschiedene Textmerkmale. Die ausführlichen Ergebnisdaten stehen im Internet unter www.dimpel.de/veldeke, hier die Überblickswerte:

Textsegment	Verse	Signifikante Unterschiede
I-II	17,1ff-100,1ff.	12.0%
II-III	100,1ff.-200,1ff.	15.2%
III-IV	200,1ff.-290,5ff.	4.5%

In den beiden ersten Spalten steht, welche Textsegmente miteinander verglichen werden. Die Prozentzahlen daneben geben an, wie hoch der Prozentsatz der signifikanten Unterschiede von den möglichen signifikanten Unterschieden ist. Entscheidend ist die letzte Zeile: Bei dem Vergleich der Textsegmente III und IV, also der Textsegmente, die unmittelbar vor und nach dem behaupteten Handschriftenverlust entstanden sind, sind nur bei 4,5 Prozent von allen untersuchten Textmerkmalen tatsächlich signifikante Unterschiede vorhanden. Nimmt man eine Arbeitsunterbrechung bei 290,5 an, so sollten die Unterschiede zwischen den Segmenten III und IV deutlich größer sein als die zwischen den Segmenten I und II sowie zwischen II und III. Doch das Gegenteil ist der Fall: Zwischen III und IV gibt es mit 4,5 Prozent noch nicht einmal halb so viele Unterschiede, wie zwischen den übrigen Textsegmenten gemessen wurden. Dieser Befund spricht mit frappierender Klarheit gegen einen sprachlich-stilistischen Bruch und somit gegen eine längere Arbeitspause bei 290,5. Eine plausible Erklärung dafür wäre, dass sich die stilistische Entwicklung Veldekes zum Romanende hin stabilisiert haben könnte.

Eine neun Jahre dauernde Arbeitsunterbrechung wird durch diese Ergebnisse wenig wahrscheinlich, während die eingangs zitierte These von Weicker an Gewicht gewinnt – es könnte sich beim Epilog um eine Diebstahls-Fiktion handeln. Damit werden sogar Konsequenzen für die Datierung des Romans denkbar: Den Beginn von Veldekes Arbeit am „Eneas“ deutlich vor 1180 anzusetzen, wäre demnach nicht länger notwendig.

Dr. Friedrich Michael Dimpel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Germanische und Deutsche Philologie der Universität Erlangen-Nürnberg und der Arbeitsstelle Europäische Literatur des Mittelalters. Er hat die Textanalysesoftware „Erlanger Mittelalter-Statistik“ (ErMaStat) entwickelt.



Abb. 1: Mit zunehmender Erfahrung gelang es den Menschen im Alt- und Mittelpaläolithikum, immer feinere Geräte aus Feuerstein herzustellen. Allerdings ist die Entwicklung nicht linear, sondern sehr komplex. Funde: Ur- und Frühgeschichtliche Sammlung der Universität Erlangen-Nürnberg.

Der frühe Wille zur Gestaltung

Die Anfänge der Technik in der Steinzeit

Christian Züchner

Bereits vor 3,5 Millionen Jahren wanderten unsere Vorfahren aufrecht durch die ostafrikanische Savanne und haben ihre Fußspuren auf dem Boden von Laetoli in Tansania hinterlassen. Ob sie im Lebenskampf noch allein auf ihre Hände angewiesen waren oder bereits einfache Hilfsmittel oder Werkzeuge aus vergänglichen Materialien verwendet haben, wissen wir nicht.

Vor rund 1,8 Millionen Jahren fing der „Homo habilis“ in Ostafrika an, systematisch Steingeräte herzustellen, in dem er natürliche Gerölle nach bestimmten Regeln zerschlug, um scharfe Arbeitskanten zu gewinnen. Mit diesem Ereignis beginnt nach der in der archäologischen Forschung üblichen Definition die Menschheits- und Kulturgeschichte im engeren Sinn, wohl vor allem deshalb, weil wir uns selbst als schöpferisches Wesen betrachten, das nicht nur gelegentlich natürliche Gegenstände zu Hilfe nimmt, sondern das seine Hilfsmittel selbst produziert.

Mit der Anfertigung solch einfacher Steingeräte werden erstmals geistige Prozesse greifbar, die bis heute weiter wirken: handwerkliche bzw. technische Fähigkeiten, das Streben nach Verbesserung und Innovation, das Gefühl für Formen und Normen und der Wille, die Hilfsmittel über das rein Funktionale hinaus zu gestalten.

