



Erfinderaktivitäten 2005/2006

Vorwort

Die Autoren und die Redaktion dieses Bandes hoffen, dass auch diese Ausgabe wieder viele Neuigkeiten für interessierte Laien und Fachleute bereithält.

Alle Artikel wurden von den unmittelbar mit den Themengebieten befassten Fachprüfern des DPMA verfasst. Wie es gute Tradition und Herzstück dieser Veröffentlichung ist, wird durch die Autoren z.B. die historische Entwicklung einer Produktlinie oder eines jedermann bekannten Alltagsgegenstandes im Kontext der Patentliteratur aufgezeigt.

Darüber hinaus möchte diese Ausgabe anhand einer deutschen Traditionsfirma auch einen Einblick in deren Strategie bei Patent- und Markenmeldungen gewähren. So wird unter anderem gezeigt, wie diese durch die geschichtlichen und wirtschaftlichen Randbedingungen beeinflusst und gefördert wurde.

Am Beispiel eines deutschen Spitzenforschungsinstitutes wird ferner aufgezeigt, wie Forscher durch ihre Kreativität parallel zu den - durch ihre fachliche Ausrichtung quasi vorgegebenen Gebieten - auch in überraschend neue Tätigkeitsfelder vordringen können und auf diesen zu Patenten gelangen.

Die in den Artikeln genannten Schriften umfassen den der Öffentlichkeit bekannten Stand der Technik bis zum Redaktionsschluss am 18. August 2006.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen

Dr. Klaus Wollny

(Redaktion)

Inhalt

Positionsbestimmung in Mobilfunksystemen	Oliver Balbach	5
Vom Tauchsieder zur Wärmepumpe - Entwicklungsgeschichte einer Firma aus schutzrechtsstrategischer Sicht am Beispiel von Stiebel Eltron ®	Jörg Czarnowski	14
Entwicklungen und Trends bildgebender und Navigations-Technologie beim Einsatz in der Chirurgie	Thomas Dresel	25
Manipulationen am Geldautomaten – Schutzmaßnahmen	Andrea Eckebracht	36
Das Klappfahrrad erlebt eine Renaissance – seine Geschichte und seine aktuelle Entwicklung	Nicolai Geier	44
Dreidimensionale Formkörper beliebiger Form	Michael Hajduk	50
Das Doppelkupplungsgetriebe für Kraftfahrzeuge	Bodo Kappes	54
Stumpfe Spritzenröhrchen	Claus Medicus	62
Metallische Gläser	Stephanie Radeck & Martina Hensel	68
Formgedächtnis-Polymere (Shape-Memory Polymers, SMP) als Materialien der Zukunft	Thomas J. Reitinger	75
Elektronische Schaltvorrichtungen für Kraftfahrzeuggetriebe	Thomas Schäfer	85
Bioterroristische Gefährdung und Patente betreffend Nachweisverfahren für Bakterien	Reiner Spieker	92
Ionenstrahlen in der Tumorthherapie	Bernhard Steinbauer	98
Fahrdynamik-Regelsysteme	Jan-Friedrich Süßmuth	105
Eisstationen, Tiefseesonden, Bionik – Das AWI als Patentanmelder	Klaus Wollny	114

Impressum

Herausgeber Deutsches Patent- und Markenamt
Zweibrückenstraße 12
D-80331 München
www.dpma.de

Redaktion Dr. Klaus Wollny
Tel.: 089 / 2195 - 3319

Gestaltung Klaus Obermaier, Dr. Klaus Wollny

Positionsbestimmung in Mobilfunksystemen

Oliver Balbach, Abt. 1.42

Die Standortbestimmung eines Mobilfunkgerätes ist für den Betrieb eines Mobilfunknetzes unerlässlich. Aber auch standortabhängige Dienste gewinnen immer mehr an Bedeutung. In diesem Artikel werden die grundsätzlichen Verfahren zur Positionsbestimmung von Mobiltelefonen und deren Anwendung aufgezeigt.

1. Einleitung

Das Wissen um die Position und evtl. der Geschwindigkeit eines Mobilfunkendgerätes, wie z.B. eines Handys oder PDAs (Personal Digital Assistent) ist nicht nur für den Nutzer von hohem Wert, sondern ist auch für viele Vorgänge beim Verbindungsaufbau notwendig und vorteilhaft. In diesem Artikel werden verschiedene Methoden zur Positionsbestimmung in Mobilfunksystemen und einige ausgewählte Anwendungen aufgezeigt.

Die Position einer Mobilstation wird in erster Linie benötigt für

- die Auswahl einer Basisstation beim Verbindungsaufbau (Ressourcenmanagement),
- einen Wechsel der Basisstation während einer bestehenden Gesprächs- oder Datenverbindung (Handover),
- eine entfernungsabhängige Leistungssteuerung
- standortabhängige Dienste (siehe Kapitel 3),
- Netzwerkplanung und Qualitätssicherung durch ortsbezogenes Messen der Empfangsqualität,
- Gebührenberechnung (Home Zone, Ferngespräche etc.).

Die verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der Position eines Mobilfunkteilnehmers unterscheiden sich neben den physikalischen Messmethoden und deren Genauigkeit darin, an welcher Einrichtung im Mobilfunksystem Signale gemessen werden und an welcher Einrichtung die Position berechnet wird. Zu diesen Einrichtungen zählen insbesondere Mobilstationen, Basisstationen sowie spezielle „Location Measurement Units“ (LMUs) und „Location Server“ (LCS).

Die Verfahren sind in den unterschiedlichsten

Patentklassen angesiedelt: Von den mobilen Wählanordnungen (H04Q), über Datenübertragung (H04B), Funkpeilung und Navigationssysteme (G01S), Sicherheitsaufgaben (G08G/B), Fahrzeugtechnik (B60R, B61L) bis hin zur Medizin (A). Anwendungen, bei denen das Mobilfunksystem in Kombination mit dem Satellitenpositionierungssystem GPS zur Übertragung der Positionsdaten dient, decken einen noch wesentlich breiteren Bereich ab.

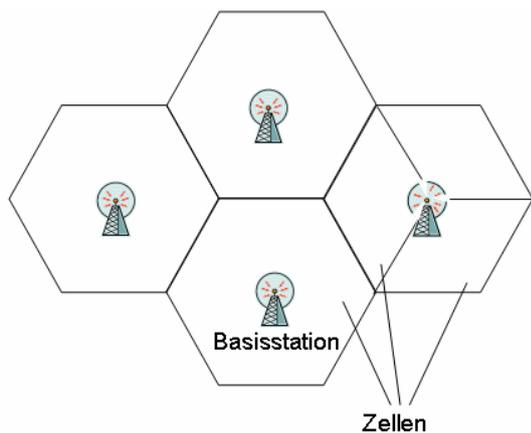
Das folgende Kapitel 2 befasst sich mit den Verfahren zur Standortbestimmung; das womöglich noch etwas spannendere Kapitel 3 befasst sich mit Anwendungen wie „standortabhängigen Diensten“, wobei eine exakte Unterscheidung nicht immer möglich ist.

2. Standortbestimmungsverfahren

Die wichtigsten Standortbestimmungsverfahren sind in [1] und teilweise in [4] beschrieben. Sie werden nachfolgend kurz erläutert. Der Aufbau und die Funktionsweise des Mobilfunksystems GSM (Global System for Mobile Communications) ist in [4] lehrbuchhaft ausgeführt. [1] bis [3] sowie weitere Spezifikationen und Informationen zu UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) sind unter [6] zu finden.

2.1. Ursprungszelle

Ein Mobilfunknetz besteht aus einer Anzahl von Zellen, wobei jede Zelle durch den Funkabdeckungsbereich einer Basisstation gebildet wird. Falls der Bereich durch Richtantennen in Sektoren unterteilt ist, bilden die Sektoren jeweils eine Zelle.



Figur 1: Zellenstruktur eines Mobilfunksystems.

Wird das Endgerät eingeschaltet, bucht es sich in die Zelle mit dem besten Empfang ein. Hierbei empfängt das Endgerät über einen allgemeinen Rundfunkkanal die eindeutige Zellkennung und nutzt diese und andere Daten (z.B. Synchronisationsinformationen), um mit der Basisstation kommunizieren zu können und sich in der Zelle anzumelden. Die Zellkennung für die Zelle, in der das Endgerät eingebucht ist, wird auch an eine Datenbank geschickt, so dass dem System jederzeit bekannt ist, über welche Basisstation(en) ein Endgerät gerufen werden kann und wohin ein ankommender Ruf geleitet werden muss [4].

Da die Positionen der Basisstationen dem Mobilfunksystem bekannt sind, lässt sich leicht die Position des Endgerätes anhand der Zellkennung abschätzen. Allerdings variiert die Größe einer Zelle bedingt durch die Netzplanung stark, so dass die Genauigkeit der Position zwischen 100 m in Gebieten mit hoher Teilnehmerdichte und bis zu 35 km in ländlichen Gebieten betragen kann.

Das Endgerät empfängt auch die Zellkennungen benachbarter Zellen über deren Rundfunkkanal, um bei einer Verschlechterung des Empfangs in der aktuellen Zelle schnell und ohne Datenverlust zu einer besser geeigneten Zelle wechseln zu können („Handover“) [4].

Falls keine genauen Ortsangaben für einen Rufaufbau verfügbar sind, wird in DE 199 44 007 A1 von der Vermittlungsstelle zunächst vor dem Verbindungsaufbau in einem (umfangreicheren) Gebiet von der Vermittlungsstelle ein Funkruf (Paging) durchgeführt. Aufgrund der Antwort der Mobilstation kann die bedienende Basisstation festgestellt und der Anruf gezielt

an die entsprechende Basisstation geleitet werden.

DE 100 04 738 C1 nutzt die Zellkennung, um die Vorwahl des aktuellen Ortsfestnetzes zu ermitteln. Die Vorwahl wird automatisch, ohne Zutun des Benutzers, vor die gewählte Festnetznummer gesetzt. So kann ein Mobilfunkteilnehmer einen Festnetzteilnehmer anrufen, dessen Rufnummer er zwar kennt, nicht jedoch seine Vorwahl.

Eine internationale Vorwahl und eine Netzvorwahl des Heimatnetzes werden gemäß DE 197 11 096 A1 automatisch ausgewählt und zum Aufbau der Kommunikationsverbindung verwendet, wenn die Mobilstation feststellt, dass sie sich im Ausland befindet.

2.2. Signalstärkemessung

Aufgrund der Abhängigkeit der empfangenen Signalstärke von der Entfernung zum Sender kann eine Signalstärkemessung unter Einbeziehung der Kenntnis der Lage der Basisstationen zu einer genaueren Positionsbestimmung führen. Wird die Signalstärke nur einer Zelle gemessen, erhält man idealerweise (bei Sichtverbindung) durch die eindeutige Beziehung Signalstärke/Entfernung zur Basisstation eine kreisförmige Positionslösung. Bei Zellsektoren gibt die Lage der Sektoren noch eine gewisse Richtungsinformation. Jedoch wird das Signal häufig durch topographische Gegebenheiten abgeschattet oder reflektiert, so dass die reine Signalstärkemessung wenig zuverlässig ist. Abhilfe wird durch spezielle Ausbreitungsmodelle (DE 101 57 941 A1) oder eine Rasterung des Gebietes geschaffen, wobei die Signalstärken der zu empfangenden Zellen in einer Rasterkarte abgespeichert werden und ein netzwerkseitiger Vergleich der Messwerte mit den gespeicherten Werten bzw. mit dem Muster der Signalstärken der empfangenen Basisstationen stattfindet. Die Referenzmuster können in einer Datenbank abgespeichert werden (DE 101 18 777 A1).

In DE 195 33 472 A1 werden Signalstärken von der bedienenden Basisstation sowie den Nachbarstationen in Rasterelementen prädiert, mit den Messungen der Mobilstation korreliert und ein Ähnlichkeitsmaß berechnet. Der Mobilstation wird schließlich der Ort zugewiesen, bei dem der Korrelationskoeffizient am größten ist. Die Zahl

der zu betrachtenden Flächenelemente wird in dem Verfahren eingeschränkt, indem durch eine weitere Abstandsmessung (TA-Messung, siehe Kapitel 2.3.2) ein Kreisring um die bedienende Basisstation ermittelt wird, in dem sich die Mobilstation befinden kann.

Der Rechenaufwand dieses Verfahrens lässt sich, wie in DE 102 32 177 B3 gezeigt wird, verringern, indem der Suchraum durch Mindestempfangsstärken der Basisstationen eingegrenzt wird. Außerdem werden Bewegungen der Mobilstation durch die sog. „dynamische Programmierung“ berücksichtigt.