Der Fortschritt beginnt

Zunächst schritt die Entwicklung unendlich langsam voran. Mit der Spaltung von Geröllen konnte man nur einfache Kanten zum Schneiden oder Hacken erzeugen. Vor etwa 1,5 Mio. Jahren begann der „Homo erectus“, auch die Ränder und Oberflächen der Gerölle zuzurichten. Es entstanden zunächst einfache Faustkeile mit unregelmäßigen, wellenförmigen Arbeitskanten, später Typen mit regelmäßigen Schneiden und ovalem bis triangulärem Umriss. Neben dem technologischen Fortschritt drücken sich darin Gestaltungswille und Formgefühl der frühen Menschen aus.

Die paläolithischen Steingeräte bestehen aus kieselsäurehaltigen Gesteinen, die nahezu unvergänglich sind. Sie prägen unsere Vorstellung allzu einseitig von der Urzeit als „Steinzeit“. Rund 400.000 Jahre alte, sehr sorgfältig gearbeiteten Holzspeere des Homo erectus von Schöningen (Niedersachsen) belegen die Verwendung auch vergänglicher Materialien.

Beim Herrichten von Faustkeilen entstanden scharfkantige Abschläge. Zunächst mögen diese als Zufallsprodukte verwendet worden sein. Vor rund 200.000 Jahren entwickelten die frühen Neandertaler Strategien, solche Abschläge gezielt herzustellen, um sie dann zu standardisierten Werkzeugen weiter zu verarbeiten. Vielfältige Schaber und Spitzen, aber auch Faustkeile kennzeichnen das „Moustérien“ und das „Micoquien“, die materiellen Hinterlassenschaften der Neandertaler. Die Sesselfelsgrötte im unteren Altmühltal hat eine Abfolge dieser Kulturen in einer rund sieben Meter mächtigen Schichtenfolge bewahrt. Sie ist heute Eigentum der Universität Erlangen-Nürnberg.

Vor rund 40.000 Jahren wanderten mit dem *Homo sapiens sapiens* unsere eigenen Vorfahren aus Afrika in Europa ein. Sie besaßen hoch entwickelte Technologien zur Bearbeitung von Feuerstein, Knochen, Geweih und Elfenbein. Die Verarbeitung gerade der organischen Werkstoffe setzte gute Materialkenntnis voraus, die nur durch lange Erfahrung erworben worden sein konnte.

Komplexe Kunstfertigkeit

Die Anfänge von Kunst und Religion liegen im Dunkeln. Bereits der *Homo erectus* und die frühen Neandertaler haben begonnen, mehr als nur „Nützlich“ zu tun: Linien und schalenförmige Vertiefungen in Felswände und Felsblöcke zu schleifen und in großem Umfang roten Ocker zu verwenden. Vor etwa 35.000 Jahren schuf der moderne Mensch hoch entwickelte Kunstwerke aus Elfenbein, Knochen und Stein. Am bekanntesten sind die Statuetten aus dem Vogelherd im Lonetal. Die rund 15.000 Jahre alten Malereien von Altamira und Lascaux wurden keineswegs nur mit natürlichen Farben (Ocker, Mangan, Holzkohle) gemalt. Vielmehr kannten die Künstler komplexe Rezepturen für die Herstellung ihrer Malmittel. Der Farbauftrag setzte geeignetes Werkzeug voraus, die Dunkelheit in den Höhlen funktionsfähige Lampen, die Konfiguration der Räume die Errichtung von Gerüsten.

Während der Altsteinzeit waren Tongefäße und geschliffene Steinbeile noch unbekannt. Diese Erfindungen blieben den neolithischen Bauern vorbehalten, die um 5500 v. Chr. aus dem Vorderen Orient in Mitteleuropa eintrafen. Der Klimawandel am Ende der Eiszeit hatte die Menschen gezwungen, sich neue Ressourcen zu erschließen. Es entstanden Ackerbau und Viehzucht, um

ausreichend Nahrungsmittel zu produzieren. Die Folge waren Sesshaftigkeit und die Herausbildung entsprechender Sozialstrukturen. Damit waren die Grundlagen für unser heutiges Denken und Handeln gelegt. Ihre Wurzeln reichen unendlich weit in die Anfänge der Menschheit zurück. In diesem Sinne kann die prähistorische Archäologie sehr viel beitragen zum Verständnis der Gegenwart, die so ganz anders zu sein scheint als die Vergangenheit und es doch nicht ist.

Dr. Christian Züchner ist als Akademischer Direktor am Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Erlangen-Nürnberg tätig und fungiert seit 1973 als Kustos der universitätseigenen Ur- und Frühgeschichtlichen Sammlung.



Abb. 2: Im Jungpaläolithikum erreichte die Bearbeitung von Geweih, Knochen und Elfenbein eine hohe Blüte. Die Harpunen aus Laugerie-Haute (Frankreich) sind rund 12.000 Jahre alt. Funde: Ur- und Frühgeschichtliche Sammlung der Universität Erlangen-Nürnberg.



Abb. 1: Schwebfliege im Dauerversuch zur Intratracheal-Druck- und Sauerstoffmessung. a) mit Laufkugel und b) im Fluge.

Lutz T. Wasserthal

Wunderwerke der Mikromechanik

Insekten – Hochleistungs-Organismen mit effizienten Problemlösungen

Artenzahl und Formenvielfalt wie individuelle Leistungsfähigkeit kennzeichnen Insekten als die erfolgreichsten Tiere. Ihre Kreislauf- und Atemmechanik befähigt sie zur Stoffwechselsteigerung bis zum Faktor 150 und zu sparsamer Energienutzung. Die auch bei Insekten interagierenden, noch wenig verstandenen Versorgungsmechanismen stehen im Mittelpunkt der Arbeiten von Prof. Dr. Lutz Thilo Wasserthal. Seit 1986 erforscht er mit seiner Arbeitsgruppe in Erlangen das Atem- und Kreislaufsystem der besonders flugtüchtigen und ausdauernden Insekten wie der kolibri-ähnlich fliegenden Schwärmer, der Schmeiß- und Schwebfliegen sowie der Hornissen. Aber auch Hungerkünstler wie die Schaben, Langschläfer wie Falterpuppen und Nashornkäfer sowie die Gottesanbeterinnen gehören zu den aktuellen Untersuchungsobjekten. Unerwartetes Raffinement und perfekte Koordination treten dabei zutage.

Überlegenes Konstruktionsprinzip?

Alle Insekten besitzen ein Außenskelett aus einem biologischen Kompositfaserwerkstoff, einer Protein-Grundsubstanz mit eingelagerten Chitinfasern und wasserabweisenden Wachs-Schichten. Wie eine Fahrzeug-Karosserie schützt dieses kutikuläre Skelett die inneren Strukturen. Als tragende Spangenkonstruktion ragen Fortsätze zur Befestigung der Muskulatur

und wichtiger Organe nach innen. Auch das Atemsystem entstammt dem Außenskelett. Verzweigte Luftröhren, die Tracheen, entspringen an den Körperseiten und leiten die Atemluft bis in die Gewebszellen (Abb. 2). Die Öffnungen sind mit mehrschichtigen Filter-Reusen und Ventilen ausgestattet. Der Sauerstoff wird also in der Gasphase direkt zu den Verbrauchsstellen transportiert. Damit wird die um das etwa 300.000fach höhere Diffusionsgeschwindigkeit gegenüber der Flüssigphase genutzt. So erübrigen sich Atempigmente wie das Hämoglobin. Da das Blut keinen Sauerstoff zu transportieren braucht, ist z. T. nur eine so geringe Blutmenge nötig, dass Aristoteles die erwachsenen Insekten für blutlos hielt.

Die Blutarmut und der Verzicht auf ein Adersystem halten das Gewicht niedrig, was zum Fliegen unabdingbar ist. Fluginsekten bestehen im Innern zu 40 bis 60 Prozent aus Luft! Das offene Kreislaufsystem, in dem eine Mischung aus Blut und Lymphe, die Hämolymphe, die Organe direkt umspült, galt lange Zeit als technisch simpel. Tatsächlich bietet es viele Vorteile. Es ist extrem tolerant gegenüber Druck- und Volumenschwankungen. Es gibt weder Gefäßverstopfungen noch innere Blutungen. Die bei Larven und Puppen reichliche Hämolymphe wird nach der Metamorphose um den Faktor 3 bis 10 reduziert und dabei

eingedickt. Das fehlende Volumen wird bei adulten Fluginsekten ersetzt, indem die Luftsäcke des Tracheensystems zwischen den Organen aufgespannt werden (Abb. 3). Dies geschieht durch einen geringen Unterdruck im Hämocöl, der auch ein Verbluten bei äußeren Verlet-

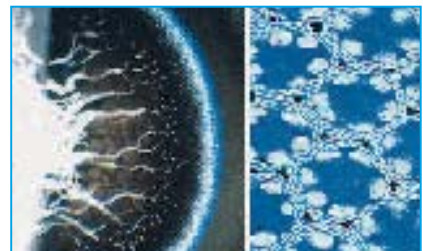


Abb. 2: Tracheenaufzweigungen im Nachtfalterauge. a) Tracheolen im Augenhintergrund sorgen für gute Sauerstoffversorgung und wirken als Lichtreflektor. b) Der Querschnitt zeigt die dichte Anordnung von ovalen Tracheolen um jedes Sehelement in der Retina. Abbildungen: Lehrstuhl für Zoologie I.