Ein ähnliches Prinzip wie das der Rastermethode stellt DE 103 45 255 A1 für eine Ortung in Gebäuden mit dem drahtlosen Telefonsystem DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) vor. Jedoch werden dort anstatt der Rasterzellen so genannte Basispositionen mit bekannter Position verwendet, an denen die Feldstärke der von den Basisstationen gesendeten DECT-Signale gemessen wird. Da die DECT-Basisstationen auch ihre Identität senden, können nun für jeden Basispunkt Vektoren erstellt werden, die die Feldstärke der Basisstationen enthalten. Eine zu ortende Mobilstation misst ihrerseits die Feldstärke der Basisstationen, die sie empfängt und erstellt in gleicher Weise wie die Basispunkte Feldstärkevektoren, die an eine Auswerteeinheit gesendet werden. Dort findet ein Mustervergleich statt, indem der quadratische euklidische Abstand zwischen den Referenzfeldstärken und gemessenen Feldstärken berechnet wird.

Problematisch erweist sich eine hinreichend genaue Positionsbestimmung in Gebieten mit nur wenigen Basisstationen eines Anbieters. Abhilfe kann hier dadurch geschaffen werden, dass auch die Identifikationsdaten und Signalfeldstärken eines zweiten Netzbetreibers herangezogen werden, obwohl die Mobilstation nicht dort eingebucht ist (DE 101 42 954 A1 oder DE 10 2004 010 711 A1).

Um der begrenzten Rechenleistung und Speicherkapazität Rechnung zu tragen, werden in DE 101 42 953 A1 die Referenz-Pegeldaten als Parameter einer Näherungsfunktion, wie z. B. Lagrange-Oberflächenfunktionen, zweidimensionale Polynome

höherer Ordnung, quadratische oder kubische Funktionen, abgebildet und komprimiert in einer Ortungszentrale abgespeichert. Es genügt somit, nur die Parameterwerte für ein begrenztes räumliches Gebiet über einen Mobilfunkkanal an die Mobilstation zu übertragen, die dann die exakte Lokalisierung vornehmen kann.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung lässt sich durch Hybridverfahren steigern, in denen z.B. zusätzlich der Peilwinkel mit einer Richtantenne ermittelt wird (DE 101 61 594 A1).

2.3. Laufzeitmessung

Der Vorteil einer Ortsbestimmung über Signallaufzeiten liegt darin, dass diese Werte sowieso ständig ermittelt werden und der Mobilstation sowie dem Netzwerk zur Verfügung stehen. Somit ist die Positionsbestimmung über Laufzeitmessungen mit wenig Aufwand und ohne zusätzliche Hardware zu realisieren und stellt daher eine der wichtigsten Methoden der Ortung dar. Nachteilig ist die Ungenauigkeit, die zu verbessern den Ansatzpunkt vieler Erfindungen bildet.

2.3.1. Ankunftszeit (Time of Arrival; TOA)

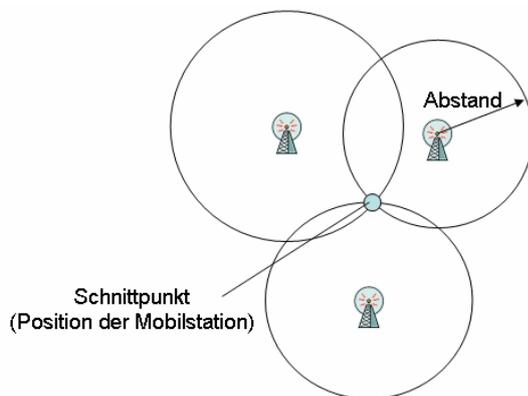
Beim TOA-Verfahren wird die Laufzeit des Signals vom Teilnehmerendgerät zur Basisstation gemessen, die über die Lichtgeschwindigkeit in eine Entfernung umgerechnet werden kann. Das Problem hierbei liegt in der exakten Synchronisation von Sender und Empfänger, da kleinste zeitliche Abweichungen bereits zu großen Fehlern führen können. Zwar können Sender und Empfänger z.B. durch GPS-Module mit der GPS-Systemzeit synchronisiert werden. Dies ist jedoch insbesondere bezüglich der Mobilstationen teuer.

Zumindest die schwierige Synchronisation der Mobilstation kann entfallen, indem eine aus der terrestrischen Navigation bekannte Methode angewandt wird, bei der die Differenzen der TOAs von Signalen verschiedener Sender gemessen werden. Die möglichen Punkte, wo die Differenz der Ankunftszeiten zweier Signale den gemessenen Wert aufweisen kann, ergeben Hyperbeln. Die Methode der Zeitdifferenzen wird in Kapitel 2.3.4 behandelt.

2.3.2. Zeitvorlauf (Time Advance; TA)

Alle Mobilstationen in einer Funkzelle müssen ihre Signale so senden, dass sie genau im erwarteten Zeitschlitz bei der Basisstation ankommen. Dies wird erreicht, indem die Mobilstationen ihre Datenbursts nicht zeitsynchron mit der Basisstation absenden, sondern ihren Sendezeitpunkt vorziehen. Dadurch ist es der Basisstation möglich, die Datenbursts mehrerer Mobilstationen trotz unterschiedlicher Laufzeiten in einem festen Zeitraster zu empfangen.

Der TA wird bei jeder Zuweisung eines dedizierten Kanals (z.B. eines Teilnehmerdatenkanals) abgeschätzt. Bei einer Erstzuweisung wird von der Basisstation ein Access Burst bzw. eine Kanalanforderungsnachricht der Mobilstation empfangen, der ohne Zeitvorlauf gesendet wurde. Der Empfangszeitpunkt stellt ein Maß für die doppelte Ausbreitungszeit (Laufzeit der Rundsendedaten von der Basisstation zur Mobilstation und Laufzeit des Access Bursts von der Mobilstation zur Basisstation) dar, woraus die Basisstation den Zeitvorlauf ableiten kann. In einer Antwortnachricht der Basisstation wird der TA-Wert der Mobilstation mitgeteilt [4]. Die Genauigkeit der bestimmbar Entfernung zu einer Basisstation beträgt ca. 554 m (1 Bitdauer).



Figur 2: Die Abstandskreise um drei Basisstationen schneiden sich eindeutig in der Position der Mobilstation.

Normalerweise werden nur die Zellkennung und der TA-Wert der Basisstation verwendet, die die Mobilstation aktuell bedient. Somit kann die Entfernung der Mobilstation zu dieser Basisstation bestimmt werden. Um zu einer Positionslösung zu gelangen, werden jedoch die Entfernungen zu mehreren Basisstationen benötigt. Die Position ergibt sich aus dem Schnittpunkt der

Abstandskreise um die Basisstationen.

Um zu diesen Werten zu gelangen, sendet in DE 103 07 592 A1 die Mobilstation eine Anforderungsnachricht für einen Kommunikationskanal an eine der bedienenden Basisstation benachbarten Basisstation und liest den TA-Wert aus einer Antwortnachricht der Basisstation aus. Der der Mobilstation zugewiesene Kanal wird von der Mobilstation jedoch nicht aktiviert. Seitens der Basisstation wird daraufhin die Reservierung der zugewiesenen Ressource nach kurzer Zeit durch den Ablauf eines gesetzten Timers wieder aufgehoben. Damit ist die Messung für eine Basisstation abgeschlossen. Die Mobilstation ermittelt nun auf diese Weise sukzessiv die TA-Werte weiterer Basisstationen.

In DE 10 2004 025 792 A1 wird zur Lokalisierung von der Mobilstation zwar eine Kanalanforderungsnachricht an die Basisstation gesendet. Diese enthält jedoch eine Information, dass nur die Laufzeit benötigt wird, so dass keine Kanalreservierung stattfindet und so die benötigten Netzwerkressourcen gegenüber dem Stand der Technik verringert werden.

Der normalerweise ganzzahlige TA-Wert lässt sich gemäß DE 101 59 086 A1 durch eine Bestimmung der Hüllkurve über eine Abtastung der Kanalimpulsantwort mit Nachkommastellen angeben, indem z.B. eine $\sin^2(x)$ -förmige Hüllkurve gewählt wird und die Abtastzeitpunkte und das Maximum der Hüllkurve durch zwei Abtastungen mit bekanntem zeitlichem Abstand berechnet werden. Der mit Nachkommastellen behaftete TOA-Wert wird schließlich zu dem TA-Wert hinzuaddiert, so dass die Genauigkeit gesteigert wird.

Eines der größten Probleme einer Laufzeitmessung ist der Mehrwegeempfang. Durch Reflexionen am Boden, Gebäuden usw. wird das Signal umgelenkt und die Laufzeit erhöht. Dieses Problem wird in DE 102 27 853 A1 in dem Falle, wenn Teilnehmerdaten über zwei getrennte Antennen einer Basisstation gleichzeitig gesendet werden, dadurch gelöst, dass die Basisstation ein Referenzsignal abwechselnd von beiden Antennen abstrahlt. Das Signal, das mit einer kürzeren Laufzeit empfangen wird, wird als direktes („Line-of-Sight“) Signal erkannt, und die Antenne,

die dieses Signal gesendet hat, für die Laufzeitmessung selektiert.

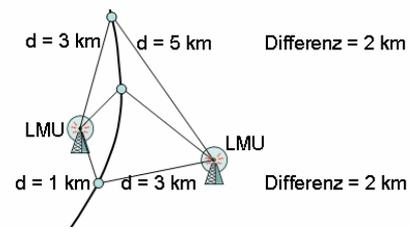
Doch nicht immer ist es erwünscht, die eigene Position preiszugeben. Will man die Positionsermittler in die Irre führen, lohnt sich ein Blick in die DE 103 15 908 A1. Dort werden die Laufzeiten durch eine Vorrichtung, die zwischen der Mobilstation und der externen Antenne (z.B. im Kfz) geschaltet wird, manipuliert, ohne den Telekommunikationsverkehr der Mobilstation zu beeinflussen. Die Vorrichtung enthält digitale Schaltkreise, mit denen das Signal zur Antenne variabel verzögert werden kann. So können Bewegungen, positive und negative Beschleunigungen sowie falsche Positionen vorgetäuscht werden.

2.3.3. Rundlaufzeiten (Round Trip Delay; RTD)

Eine Möglichkeit der Laufzeitmessung, die auch ohne synchronisierte Basisstationen durchgeführt werden kann, bietet das „Round-Trip-Delay“-Verfahren, bei dem die Zeit gemessen wird, die ein Signal benötigt, um von der Mobilstation zur Basisstation und wieder zurück zu gelangen. Hierbei werden die Durchlaufzeit innerhalb der Basisstation und die Verarbeitungszeit in der Mobilstation abgeschätzt. Da diese jedoch je nach Hersteller unterschiedlich ausfallen, bestehen bei dieser Messmethode relativ große Unsicherheiten.

2.3.4. Zeitdifferenzen (Uplink-TDOA / Enhanced Observed Time Difference; E-OTD)

Eine recht gute Ortungsgenauigkeit von ca. 50 m lässt sich durch die Messung der Zeitdifferenz der Ankunftszeit (Observed Time Difference; OTD) der Mobilstationssignale an speziellen Empfängern (Location Measurement Units; LMUs) in den Basisstationen erreichen. Die möglichen Positionslösungen solcher Zeitdifferenzen ergeben Hyperbeln. Durch mehrere Basisstationspaare lassen sich mehrere Hyperbeln bestimmen, deren Schnittpunkt den Standort der Mobilstation ergibt.



Figur 3: Die möglichen Positionen bei einer Zeit- bzw. Abstandsdifferenz (hier z.B. 2 km) ergeben eine Hyperbel.

Hierbei müssen entweder die LMUs z.B. mit GPS synchronisiert sein oder die Zeitabweichung durch eine Zeitdifferenzmessung der LMUs gegenseitig unter Kenntnis der Abstände der LMUs voneinander berechnet werden.

Nachteilig bei der OTD-Methode ist allerdings insbesondere der finanzielle Aufwand für die zusätzlichen Empfängereinheiten.

DE 103 08 005 A1 löst das Problem der Zeitabweichung zwischen den LMUs bzw. Basisstationen. Die Mobilstation führt zunächst eine OTD-Messung durch und initiiert danach einen Handover, bei dem sie den OTD-Messwert und den TA-Wert der alten Basisstation an die neue Basisstation sendet. Die neue Basisstation ermittelt anschließend ihrerseits einen neuen TA-Wert. Im synchronen Fall müsste der Unterschied der TA-Werte der OTD-Messung entsprechen. Andernfalls entspricht der Unterschied der TA-Werte und der OTD-Messung der Zeitabweichung.