Abb. 3: Luftsäcke und Luftkammer in der Brust eines Schwärmers (Längsschnitt). Die Aorta bildet eine Kühlschleife zwischen den Flugmuskeln. Anordnung wie in Abb. 4.

zungen verhindert. Da die Voraussetzungen für einen Atemgas-Austausch über Diffusion derart günstig sind, wurde angenommen, dass Insekten sich darauf beschränken und ohne Ventilation atmen. Damit wurde auch ihr limitiertes Größenwachstum erklärt. Dagegen konnte Prof. Wasserthal nachweisen, dass auch in den kleinsten Insekten, wie der Tauflye *Drosophila*, das Tracheensystem durch unauffällige Mechanismen ventiliert wird und die limitierte Größe der Insekten andere Ursachen haben dürfte.

Komplizierte Hydraulik

Beim ruhenden Insekt wird die Hämolymphe durch periodische Herzschlagumkehr abwechselnd im Vorder- und Hinterkörper angereichert. Dies führt zu einer kompensatorischen Volumenänderung des Tracheensystems. Abdomenmuskeln, Herz und Hilfsherzen in Kopf und Brust wirken zusammen, um die geringe Hämolympfmenge effizient als Hydraulikflüssigkeit einzusetzen. Dabei arbeiten die Pumporgane z.B. der Schmetterlinge in hierarchischer Serie wie die Vakuumpumpen eines Elektronenmikroskops. Ventile im Hämocöl ermöglichen, dass Druckunterschiede innerhalb des Körpers erzeugt und aufrecht erhalten werden können. Besonders extrem ist die Hämocöl-Druckdifferenz zwischen Schmetterlingskörper und Saugrüssel, der mit einem Überdruck von mehreren kPa versorgt und entrollt wird.

Fliegen reagieren bekanntlich besonders schnell, was für eine besonders gute Versorgung des Fliegenkopfes spricht. Tatsächlich ergaben Strömungs-, Intratrachealdruck- und Sauerstoff-Messungen, dass eine Doppelpumpe im Fliegenkopf so effizient arbeitet, dass ihre Pulse noch in der Brust wahrnehmbar sind. Die Pumpe besteht aus einer Stirn- und einer Hinterhauptskomponente, die über zwei Muskelstränge miteinander verbunden sind und gleichzeitig bewegt werden. Die mit den hinteren Pumpenmuskeln verwachsenen Luftsäcke werden parallel mit den Vorpulsen des Herzens ventiliert. Dies ließ sich sogar in Röntgen-Video-Aufnahmen direkt sichtbar machen (am ESRF, Grenoble, in Kooperation mit Prof. Dr. Rainer Fink, Physikalische Chemie 2).

Turbinen-Belüftung im Flug

Untersuchungen der Atemgas-Versorgung im Fluge, einer besonders schwierigen und erst kürzlich erfolgreich bearbeiteten Materie, deckten äußerst unterschiedliche Ventilations-Mechanismen auf.

Besonders effizient ventilieren die Schwärmer die Luft (Abb. 1). Ihr Sauerstoffgehalt ist im Fluge höher als in der Ruhe, fast so hoch wie in der Außenluft. Bei den Schwärmern arbeitet der Flugapparat analog einer Turbine: Im Fluge erzeugt er einen gerichteten Atemluftstrom, der in das erste Paar Atemöffnungen eingesaugt wird und durch das zweite Stigmenpaar zusammen mit der CO₂-haltigen Abluft ausgeblasen wird (Abb. 4). Der für den Einstrom nötige Unterdruck wird beim Abschlag durch Erweiterung einer Luftpumpe hinter den Abschlagmuskeln erzeugt. Zugleich schließen sich die hinteren Atemöffnungen, und die Luft kann nur vorne einströmen. Beim Aufschlag verkleinert sich das Luftpumpenvolumen, und es öffnen sich die hinteren Atemöffnungen, durch welche die Atemluft ausgepresst wird. Die vorderen Atemöffnungen haben dementsprechend eine mehrschichtige Filterreize, während die hinteren Ausströmstigmen nur eine nach außen gerichtete Klappe besitzen.