2.4. Ankunftsinkel (Angle of Arrival; AoA)

Einen anderen Ansatz für die Lokalisierung bildet die Bestimmung der Einfallsrichtung der elektromagnetischen Welle an den Basisstationen. Führt man die Bestimmung der Einfallsrichtung zu mindestens zwei Basisstationen durch, erhält man durch den Schnittpunkt der Geraden die Position des Empfängers. Hierzu sind jedoch Richtantennen (vorzugsweise Antennen-Arrays) notwendig, bei denen der Phasenunterschied der eintreffenden Welle an den einzelnen Antennenelementen gemessen wird.

Es wird eine Genauigkeit von besser als 100 m erzielt. Nachteil dieser Methode sind die hohen Investitionskosten der komplexen Antennenarrays und Schwierigkeiten bei

der exakten Ausrichtung des Strahls.

Da die Erfindungen bezüglich des Ankwunfts winkels hauptsächlich das Gebiet der Antennentechnik betreffen, wird an dieser Stelle nicht weiter auf diese Verfahren eingegangen.

In DE 103 28 570 A1 wird die Ausrichtung der Antenne seitens der Mobilstation nicht zur Positionsbestimmung benutzt, sondern um die gesundheitsgefährdende Strahlenbelastung einer Mobilstation zu minimieren. Hierzu wird die Signalstärke und Signalqualität bei verschiedenen Ausrichtungen der Antenne gemessen und daraus sowie aus der zuvor mit z.B. GPS ermittelten Position eine bevorzugte Antennenausrichtung bestimmt. Hierdurch kann die nötige Abstrahlleistung reduziert und vom Kopf des Benutzers weg gerichtet werden. Befindet sich der Kopf des Benutzers zwischen Feststation und Antenne, wird der Benutzer akustisch gewarnt.

2.5. Unterstütztes GPS (Assisted GPS; A-GPS)

Besitzt ein Teilnehmerendgerät ein GPS-Modul, so kann es bei freier Sicht zu mehreren GPS-Satelliten seine Position selbst bestimmen. Da der Zeit- und Datenaufwand jedoch erheblich ist, werden GPS-Daten (z.B. Liste sichtbarer Satelliten, Doppler, Ephemeriden, Uhrfehler, Code-Phasen-Suchfenster) von einem Server des Mobilfunknetzes, der selbst an einen GPS-Empfänger angeschlossen ist, an das Endgerät geschickt. Der GPS-Empfänger benötigt für einen schnellen Warmstart die Liste sichtbarer Satelliten und die Satellitenpositionen der GPS-Satelliten, so dass er mit dieser Kenntnis die GPS-Signale der sichtbaren Satelliten suchen kann. Hat er diese Daten nicht, muss er die Satelliten nacheinander durchprobieren und die Daten, die mit einer äußerst geringen Datenrate von den Satelliten gesendet werden, zeitaufwändig nach und nach empfangen. Erst dann kann er alle in Sicht befindlichen Satelliten empfangen (mindestens 4) und seine Position berechnen. Diesen Suchaufwand kann somit das Mobilfunknetzwerk verringern, indem es diese Informationen über die Basisstation an die Mobilstation sendet.

Hier bietet sich auch Differential-GPS an (siehe z.B. DE 197 46 745 A1), bei dem die Fehler, die die Messung

aufgrund systematischer Fehler erleidet (z.B. Brechung des GPS-Signals in der Ionosphäre, Uhrfehler der Satelliten) als Entfernungskorrekturen für jeden Satelliten oder vektorielle Positionskorrekturen an das Endgerät gesendet werden, so dass eine sehr hohe Genauigkeit erreicht wird [5]. Bei schlechter Satellitensichtbarkeit, z.B. innerhalb von Gebäuden, nimmt die Genauigkeit jedoch rapide ab. Nachteilig ist neben den zusätzlichen Kosten und dem Platzbedarf in der Mobilstation der erhöhte Stromverbrauch für das Modul und für die Verarbeitung der Daten.

Um den Rechenaufwand im Teilnehmerendgerät zu reduzieren, können die Messdaten auch an das Netzwerk gesendet werden, das die Position errechnet (z.B. DE 20 2005 009 152 U). Die Lösung kann bei Bedarf wieder an das Teilnehmerendgerät zurückgesendet werden.

Viele Erfindungen nutzen auch einen vollständigen GPS-Empfänger, der extern angebracht sein kann (z.B. Navigationssysteme, Kfz), und bei denen die Position über die Mobilstation per SMS oder Datenkanal an einen Diensteserver oder an eine Zentrale übermittelt wird, wo dann eine Weiterverarbeitung stattfindet.

Beispiele hierzu sind in Kapitel 3 dieses Artikels zu finden.

2.6. Aufenthaltswahrscheinlichkeit

Wie bereits der Überschrift zu entnehmen ist, handelt es sich hierbei um Verfahren, die auf stochastischen Methoden beruhen.

Die Wahrscheinlichkeit, eine gegenüber der „Methode Ursprungszelle“ (Kapitel 2.1) genauere Position zu erhalten, ohne eine Messung durchführen zu müssen, wird gemäß DE 103 23 004 A1 dadurch erhöht, dass eine Statistik erstellt wird, anhand derer die höchste Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Mobilstationen bezüglich eines Ortes innerhalb einer Funkzelle ermittelt wird. Derartige Orte sind z.B. Flughäfen, Bahnhöfe oder Bürokomplexe.

Eine schnelle und genauere Lokalisierung der einzelnen Mobilstation zur Analyse des Kundenverhaltens auch bei

starken Störungen durch Fading und Abschattung, gibt das Verfahren gemäß DE 100 56 222 A1 an.

Das Grundprinzip dieses Verfahrens liegt in der Einteilung einer Mobilfunkzelle in Rasterzellen und der Modellierung der Unterschiede zwischen den berichteten und vorhergesagten Feldstärken aufgrund von Fading und Abschattungen.

Es wird ein Hidden-Markov-Modell für die Rasterzellen erstellt, das die Bewegungen der Mobilfunkteilnehmer beschreibt. Die Übergangswahrscheinlichkeiten des Hidden-Markov-Modells werden derart angegeben, dass der Erwartungswert der berichteten Feldstärken maximiert wird. Die stationäre Verkehrsverteilung kann aus den Übergangswahrscheinlichkeiten errechnet werden. Aus den Übergangswahrscheinlichkeiten und den Beobachtungswahrscheinlichkeiten des Störmodells kann schließlich ein höchst wahrscheinlicher Pfad eines Mobilteilnehmers ermittelt werden.

In DE 10 2004 061 538 A1 wird die Geschwindigkeit von Mobilstationen geschätzt, indem eine Wahrscheinlichkeit, dass eine Folge von Messdatensätzen entlang eines bestimmten Pfades aufgenommen wurde, bestimmt wird, die Position der Mobilstation während der Aufnahme eines ersten und eines letzten Messdatensatzes bestimmt wird und daraus mit Hilfe der Zeitdauer zwischen der Aufnahme des ersten und letzten Messdatensatzes die Geschwindigkeit der Mobilstation geschätzt wird.

Die Unsicherheit bei der Positionsschätzung ist häufig hoch, weil der Messdatensatz unvollständig ist, die Messungen selbst aufgrund z.B. schwacher Signale oder Reflexionen (Mehrwegeempfang) ungenau sind oder die Synchronisation der Stationen bei Laufzeitmessungen ungenügend ist. In DE 103 18 425 A1 wird diese Unsicherheit minimiert, indem alle vorhandenen Messwerte bzw. Zeitreihen dieser Messwerte, wie z.B. Zeitdifferenz-, Rundlaufzeit und Feldstärkemessungen bei der Berechnung der geschätzten Position herangezogen werden. Zur Reduzierung des Rechenaufwandes wird das Suchgebiet der zu suchenden Position sukzessiv durch die verschiedenen Messparameter eingeschränkt und danach die Schätzung mittels einer Kovarianzanalyse der Laufzeiten und der gewichteten Empfangsstärken

vorgenommen.

3. Anwendungen und ortsabhängige Dienste (Location Services; LCS)

Die Mechanismen der ortsabhängigen Dienste sind in [2] und [3] spezifiziert. Im Prinzip fordert demgemäß ein sog. „LCS Client“ (z.B. eine Softwareeinheit in der Mobilstation oder im Netzwerk) einen ortsabhängigen Dienst von einem „LCS Server“ an, der daraufhin die Position der Mobilstation ermittelt und den entsprechenden Dienst dem anfragenden „LCS Client“ bereitstellt.

Praktische Beispiele für häufig angebotene Dienste sind (aus DE 103 15 064 A1):

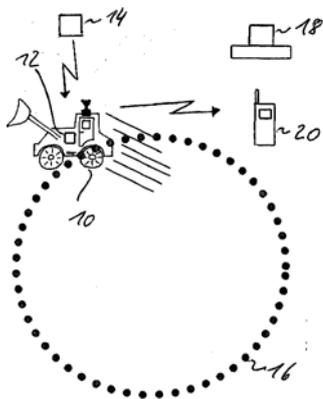
- Notfall-Information für einen Bezirk: beispielsweise Schließung eines Parks, Feuermeldung, Warnung vor Gefahren;
- Werbung für ein Gebiet: Eröffnung eines neuen Geschäfts, Beginn einer Veranstaltung in wenigen Minuten;
- Triggern eines Dienstes, wenn der Benutzer ein bestimmtes Areal betritt: z. B. Anbieten von hierfür spezieller Information, Wechsel zu einer besseren (oder günstigeren) Verbindung, wie WLAN, Bluetooth etc.;
- Triggern eines Dienstes, wenn der Benutzer einen bestimmten Zeitraum am selben Ort bleibt: z. B. Anstehen an einer Kasse oder vor einem Eingang, Betrachten einer Anzeige (Poster), Warten an einer Haltestelle;
- Informieren des Benutzers, wenn er sich einem bestimmten Ort nähert, beispielsweise einem Restaurant oder einem Hotel;
- Informieren des Benutzers, wenn er sich einem bestimmten anderen Benutzer oder einer Vorrichtung nähert: Freund, Arbeitskollege, Mitspieler, Parkscheinautomat;
- Informieren des Benutzers, wenn eine Person oder Vorrichtung ein Gebiet verlässt: Diebstahlsicherung, Kind verlässt Party etc.;
- Ortsabhängige Vergebührung: Insbesondere muss der Teilnehmer informiert werden, dass sich die Vergebührung ändert, wenn er ein Gebiet verlässt oder betritt;

- Statistische Auswertungen, wie Ermittlung der Anzahl von Geräten in einem Gebiet, beispielsweise zur Erkennung eines Verkehrsstaus oder Reagieren auf den erhöhten Bedarf an öffentlichen Verkehrsmitteln nach dem Ende einer Massenveranstaltung wie Konzert, Sportveranstaltung etc..

Ortsbezogene Dienst-Informationen können auch für eine Zelle rundgesendet werden („broadcast“), so dass alle sich in dieser Zelle befindlichen Mobilstationen diese Informationen empfangen können.

Damit Mobilstationen, die sich für einen bestimmten ortsbezogenen Dienst interessieren, in diesem Fall nicht auch die Dienst-Informationen aller anderen ortsbezogenen Dienste empfangen müssen, werden in DE 103 17 143 A1 die jeweiligen ortsbezogenen Dienst-Informationen zusammen mit einer Planungs-Information, die die zeitliche Struktur der Dienst-Informationen beschreibt, übertragen. Anschließend wird die in den Dienst-Daten übertragene Planungs-Information von der Mobilstation analysiert und nur diejenigen ortsbezogenen Dienst-Informationen empfangen bzw. verarbeitet, die der Position, an der sich die Mobilstation befindet, zugeordnet sind. Auf diese Weise wird der Signalverarbeitungsaufwand der Mobilstation minimiert und somit auch der Stromverbrauch, wodurch die Batteriestandzeit verlängert wird.

GPS wird insbesondere auch für Überwachungs- und Sicherheitsanwendungen eingesetzt.



Figur 4: Verlässt die Maschine (10) eine bestimmte Zone (16), wird ein Alarm ausgelöst (aus DE 100 32 020 A1).

Zum Beispiel lassen sich, wie in DE 100 32 020 A1 und DE 100 59 129 A1 beschrieben, Referenz-

Aufenthaltszonen definieren. Die aktuelle Position wird mit den Koordinaten der Referenz-Aufenthaltszonen verglichen. Verlässt das Mobilfunkgerät den Referenz-Aufenthaltsbereich, wird ein Alarm ausgelöst.

Eine Mobilstation gemäß DE 103 25 339 A1 besitzt Mobilfunkmodule für verschiedene Mobilfunkstandards (z.B. UMTS, WLAN). Abhängig von der Position der Mobilstation wird nur das Mobilfunkmodul aktiviert, für das der entsprechende Mobilfunkstandard verfügbar ist. Die Information hierüber ist in einem Funkzellenplan enthalten, der auf die Mobilstation heruntergeladen wird. Hierdurch kann der Stromverbrauch, der bei Mobilstationen eine kritische Größe darstellt, deutlich verringert werden.

Die DE 101 10 577 A1 offenbart eine Möglichkeit zur Abwicklung mobiler Sprach-/Daten-Telefonverbindungen, z. B. Mobil-Telefonverbindungen, wenn sich ein Benutzer einer Funk-Totzone nähert bzw. diese durchfährt. Totzonen sind Bereiche, in denen eine Übertragung und/oder ein Empfang im Wesentlichen schlecht oder unmöglich sind.

Der Standort, die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung eines Mobiltelefonbenutzers werden z.B. mit GPS ermittelt und mit einer Datenbank verglichen, in der eine Funk-Topographie abgespeichert ist. Nähert sich der Benutzer eines Mobiltelefons einer Funk-Totzone, die einem Server bzw. einer Basisstation bekannt ist, folgt der Server bzw. die Basisstation dem Benutzer des Mobiltelefons auf seinem möglichen Weg durch die Totzone. Wenn der Server voraussagt, dass der Fahrer durch die Totzone hindurchfährt, wird die Telefonverbindung vorübergehend unterbrochen. Der Benutzer wird in einer Nachricht darauf hingewiesen und erhält zudem einen Hinweis, welche Maßnahmen er treffen soll.

Eine eher außergewöhnliche Anwendung zeigt DE 102 25 861 A1 auf, die zur Aufgabe hat, die Benutzungsfähigkeit von Handfeuerwaffen auf bestimmte örtliche bzw. räumliche Bereiche wie beispielsweise einen Schießplatz, einen Schießstand oder ein Jagdrevier zu begrenzen.

Hierzu ist in den Handfeuerwaffen eine Zusatzsicherung angebracht, welche basierend auf einem

Positionierungssystem (GPS, Galileo, GSM) die Benutzung der Waffe nur dann zulässt, wenn sich die Waffe in einem der örtlichen bzw. räumlichen Bereiche befindet, für die die Nutzungsfähigkeit der Waffe gewollt ist. Zur Unterbindung der Einsatzfähigkeit der Handfeuerwaffe besitzt die Zusatzsicherung elektromechanische Sperren, welche beispielsweise auf einen Abzug, einen Hammer, einen Sicherungshebel oder dergleichen wirken. Dabei blockieren sie eines oder mehrere dieser Funktionselemente. Durch entsprechende elektrische Ansteuerung der elektromechanischen Sperren kann diese Blockade aufgehoben werden.

Die Zusatzsicherung besitzt entweder einen Positionsempfänger oder eine Vorrichtung außerhalb der Waffe, wie beispielsweise ein Mobiltelefon, die ihre Position dann beispielsweise via einer Infrarotschnittstelle an eine Vergleichsschaltung der Zusatzsicherung überträgt. Die elektronische Vergleichsschaltung überprüft, ob die Position innerhalb eines der räumlichen Bereiche liegt, in denen die Waffe funktionsfähig sein soll, und steuert die Zusatzsicherung entsprechend an.

In DE 103 15 047 A1 werden Positionsdaten dazu genutzt, die Fahrzeugfunktionen positionsabhängig zu steuern. Die Vorrichtung weist eine Steuereinheit sowie eine Speichereinheit für Steuerdaten auf, wobei die Steuerdaten änderbar sind, d. h. beispielsweise durch Benutzeraktionen oder automatisiert an die jeweilige Situation flexibel anpassbar sind. Steuerdaten können hierbei durch GPS gewonnene Positionsdaten oder Steuerbefehle für Fahrzeugfunktionen sein.

Die Steuerbefehle für Fahrzeugfunktionen lösen bestimmte Aktionen einzelner Fahrzeugkomponenten aus, beispielsweise das Schließen eines Schiebedaches, das Betätigen der elektrischen Fensterheber oder auch die Umschaltung der Klimaanlage in den Umluftmodus. Dabei ist ein bestimmter Satz von Steuerbefehlen für Fahrzeugfunktionen bestimmten Situationsdaten zugeordnet. Die Zuordnung kann beispielsweise darin bestehen, dass beim Erreichen eines bestimmten Ortes wie z.B. des Standortes von Industrieanlagen die Fenster geschlossen werden und die Klimaanlage in den Umluftmodus umgeschaltet wird oder beim Verlassen eines Tunnels das Gebläse für eine vorgegebene Zeit auf

einer höheren Leistungsstufe betrieben wird; ferner ist es auch denkbar, beim Abstellen des Fahrzeuges am Fahrbahnrand automatisch das Einschalten des Parklichtes auszulösen oder bei Annäherung des Fahrzeuges an den Wohnort des Fahrers das automatische Absenden einer SMS-Nachricht auszulösen, um z.B. dem Partner die bevorstehende Ankunft mitzuteilen, oder es kann eine ortsfeste Station am Eingang von Ortschaften Steuerdaten an eintreffende Fahrzeuge übermitteln, die diese veranlassen, beispielsweise die entsprechende Geschwindigkeit nicht zu überschreiten oder von Fern- auf Abblendlicht umzuschalten.

4. Schlusswort

Die Ideen bezüglich der Anwendungen einer Kombination von Positionsbestimmung und Mobilfunk konnten hier bei weitem nicht alle aufgeführt werden – und sie scheinen den Erfindern auch nicht auszugehen. Diese Kombination scheint im Gegenteil die Erfinder geradezu zu beflügeln. Zusammen mit immer ausgefeilteren Positionsbestimmungsverfahren darf man auf zukünftige Erfindungen in diesem Bereich, der mehr und mehr unser tägliches Leben beeinflusst, gespannt sein.

Nicht-Patent-Literatur

- [1] 3GPP TS 25.305, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in UTRAN.
- [2] 3GPP TS 23.271, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Functional stage 2 description of Location Services (LCS).
- [3] 3GPP TS 22.071, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Location Services (LCS); Service description; Stage 1.
- [4] MOULY, M. & PAUTET, M. The GSM System for Mobile Communications - Cell & Sys., Palaiseau/Frankreich, 1992, ISBN 2-9507190-0-7.
- [5] http://gio.uni-muenster.de/beitraege/ausg96_1/schmitz_meth_gps/iwu-pap3.htm#b3.
- [6] <http://www.3gpp.org>.

Vom Tauchsieder zur Wärmepumpe - Entwicklungsgeschichte einer Firma aus schutzrechtsstrategischer Sicht am Beispiel von STIEBEL ELTRON®

Jörg Czarnowski, Abt. 1.34

Der vorliegende Artikel befasst sich im Schwerpunkt mit der Betrachtung der Motivation für technische Entwicklungen. Innovationen sind an Menschen mit Ideen und ihren Möglichkeiten zur Umsetzung und Überzeugung eng gekoppelt. Aus den bekannten Möglichkeiten des gewerblichen Rechtsschutzes über die Schutzrechte Patente, Gebrauchsmuster, Geschmacksmuster, Marke, das Urheberrecht, das Wettbewerbsrecht, sowie den Halbleiter- und Sortenschutz eine Gesamtstrategie mit einer Vielzahl taktischer Erwägungen für eine Firma zu entwickeln, ist zumeist großen Konzernen vorbehalten. Die Firma STIEBEL ELTRON® ist hier eine Ausnahme und bietet durch die Einstellung des Firmengründers zum Schutzrechtsgedanken und die seit über achtzig Jahren (1924) bestehende Struktur als Familienunternehmen ein besonders reiches Feld für Betrachtungen dieser Art [1].

Der Firmengründer Dr. Theodor Stiebel hat durch seine flexible Art, Probleme zu erkennen und zu lösen, maßgeblich zur erfolgreichen Positionierung und dynamischen Ausrichtung der Firma beigetragen. Dies hat die schutzrechtsstrategische Einstellung der im KMU (Klein- und Mittlere Unternehmen)-Bereich einzuordnenden Firma bis heute nachhaltig beeinflusst. Für viele KMU gestaltet sich i.d.R. schon die Erschließung der Möglichkeiten des gewerblichen Rechtsschutzes schwierig und damit zumeist kostspielig. Am Beispiel der Firma STIEBEL ELTRON® wird mit diesem Beitrag die Motivation und der langjährige, gezielte Einsatz gewerblichen Rechtsschutzes an Beispielen bei einem KMU vorgestellt.

1. Einführung / Historie

Der Maschinenbauingenieur Dr. rer. pol. Theodor Stiebel gründete am 1. April 1924 in Berlin die Firma „ELTRON Dr. Theodor Stiebel“. Bemerkenswert für diese Zeit und den Blickwinkel dieser Betrachtung ist das Thema seiner Dissertation: „Die Anlernung auf wissenschaftlicher Grundlage als Faktor im deutschen Wirtschaftsleben“.

Die ganzheitliche Betrachtung von Produktionsprozessen auf der Basis arbeitswissenschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Kenntnisse für die Umsetzung seiner technischen Ideen und die daraus entwickelten

Innovationen bildet zweifellos die Basis seines nachhaltigen Erfolges. Die daraus entwickelten Konzepte werden durch die frühzeitig eingebundenen schutzrechtsstrategischen Überlegungen als Einheit und nicht als Ergänzung gesehen.

1.1. Erste Patente

Im Februar 1924 wurde die Idee zur Verbesserung elektrischer Heizkörper für Kochgeräte in der Konstruktion eines innovativen Ringtauchsieders umgesetzt. Zeitgleich mit der technischen Entwicklung wurde eine Reihe von Patenten (DE 490 781 A, DE 523 454 A, DE 548 613 A, DE 565 265 A, DE 590 320 A mit Zusatz DE 631 116 A, DE 592 606 A, DE 620 343 A, DE 665 417 A, DE 677 859 A usw.) angemeldet, die die Weiterentwicklungen gut dokumentieren.

1.2. Die Marke Stiebel Eltron

Parallel wurden Entwürfe für eine Marke „Eltro“ (1924) und „Eltron“ (1928) vorgelegt.



Figur 1: Handskizze von Dr. Stiebel zur Marke „Eltro“ um 1924.

» ELTRO «



Figur 2: Entwicklung der Wort-/Bildmarke 1924, 1927 bis 1928.

Die Verbindung von „Stiebel“ und „Eltron“ vollzog sich schrittweise (1951, 1953).



Figur 3: Entwicklung der Text/Bildmarke 1949, 1950 bis 1955.

STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen.

Figur 4: Das derzeit bekannte Erscheinungsbild erhielt die Marke nach 1970 mit letzten bekannten Änderungen 1990.

1.3. Verwertung von Schutzrechten

Die Vermarktung des Ringtauchsieders erfolgte über die Leipziger Frühjahrsmesse 1924, auf der Dr. Theodor Stiebel 100 Tauchsiedermuster ausstellte und 600 Muster-Einzelaufträge verbuchen konnte. Unter anderem wurden Messen, wie die technische Messe Hannover 1953, von Dr. Theodor Stiebel für Gebrauchsmusteranmeldungen als Priorität genutzt (DE 1 763 936 U).

In diesem Zusammenhang ist die Patentschrift DE 515 899 A für ein „Reklamegerät zum Vortäuschen der Wirkungsweise von Kochern“, mit dem das Marketing des elektrischen Ringtauchsieders von Dr. Theodor Stiebel unterstützt wurde, eine besondere Erwähnung wert. Hier wird lebendig dokumentiert, dass eine gute Idee allein, auch wenn sie zur Innovation führt, nicht selten noch einen erheblichen Teil an zu leistender Überzeugungsarbeit benötigt, bis sie zur gewünschten erfolgreichen Verwertung gelangt.



Figur 5: Reklamegerät zum Vortäuschen der Wirkungsweise von Kochern (Figur aus DE 515 899 A) mit Werbefigur.

Das Unternehmen gilt als Pionier in der elektrischen Wärmeerzeugung mit dem gesetzten Ziel, Produkte mit geringem Energieverbrauch, mehr Sicherheit und mehr Komfort zu entwickeln und zu bauen.

Dr. Theodor Stiebel hatte während seiner unternehmerischen Tätigkeit stets enge Verbindungen zu den Patentbehörden. Es ist bekannt, dass Herr Dr. Stiebel im Schutzrechtsverfahren immer persönlich beim Prüfer vorstellig wurde.

Bis heute sind weltweit über 2500 Schutzrechtsanmeldungen der Stiebel-Eltron-Gruppe recherchierbar.

Dabei liegt allein der in Deutschland verzeichnete Anteil der Markenmeldungen bei über 50 und der der Geschmacksmusterregistrierungen, die den Begriff „Stiebel Eltron“ mittragen, bei ca. 50.