Während der Sauerstoff über die Tracheen in die Gewebe transportiert wird, entsorgt die Hämolymphe das beim Atmen freigesetzte CO₂. Sie wird während des Fluges kontinuierlich von vorne nach hinten durch die Zwischenräume der Flugmuskeln gesaugt, nimmt das leicht lösliche Gas auf und transportiert es zur hinteren Luftpumpe. Erst hier gelangt das meiste CO₂ zurück in das Tracheensystem und wird durch die Ausatemstigmen abgegeben. So steht das vordere Tracheensystem nur für die Frischluftzufuhr zur Verfügung, die verbrauchte Luft nimmt andere Wege. Damit wird auch die hohen Stoffwechsel-Steigerungsrate erklärbar.

Sensoren für die Mikrowelt

Erst durch die Miniaturisierung der Sensoren und Entwicklung neuer Verfahren bei gleichzeitiger Optimierung der Messtechnik wurde es möglich, diese Prozesse an weitgehend intakten Insekten zu messen. Erfolg hat man dabei nur, wenn es den Versuchstieren möglichst gut geht und die Eingriffe ohne gravierende

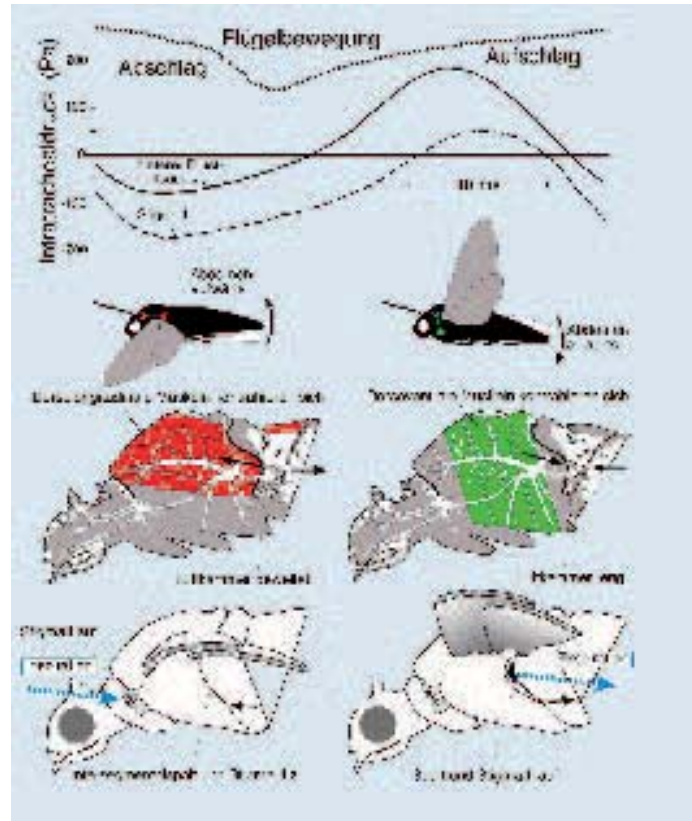


Abb. 4: Erzeugung eines gerichteten Atemgasstromes beim „Turbinenmechanismus“ eines fliegenden Schwärmers durch Zusammenspiel von Brustverformungen, Abdomen- und Stigmenbewegungen.

Schädigung erfolgen. Wann immer möglich, wird mit nicht invasiven Methoden gemessen. Aufgeklebte Thermistoren dienen zur Strömungsmessung, Infrarotsensoren oder Reflexlichtschranken detektieren den Herzschlag und Abdomenbewegungen. Die Atemparameter können über Kanülen an den Atemöffnungen erfasst werden. Um den Intratrachealdruck, Sauerstoffgehalt oder den Hämolympfdruck zu messen, muss nur ein kleines Loch in die Rückencuticula geschnitten werden. Dieser Eingriff wird so schonend durchgeführt, dass es die Insekten kaum wahrnehmen. Alle diese Messungen können am selben Individuum über Tage bis Monate durchgeführt werden. Nach Versuchsende können die Insekten intakt aus der Versuchsanlage entlassen werden.

Prof. Dr. Lutz Wasserthal ist seit 1986 Inhaber des Lehrstuhls Zoologie I der Universität Erlangen-Nürnberg. Zu seinen zentralen Forschungsthemen zählen Funktionsmorphologie sowie Physiologie von Kreislauf und Atmung bei Insekten.