Den Bedürfnissen des Marktes folgend hat sich das Angebotsfeld des Unternehmens vom reinen Warmwasser-Spezialisten zum Systemanbieter auf dem Sektor der Haus- und Systemtechnik erweitert.

Bereits vor der ersten Ölkrise hat STIEBEL ELTRON® begonnen, Geräte zur Nutzung regenerativer Energien zu entwickeln. Heute ist das Unternehmen einer der führenden Anbieter von thermischen Solar-Anlagen, Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser sowie Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung. Die Ausrichtung erfolgte dabei erkennbar ganzheitlich an den Bedürfnissen des Marktes und erweckte nicht selten Bedürfnisse bei den Kunden, die dem Markt neue Richtungen gaben.

Die heutigen Inhaber der Gruppe sind je zur Hälfte Frank und Dr. Ulrich Stiebel, die Stiebel-Eltron-Gruppe in dieser Branche eines der wenigen Unternehmen in Familienbesitz. Im Mittelpunkt der Stiebel-Eltron-Gruppe mit der Dr. Theodor Stiebel Werke GmbH & Co. KG als Dachgesellschaft mit einem Gesamtumsatz von über 340 Millionen Euro (2005) stehen die STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG sowie die STIEBEL ELTRON International GmbH mit ihren nationalen und internationalen Vertriebsorganisationen. Mit der Übernahme der Haustechniksparte der Firma Elektrolux 2002 wurden die Marken AEG, Zanker und Cabeltherm erworben. Als Vertriebsgesellschaft ist die EHT Haustechnik GmbH hinzugekommen. Werke existieren in Holzminden und Eschwege sowie Poprad/Slowakei,

Bangkok/Thailand und Tianjin/China.

Die Devise des Firmengründers „**Erarbeitung von Konstruktionen, welche dem Stand der Technik vorausseilen**“ schließt eine Ausrichtung und Orientierung an gewerblichen Schutzrechten und durch gewerbliche Schutzrechte am Markt und an den potentiellen Bedürfnissen des Marktes vorausschauend mit ein.

2. Einflüsse durch Entwicklungen und Zeitgeschichtliches

Die folgende Auflistung der Entwicklungen der Firma von Dr. Stiebel, des schutzrechtlichen Geschehens und der gesellschaftspolitischen Ereignisse zeigt auf, wie die Schutzrechte (Patente, Gebrauchsmuster, Marken, Geschmacksmuster) von der Firma strategisch eingesetzt werden. Ausgehend von den nationalen Anmeldungen wurde eine Fülle von Auslandsanmeldungen mit nationaler Priorität vorgenommen. Für die entwicklungstechnische Ausrichtung der Firma ist eine gute Korrelation mit der Ölpreisentwicklung zu beobachten.

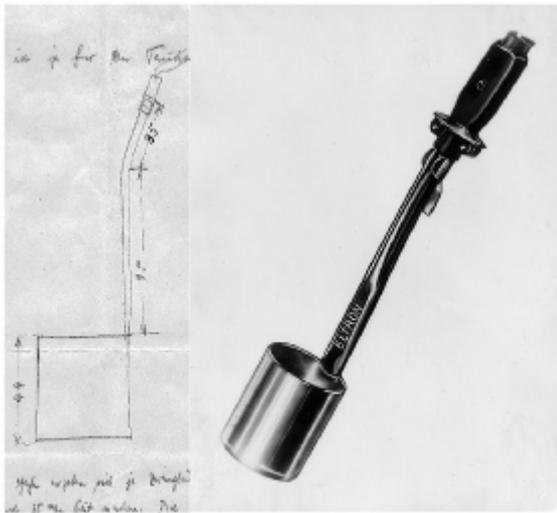
2.1. Chronologie der Ereignisse von 1919 bis 2006

1919 Schutzrechte: Umbenennung des Kaiserlichen Patentamts in Reichspatentamt.



Figur 6: Ring-Tauchsieder Werbeplakat.

1924 ELTRON elektrischer Ring-Tauchsieder (10 Patente).

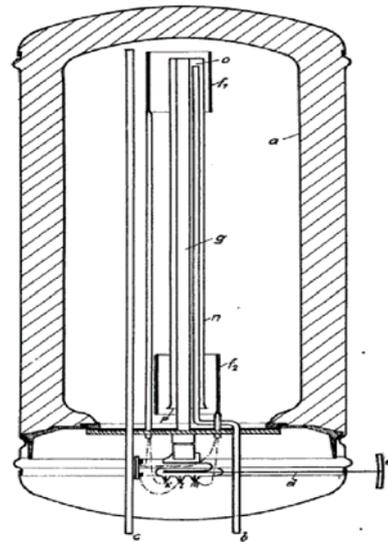


Figur 7: Ringtauchsieder Entwurfsskizze von Dr. T. Stiebel mit Abbildung des Gerätes.

Nach dem Ende des I. Weltkrieges war die wirtschaftliche Situation (Inflation durch die Kosten des Wiederaufbaus) denkbar schlecht. Not macht erfinderisch. Das Bedürfnis war klar, man brauchte günstig und schnell heißes Wasser. Der elektrische Ringtauchsieder war ähnlichen Produkten zur Wassererhitzung durch schnelle Aufheizzeit, kurze Abkühlzeit und den Preis von 2 Reichsmark überlegen (der Stundenlohn eines Arbeiters betrug 25 Pfennig!). Dr. Theodor Stiebel gründet am 5. Mai in Berlin die Firma ‚ELTRON‘.



Figur 8: Durchlauferhitzer (1927).



Figur 9: Durchlauferhitzer, Figur aus dem Patent CH 162 079.

1927 Durchlauferhitzer / Durchlaufspeicher für Küche und Bad von Dr. Stiebel.

1933 Schutzrechte: Das Patentanwaltsgesetz wird neu gefaßt und die Patentanwaltskammer geschaffen.

bis 1938 werden Dr. Stiebel 35 Patente in Deutschland und 12 Patente im Ausland erteilt.

1945 Schutzrechte: Das Reichspatentamt stellt seine Tätigkeit ein, patentamtslose Zeit **bis 30.09.1949**.



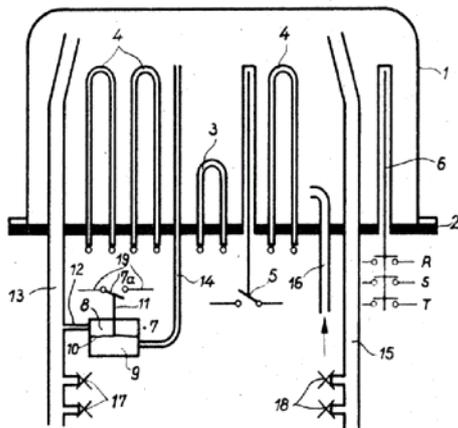
Figur 10: Historisches Foto der Firmenniederlassung in Holzminden.

1946 Neubeginn im niedersächsischen Holzminden. Wiederaufnahme der Heißwassergeräte-Fertigung mit 400 Beschäftigten nach dem II. Weltkrieg.

01.10.1949 Schutzrechte: Eröffnung des Deutschen Patentamtes (DPA), zunächst im Deutschen Museum in München.



Figur 11: Durchlauferhitzer DH 18.



Figur 12: Durchlauferhitzer, Figur aus DE 1 232 676 B.

1949 Der DH18 ist ein hydraulischer Durchlauferhitzer.

1950 STIEBEL ELTRON® steht in der Werbung als Synonym für warmes Wasser.

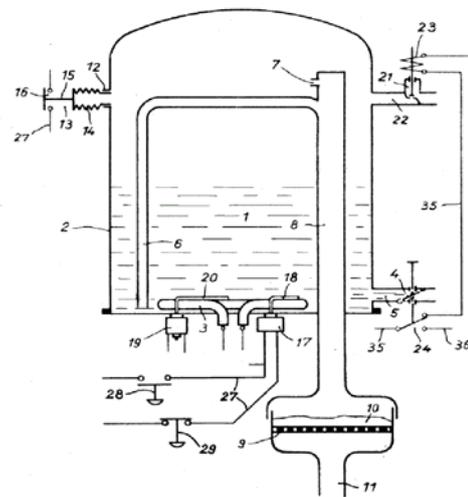
Das sogenannte „Marken-Branding“ erfolgte hier im doppelten Sinne.

1952 Bordküchen für Flugzeuge

Die Ideen hierfür sollen Dr. Stiebel bei einem Transatlantikflug gekommen sein.



Figur 13: Kaffeemaschine von STIEBEL ELTRON® für die Bordküche in Flugzeugen.



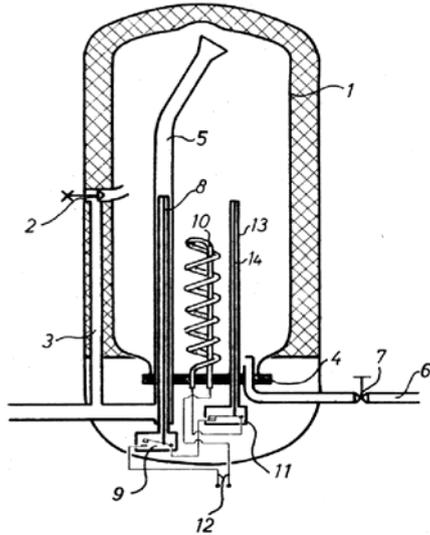
Figur 14: Kaffeemaschine, Figur aus DE 1 013 846 B.

1957 Kaffeemaschinen für Linienflugzeuge

25.07.1957 Schutzrechte: das Gesetz über Arbeitnehmererfindungen tritt in Kraft.



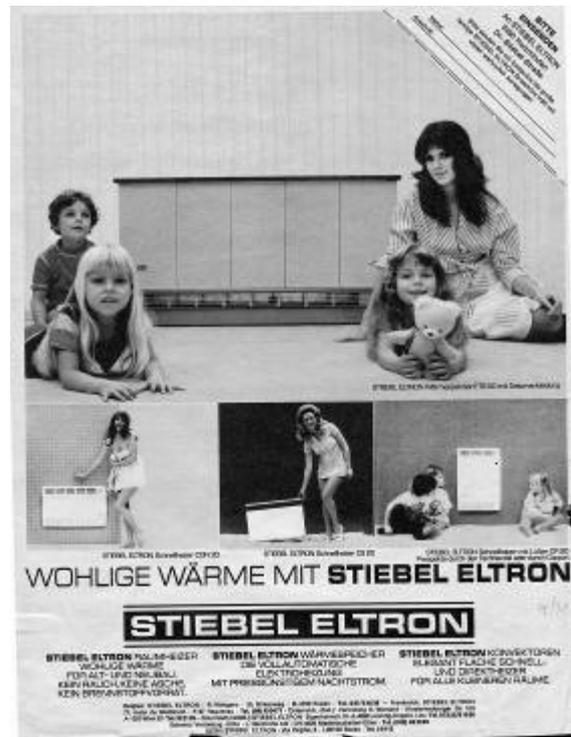
Figur 15: Kochendwassergerät EBK 5 mit Figur aus DE 1 025 286 B.



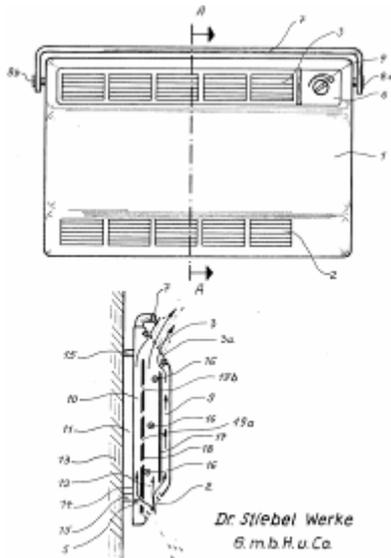
Figur 16: Kochendwassergerät aus dem Patent DE 1 025 286 B.

1958 Kochendwassergerät EBK 5.

1961 **Schutzrechte:** Gründung des Bundespatentgerichtes.

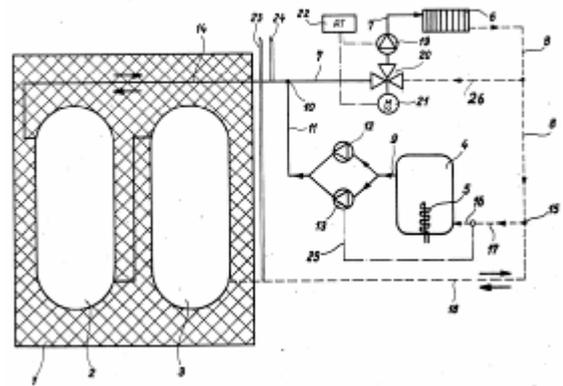


Figur 18: Werbung für Speicherheizungen (von Charles Wilp).



Figur 17: Konvektionsofen mit Figur aus dem Gebrauchsmuster DE 1 904 682 U.

1964 Konvektionsofen.



Figur 19: Speicherheizung mit Figur aus DE 1 914 733 A.

1968 Das Unternehmen schafft mit Speicherheizgeräten eine zusätzliche Erweiterung.

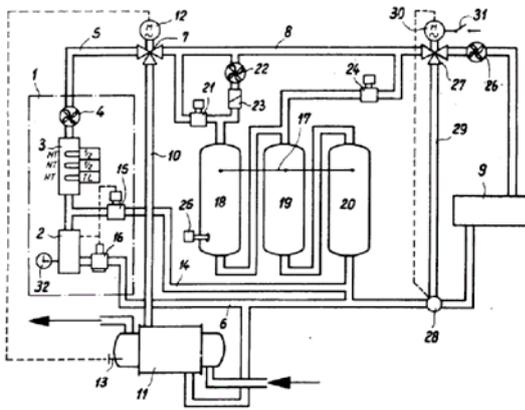
Herbst 1973 Erste Ölkrise – ausgelöst durch den Yom Kippur Krieg. Die Organisation der Erdöl exportierenden Länder (OPEC) drosselt die Fördermengen, um den Preis für Erdöl zu erhöhen.



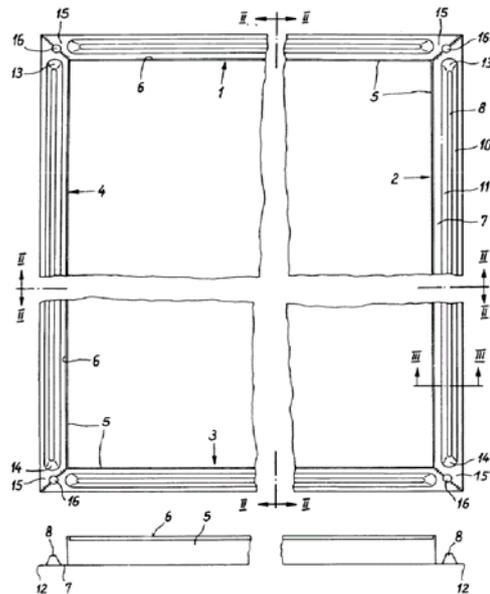
Figur 20: Wärmepumpenproduktion.



Figur 22: Produktion von Solarkollektoren.



Figur 21: Figur aus der DE 25 58 513 C2, die eine Zentralheizungsanlage mit Wärmepumpe (2) zeigt.



Figur 23: Solarkollektoren mit Figur 1 und 2 aus der DE 29 29 215 C2 .

1974 Beginn der Wärmepumpenentwicklung

Die Entwicklung des Teilbereiches Wärmepumpe im Gesamtbereich Wärmeerzeugung steht im Konsens mit den durch volkswirtschaftliche Ereignisse hervorgerufenen Bedürfnissen einer technisch weit entwickelten Gesellschaft.

1975 Schutzrechte: Einführung der Internationalen Patentklassifikation (IPC).

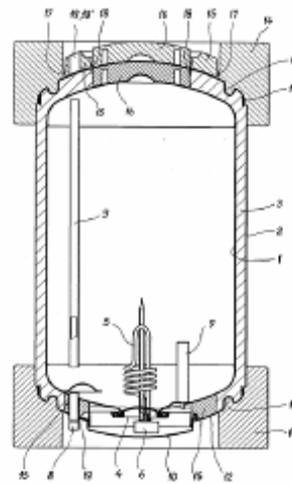
1977 Beginn der Entwicklung von Solarkollektoren.

1977 Schutzrechte: am 7. Oktober tritt das Europäische Patentübereinkommen in Kraft.

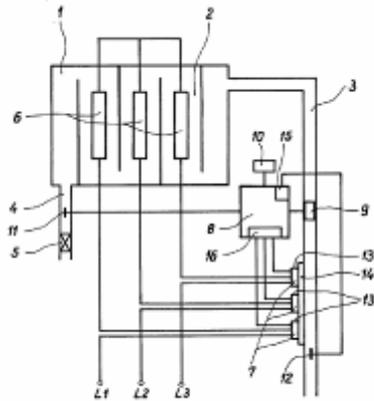
1979 Zweite Ölkrise – ausgelöst durch die Revolution im Iran.



Figur 24: Elektronischer Durchlauferhitzer.



Figur 27: Verpackungsstütze für Heißwasserspeicher aus dem Gebrauchsmuster DE 298 15 772 U1.



Figur 25: Durchlauferhitzer, Schaltbild aus dem Patent DE 3 906 603 C2.

1987 STIEBEL ELTRON® bietet den ersten vollelektronischen Durchlauferhitzer der Welt an.

1988 Schutzrechte: Das DPA Dienststelle Berlin übernimmt die Zuständigkeit für Geschmacksmuster und typographische Schriftzeichen von den Amtsgerichten.

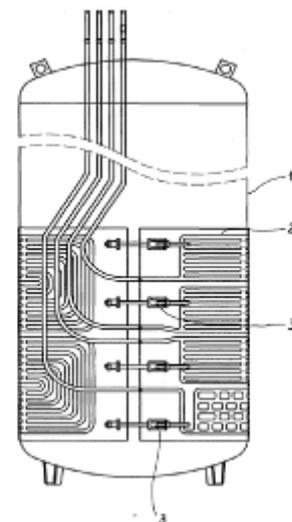
1994 Das modernste Behälterwerk Europas wird in Holzminden eingeweiht.



Figur 28: Warmwasserspeicher in Explosionsdarstellung.



Figur 26: Speicherbehälter für Wasser in der Fertigung.



Figur 29: Warmwasserspeicher im Schnitt, Figur aus dem Gebrauchsmuster DE 298 11 953 U1.

1995 Ökobilanzen für Warmwasserspeicher.

1995 **Schutzrechte:** Das neue Markengesetz tritt in Kraft.

1997 STIEBEL ELTRON® präsentiert die Weltneuheit SCOT, ein Steuerungssystem für kontinuierliche und diskontinuierliche Verbrennungsprozesse (DE 44 33 425, DE 195 02 900).

2000 Teilnahme an der Weltausstellung EXPO 2000 mit der Niedrigenergiehaus-Siedlung ‚Hofanlage Brombeerweg‘. Weitere richtungsweisende Projekte wie ‚Lupinenweg‘ in Holzminden und die Sanierung von Mehrfamilienhäusern auf Passivhaus-Standard in Hannover folgen.

2001 STIEBEL ELTRON® eröffnet ein Werk in Thailand.

2002 STIEBEL ELTRON® kauft die Haustechnik-Sparte von Electrolux Deutschland mit der Marke AEG Haustechnik.

2003 Systemlösungen im Rahmen der neuen Energieeinsparverordnung. Der Spareffekt der Ölpreisentwicklung bekommt damit einen weiteren Multiplikator, der die Entwicklungen alternativer Systemlösungen forciert.

2004 **Schutzrechte:** Das neue Geschmacksmustergesetz (Geschmacksmusterreformgesetz) löst das bisher geltende Geschmacksmustergesetz sowie die entsprechenden Vorschriften über den Schutz typographischer Schriftzeichen im Schriftzeichengesetz am 1. Juni ab.

2005 Ein unabhängiges Gremium von Fachleuten zeichnete die Premium-Marke STIEBEL ELTRON® als 'Superbrand' aus. **Branding**, oft auch als **Corporate Branding** bezeichnet, ist ein Instrument für Unternehmen sich durch den Einsatz von Marken zu profilieren und damit zur Steigerung des Unternehmenswerts beizutragen. Corporate Branding soll dabei ein unverwechselbares Profil eines Unternehmens nach innen und außen erzeugen. Wie die Ehrung der Premium-Marke STIEBEL ELTRON® als 'Superbrand' zeigt, wurde bis jetzt der ganzheitliche Ansatz der schutzrechts-strategischen Sicht bei der Erarbeitung von Ideen zu Innovationen nicht aus

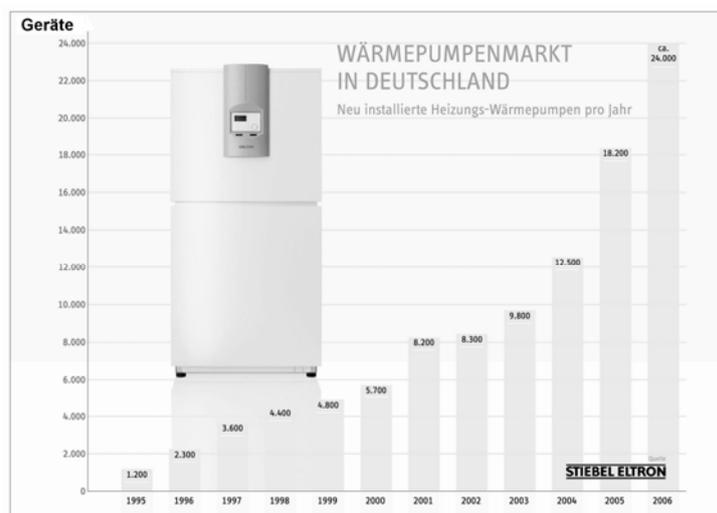
den Augen verloren.

2006 Ein umfassend neues Erscheinungsbild der Marke STIEBEL ELTRON® wird derzeit entwickelt. Ziel ist die Modernisierung der Marke auch unter Designgesichtspunkten. Hinzu kommt der neue Internetauftritt mit umfassenden Informationen für Fachpartner und Endkunden.

3. Geweckte Bedürfnisse im Zusammenspiel mit den gesellschaftspolitischen Ereignissen

3.1. Entwicklungen des Marktes für Wärmepumpen in Deutschland (Zeitraum 1974 – 2006)

Auslöser für Überlegungen, die wesentlich zu den Entwicklungen des Wärmepumpeneinsatzes und der Nutzung alternativer Energien in Europa beitrugen, war die Ölkrise 1973. Der Start der Wärmepumpenproduktion bei STIEBEL ELTRON® 1974 ist eng an dieses Ereignis gekoppelt. Ohne die Ölkrise (1973, 1979 und dem erneuten Ölpreisanstieg nach 2000) und die daraus resultierenden gesetzlichen Maßnahmen (Bauverordnungen, Energieeinsparverordnung) wäre der Bedarf des Marktes nicht so hoch und damit würde auch die Weiterentwicklung von Wärmepumpensystemen wohl nicht den derzeitigen Trend verzeichnen:

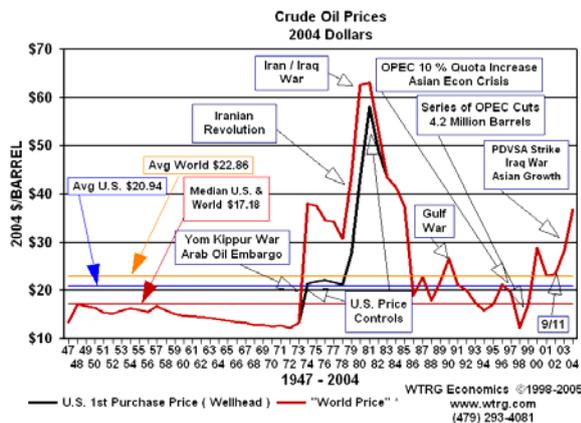


Figur 30: Entwicklung des Wärmepumpenmarktes von 1995 bis 2006 (Energieeinsparverordnung 2003!) [2].

3.2. Ölpreisentwicklung 1947 bis 2006

Der bis dahin geübte Umgang mit fossilen Energieträgern wurde in das Bewusstsein der Bevölkerung getragen und führte zu einem Umdenken in Politik und Gesellschaft. Ein

Großteil der Leser wird sich noch an die Sonntagsfahrverbote im November und Dezember 1973 in Deutschland erinnern, als Fußgänger und Fahrräder die Autobahnen nutzen konnten. Das Schaubild aus WTRG Economics [3] zeigt die Entwicklung des Ölpreises in Abhängigkeit von den gesellschaftspolitischen Ereignissen auf:



Figur 31: Ölpreisentwicklung korreliert mit wichtigen gesellschaftspolitischen Ereignissen 1947 – 2004 [3].

Die technischen Entwicklungen von STIEBEL- ELTRON® waren damit ab 1973 dadurch geprägt, sich noch energiebewusster auszurichten. Dies wird angesichts der derzeitig geübten Globalisierung der Industrienationen noch umfangreiche Weiterentwicklungen zur Folge haben müssen, um die zukünftigen Bedürfnisse nur annähernd befriedigen zu können. 2005 hat der Ölpreis der Sorte Brent den Preis von \$70 erreicht und 2006 überschritten. Ein Sinken des Ölpreises unter die \$60 wird in absehbarer Zeit nicht erwartet.

4. Schutzrechte zur Wärmepumpe

Eine Recherche zu den Ereignissen auf dem Weltmarkt zeigt eine hohe zeitliche Korrelation mit Schutzrechtsanträgen im Umfeld der Wärmepumpensysteme. Die nachfolgenden Verweise auf Schutzrechte erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern zeichnen ein Bild der Entwicklungsschübe auf, die z.T. auf die energiepolitischen Ereignisse reagieren bzw. neue Wege suchen, um erkennbaren Trends schon im Ansatz zu begegnen.

Korrelation der Schutzrechte mit den energiepolitischen Ereignissen:

1973 Erste Ölkrise

1974 Patente zu Wärmepumpensystemen/-regelung (DE 24 01 556 B2, DE 24 02 703 B2), Kombination von Solarenergiegewinnung mit bestehenden Systemen (DE 24 43 029 A1).

1975 eine Serie von Patenten (DE 25 17 610 C2, DE 25 58 510 C2, DE 25 58 511 C2, DE 25 58 512 C2, DE 25 58 513 C2), die das Thema Wärmepumpe mit Speichern und Wärmepumpen im Zusammenhang mit Zentralheizungen aufgreifen

und

1979 Zweite Ölkrise

bis 1989 mit über fünfzig Anmeldungen wird das gesamte Umfeld mit den Steuerungs- und Regelungsaspekten abgearbeitet (wie z.B. die Patente DE 28 03 118 B2, DE 28 14 886 C2, DE 28 51 511 C2, DE 29 05 552 C2, DE 29 25 677 C2, DE 30 22 828 C2, DE 30 43 123 C2, DE 32 01 349 C2, DE 33 02 024 C2, DE 33 18 429 C2, DE 34 27 389 C2, DE 35 24 446 C2, DE 37 20 558 C2, DE 37 39 461 A1, DE 39 02 745 C2).

1988 hatte der Ölpreis zeitweise wieder das Preis-Niveau von vor 1973 erreicht, der Schock bei den Verbrauchern saß jedoch tief.

Von 1990 bis 2000 ist zu beobachten, daß sich die Anmeldungen zum Thema Wärmepumpe zunehmend mit noch nicht bedachten Problemlösungen und Optimierungen vorhandener Lösungen befassen (z.B. Kältemaschinen DE 42 06 926 C2, Vereisungsprobleme DE 43 21 161, DE 102 15 587 B4 (Priorität für EP 13 53 130 A1), Klimaanlage DE 44 12 844 C2, kombinierte Luft-Wasser-Wärme Lösungen DE 44 21 204 C2).

Krönender Abschluss und gleichzeitiger Beginn eines groß angelegten Versuches ist **2000** die Teilnahme an der Weltausstellung EXPO 2000 mit der Niedrigenergiehaus-Siedlung 'Hofanlage Brombeerweg', die eine Reihe verschiedener energie-technisch interessanter

Kombinationen mit Wärmepumpen in bewohnten Häusern zeigt und in einem Langzeitprojekt untersucht.

Die Korrelation mit dem Schaubild aus WTRG Economics [3] ist bis jetzt erkennbar. Die neuesten energiepolitischen Entwicklungen, es ist von einer dritten Ölkrise die Rede, lassen einen ähnlichen Innovationsschub in Richtung Energie- und Kostenersparnis für den Kunden erwarten.

Literaturliste, Quellen

- [1] BIRKE, M. et al. Stiebel Eltron von 1924...bis heute. - Color Druck GmbH, Holzminden, 2004 Firmenschrift.
- [2] www.stiebel-eltron.com
- [3] www.wtrg.com

Entwicklungen und Trends bildgebender und Navigations-Technologie beim Einsatz in der Chirurgie

Dr. phil. nat. Thomas Dresel, Abt. 1.35

Der Mensch ist in den vergangenen Jahren einer fundierteren Diagnose und besseren Therapiemöglichkeiten von Krankheiten ein großes Stück näher gekommen als je zuvor. Dies drückt sich sehr deutlich an der rasanten Geschwindigkeit der Entwicklung der letzten Jahre auf dem die Chirurgie unterstützenden technologischen Gebiet aus. Diese Entwicklung ist begleitet von Risiken, aber auch von enormen Chancen für den Erfolg einer gezielten Therapie, bei der das eingesetzte chirurgische Behandlungsinstrument auf dem Weg zum Behandlungsziel gesundes Gewebe weitestgehend schont.

1. Einleitung

Seit Jahrtausenden ist der Mensch nicht zuletzt wegen seiner naturgegebenen Neugier und seinem Wissensdrang bemüht, den das Menschsein allgemein begleitenden Zustand der Krankheit wenigstens zu lindern oder gar zu heilen und nicht bloß als Schicksal zu akzeptieren. Nachdem er die eigentlich elementare Tatsache erkannt hat, dass jeder Mensch irgendwann von einer Krankheit betroffen sein kann bzw. wird, sehnt er sich nach Prophylaxe und Abhilfe durch immer spezifischere und präzisere Techniken.

Durch seine im Laufe der Zeit wissenschaftlich immer mehr geordnete Neugier kommt der Mensch dem Ziel eines besseren Verständnisses der eigenen Physiologie näher. Er erkennt immer mehr die das Leben und die Krankheit bestimmenden funktionellen Abläufe und leitet daraus eine zunehmend fundiertere Diagnose und daraufhin eine besseren Erfolg versprechende Therapie ab.

2. Medizinische Bildgebung

Wenn vor wenigen Jahrzehnten noch lediglich ein einziges Projektions-Röntgenbild mit hohem Interpretationsbedarf die einzige bildgestützte Informationsquelle für eine Diagnose mit anschließender Therapie war, spiegelt heute der simultane Einsatz mehrerer bildgebender Sensoren, im Fachjargon Modalitäten genannt, mit sehr hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bei zugleich signifikanter Verminderung der Strahlenexposition und,

den diesbezüglichen Stand der Technik wider.

2.1. Schlüsselbegriffe der Bildgebung

Das grundlegende Prinzip ist dabei die geschickte Zusammenführung der unterschiedlichen Informationsgehalte, die diese Modalitäten über Körperstrukturen einer interessierenden Körperregion bereitstellen – vergleichbar mit einem aus vielen Teilen bestehenden Puzzle. Damit sind Einblicke in krankhafte Veränderungen wesentlich präziser und sicherer möglich als früher, denn es gelingt zunehmend besser, diese räumlich exakt zu lokalisieren und gezielt therapeutisch dagegen vorzugehen.

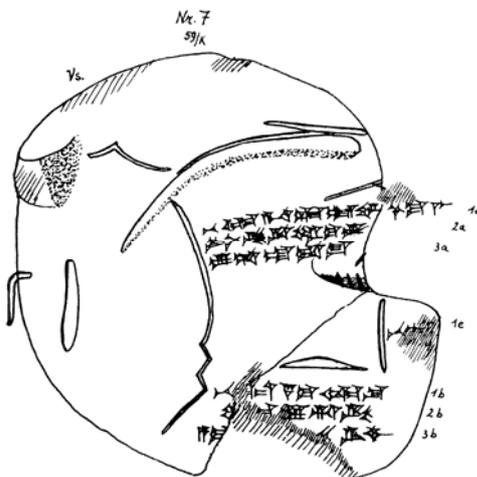
Die Medizintechnik ist daher ein wesentlicher Impulsgeber für den wissenschaftlich-technisch-medizinischen Fortschritt, für den wiederum die Weltraumforschung auf dem Weg zum Mond in den 60er und 70er Jahren des letzten Jahrhunderts wegbereitend war.

Das in der Medizintechnik angewandte grundlegende Prinzip der praktischen Wissensfindung ist sehr unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen zu eigen. Es ist deshalb anschaulicher, die zentralen „medizinischen“ Fachtermini, wie „Markierung“, „Kalibrierung“, „Registrierung“, „Fusionierung“, „Rekonstruktion“ „über den Tellerrand schauend“, also interdisziplinär, näherzubringen. Diese Schlüsselbegriffe sind dem jeweiligen Ärzteteam geläufig, das, unterstützt durch die Bildgebung dieser Modalitäten, seine chirurgischen Instrumente auf dem Weg durch den

menschlichen Körper zum Einsatzgebiet navigiert.

Im Folgenden soll daher beispielhaft an drei unterschiedlichen wissenschaftlichen bzw. technischen Disziplinen veranschaulicht werden, was diese grundlegende methodische Vorgehensweise charakterisiert:

I. In den Geisteswissenschaften, beispielsweise in der Altanatolistik, ist die wissenschaftliche Neugier, unsere kulturellen Wurzeln zu erschließen, die treibende Kraft. Die viele Jahrtausende alten Schriftdenkmäler, die teils auch über interessante medizinische Themen (Figur 1, [7]) Aufschluss geben [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] sind im Allgemeinen nur noch fragmentarisch erhalten.



Figur 1: Ein hethitisches Modell der Leber eines Tieres (KBo. 7, Text Nr. 7, aus [7]). Die auf diesem Tontafelfragment sichtbaren Strukturen stellen spezifische Krankheitsbilder der Leber dar, und der jeweilige Text ist eine jeweils zugehörige „Annotation“ eines hethitischen Schreibers. – Mit freundlicher Genehmigung des Gebr. Mann Verlags. Hier nur Vorderseite gezeigt. Fundnummer: 59/k; Fundort: westlich vom Archiv-Geb. A, Bk. G: Büyükçale, Planquadrat x/13, im Schutt tieferer phrygischer Siedlungsschichten; Datierung: ca. 13. Jh. v. Chr. (Großreichszeit); Textgattung: Lebermodelle, akkadischer Text.

Die als Original-, Duplikat- bzw. Paralleltexte innerhalb einer Textgattung hierbei einem bestimmten kulturellen Kontext zugehörigen Fragmente werden sehr verstreut an Orten ehemaliger, seinerzeit eingerichteter Bibliotheken, im Fachjargon Archive genannt, gefunden. Ziel ist es, zur Textrekonstruktion möglichst viele zusammengehörige Fragmente zusammenzufügen. Dabei muss beachtet werden, dass sie unterschiedliche Schreibstile und Schriftgrößen aufweisen. Letzteres ist zum einen in den unterschiedlichen Gelehrten begründet, die unmittelbar

dem König und/oder dem Tempel dienten und selbst Texte verfassten oder solche vom König diktiert bekamen und die, entsprechend der direkten Übersetzung der zugehörigen Berufsbezeichnung, „Schreiber“ genannt werden und zum anderen darin, dass für die Keilschrifteditionen unterschiedliche neuzeitliche Editoren zuständig waren bzw. sind. Sehr hilfreich sind daher Bezugspunkte, also „Marken“, für eine erforderliche Skalierung dieser Fragmente auf einen einheitlichen Maßstab, welches einer Kalibrierung entspricht. Solche Marken sind markante Auffälligkeiten, die viele dieser Fragmente aufweisen, wie etwa Wölbungen, Ränder, Ecken, Farben; auch Textpassagen trennende horizontale sog. Paragraphenstriche und senkrechte Striche, die sog. Kolummentrenner, sind derartige Marken. Sie, sowie die partiellen Sinngehalte der Übersetzungen dieser Fragmente als Teile eines großen Puzzles helfen, die korrekte Anordnung von Textpassagen zueinander zu finden. Schließlich werden die Fragmente in genauer Relation zueinander in Form einer Gesamtbearbeitung, vergleichbar einer Partitur, „zusammengefügt“. Dabei können mögliche vorherige Textlücken erstmals gefüllt werden, indem die Fragmente zu einem größeren „Teil“-Stück zusammengesetzt werden; sie sind damit als registriert anzusehen. Jedes Puzzleteil trägt bei dieser Fusion des jeweiligen Teilwissens der Original-, Duplikat- bzw. Paralleltexte zu ein und demselben übergeordneten, nunmehr detailreicheren Verständnis des teilweise noch in seiner Gesamtheit unbekanntem zu rekonstruierenden Textinhalts bei. Die Hinzunahme neuer Informationen aufgrund neu aufgefundener Fragmente macht bisweilen eine Re-Registrierung der Fragmente erforderlich, da diese neuen Fragmente als zusätzliche Stützstellen die Genauigkeit der Skalierung erhöhen. Eine ganzheitliche Textrekonstruktion und somit das vollständige Erschließen dieses Textinhalts wird möglich sein, indem das Puzzle schrittweise im Laufe der Zeit vervollständigt und in einer Datenbank gespeichert wird.

II. Die Hochenergiephysik bewerkstelligt diese Informations-Fusion in Form eines aussagekräftigen fusionierten Bildes einer betroffenen Kernstruktur aufgrund des Beschusses eines Targets dadurch, dass sie unter Verwendung von raffinierten Koinzidenz- und Gatingtechniken zugleich die Energie, den Impuls sowie

den Ort und die Zeit hochauflösende Sensoren als „Modalitäten“ einsetzt. Die in zusammengesetzten Bildern beobachteten und analysierten Zerfallspfade gestatten Aussagen über grundlegende mikrokosmische, überwiegend dem grundlegenden Aufbau der Materie zugeordnete Fragestellungen. Kosmologisch interessante Aussagen sind beispielsweise im Zusammenhang mit Lebensdauermessungen besonders langlebiger angeregter Kernzustände bestimmter Nuklide bei thermodynamischen Betrachtungen zur Synthese der schwereren Elemente im Rahmen der Altersbestimmung des Weltalls erhältlich. Solche Kerne sind Kandidaten für „kosmische Chronometer“. Auch die immer genauere Abschätzung der Neutrino-Masse, beispielsweise aus dem Verlauf des Zerfalls-Betaspektrums eines oder mehrerer angeregter Kernzustände abgeleitet, erlaubt solche fundamentalen Aussagen, da sie von gewisser Bedeutung im Zusammenhang mit Diskussionen über ein mögliches Kollabieren oder eine stete Ausdehnung „des Weltalls“ ist.

III. Das Vorgehen in der Avionik moderner Flugzeuge ist ähnlich. Hier soll dem Piloten das gewünschte Luftlagebild als Ergebnis einer Fusion von Sensorinformationen unterschiedlichen Ursprungs dargestellt werden, um ihm die Möglichkeit zu einer schnellen und möglichst vollständigen Lagebeurteilung an die Hand zu geben. Dieses Bild ist das Ergebnis von zu unterschiedlichen Zeiten, an unterschiedlichen Orten und mittels anderer, etwa gemeinsamer, kennzeichnender Attribute aufeinander abgestimmter, registrierter Sensor(bild)-Informationen. Die begleitende Kalibrierung erfolgt durch eine Abstimmung der unterschiedlichen Koordinatensysteme des multimodalen Sensorsystems. Die Sensor-Fusion liefert das zentrale „Bild“ für die Führung und die Navigation des Flugzeugs, welche besonders im Zusammenhang mit der Vermeidung von Flugzeugkollisionen wichtig ist.

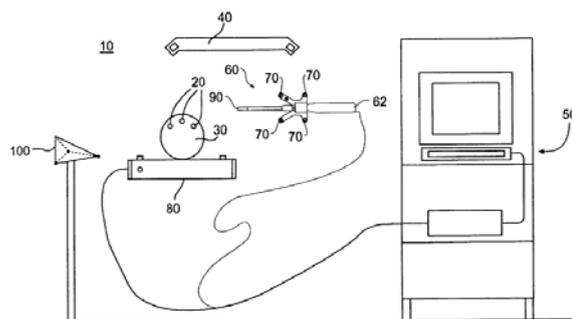
Die vorgenannte methodische Vorgehensweise ist durchaus vergleichbar mit der in der Chirurgie, wo es darum geht, unterstützt durch die Bilddaten der Modalitäten unter der Bedingung größtmöglicher Schonung von gesundem Gewebe, ein chirurgisches Behandlungsinstrument zum gewünschten Ziel zu navigieren. Diese Herausforderung ist eine Quelle für zahlreiche Erfindungen auf diesem viele medizinische

Aspekte berührenden medizin-technischen Feld, welches die folgende herangezogene Literatur beispielhaft repräsentieren soll. Deren Inhalte mögen „als roter Faden“ zugleich einem besseren Verständnis des eingeschlagenen methodischen Vorgehens dienen.

3. Die Navigation in der Chirurgie

3.1. Möglichkeiten der Positionsbestimmung

Zur Lösung einer Navigationsaufgabe ist es erforderlich, dass zu jedem Zeitpunkt der genaue dreidimensionale Ort des Behandlungsinstrumentes im Körper bekannt ist. Hierzu wird ein Navigationssystem zur Positions- und Lagebestimmung eingesetzt. An Hand detektierbarer Marken an dem Instrument wird es diesem System ermöglicht, die räumliche Position und Lage des Instruments in Echtzeit festzustellen und diese dem jeweils hierzu korrespondierenden Ort im Bild lagerichtig zuzuordnen (Figur 2 aus [9]).



Figur 2: Ein System (10) zur chirurgischen Navigation, u. A. aufweisend: ein mit optischen Marken (70) bestücktes Instrument (60), einen Operationstisch (80) (mit Patient (30) und an ihm befestigten optischen Marken (20)), ein Kamerasystem (40). – Ein zweites Navigationssystem (100; 80, 60) verfügt über einen im Operationstisch (80) installierten Magnetfeldgenerator und ein elektromagnetisches Element (90) in der Spitze des Instruments (60) zur Korrelation von *in beiden* Navigationssystemen ermittelten Positionen und Lagen des Instruments (60) (aus US 6 402 762 B2, [9]).

Es werden unterschiedliche Sende- und Empfangssysteme eingesetzt, die beispielsweise Ultraschall basierend sein können oder auf elektromagnetischer Strahlung, etwa auf infraroter Strahlung, beruhen [8], [9].

3.2. Marken als Bezugspunkte zur Navigation

Rege Erfindertätigkeit ist daher auf dem Gebiet der künstlichen Marken festzustellen. Wesentlicher Bestandteil ist die hochgenaue Identifikation dieser Marken durch das

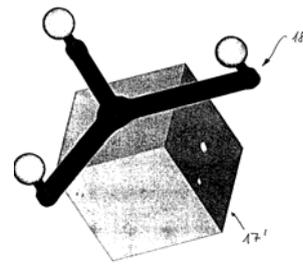
Navigationssystem. Für die nur mittelbar in Bilddatensätzen sichtbaren Marken werden zur Bestimmung der Positionen und Lagen von am Körper oder an Instrumenten befestigten Marken geeignete Erkennungs-Algorithmen eingesetzt. Eine dauerhaft hohe Navigationsgenauigkeit hängt im konkreten Anwendungsfall ab: von der geschickten Auswahl des Marken-Materials (Strahlen undurchlässig [= „radiopaque“ oder „röntgenpositiv“] oder Strahlen durchlässig [= „radiolucent“] oder „multimodal“, d. h. in Modalitäten basierend auf unterschiedlichen physikalischen Bildgebungsprinzipien simultan sichtbar), vom geometrischen Aufbau, von der Farbe, vom Muster und von den Arrangements von Marken relativ zueinander. Die bestimmenden Faktoren hierfür sind z. B. das verwendete optische oder akustische Detektionsverfahren und das physikalische Prinzip der eingesetzten Modalitäten. Es müssen zudem mögliche kurzfristige, versehentliche Abdeckungen solcher Marken während der Operation berücksichtigt werden, um eine dreidimensionale Ortsauflösung für die Position und die Lage der Marken und damit der Bilder und Instrumente jederzeit zu gewährleisten.

Dabei werden unterschieden:

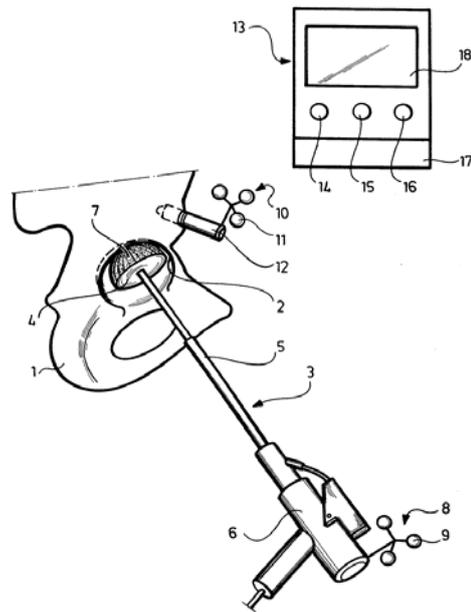
Künstliche Marken (oft engl. „fiducials“ genannt) sind in oder an einem Körperteil eingebrachte oder mittels Referenzstrukturen dort angeordnete, das Ärzteteam nicht störende, Infrarot-Strahlung emittierende, also „aktive“, oder passive, Strahlung in Richtung eines Detektors reflektierende Markierungen oder hybride Kombinationen hiervon (Figur 3 aus [10]) [10], [11], [12].

Anatomische Landmarken sind charakteristische, unverwechselbare Punkte bei einem Patienten, etwa am Beckenknochen.

Ein klassisches Einsatzgebiet solcher Marken in der Navigationstechnologie ist der orthopädische Bereich, um beispielsweise zwei Knochenfragmente in eine bestimmte Position und Lage zueinander zu bringen oder um einen Knochenteil zu bearbeiten (Figur 4 aus [13]) [13], [14]. Anwendungen finden sich darüber hinaus auch auf dentalem Gebiet [15].



Figur 3: Eine Markenstruktur, hier bspw. drei kugelförmige Reflektoren für Infrarotstrahlung, an einem Adapter (18), der auf einer Referenzstruktur (17) in Form eines Würfels befestigt ist, welcher innerhalb seiner Außengeometrie im Röntgenbild sichtbare Marken aufweist (aus DE 199 17 867 B4, [10]).

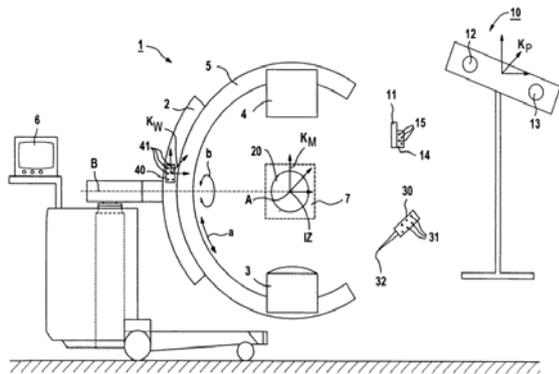


Figur 4: Chirurgische Maßnahme an einem Hüftknochen (1) mit einem am distalen Ende eines Werkzeuges (3) angeordneten Formfräser (4). Hüftknochen (1) und Werkzeug (3) weisen jeweils Markierelemente (8, 9, 10, 11) zur Positionsbestimmung mit dem Navigationssystem (13) auf (aus DE 101 05 822 C2, [13]).

Ergänzend zu solchen Marken oder alternativ hierzu, falls diese stören oder nur unter schwierigen, nicht vertretbaren Umständen im Körper eines Patienten anzubringen und später wieder zu entfernen wären, seien auch die beiden folgenden Varianten genannt:

In einem ersten Fall weisen die an der Bildgebung beteiligten Geräte und chirurgischen Instrumente jeweils Arrangements aus Marken auf (Figur 5 aus [19]). Auch wenn diese Geräte und Instrumente nicht notwendigerweise unmittelbar zueinander registriert sind, so ist doch unter Zuhilfenahme von bekannten Transformationsbeziehungen zwischen den Koordinatensystemen der beteiligten Geräte und

Instrumente die Navigation des jeweiligen Instruments ermöglicht [16], [17], [18], [19].



Figur 5: An Modalität (1) und Instrumenten (11, 30) angeordnete Marken (15, 31, 41), die mit Kameras (12, 13) des Positionserfassungssystems (10) detektiert werden. Dargestellt ist auch ein Röntgen-Kalibrierphantom (20) mit Messvolumen (7), das seinerseits röntgenpositive Marken (21; siehe in [19] die Figur 3) zur Kalibrierung der Modalität, des C-Bogen-Röntgengerätes (1), enthält (aus DE 102 15 808 B4, [19]).

In einem zweiten Fall sind spezielle Muster-Erkennungs-Algorithmen, wie Segmentierungs-Algorithmen, grundlegender methodischer Bestandteil.

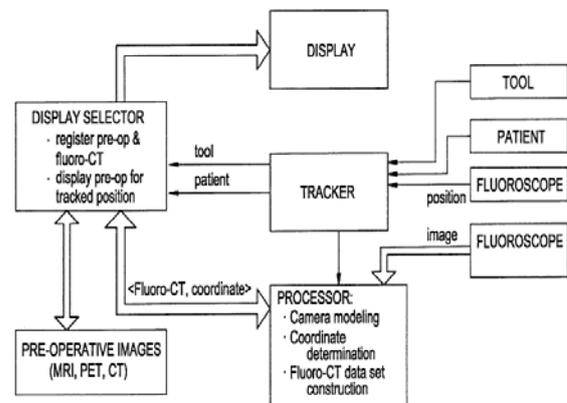
Mit diesen Algorithmen werden die in den Bilddatensätzen vorhandenen Informationen der Körperstrukturen in mit ihren Umrandungen sichtbare Strukturen, z. B. Organe, Blutgefäße, Knochen, umgewandelt. Diese Strukturen fungieren gleichwohl als „Marken“ für Registrierungsaufgaben zwischen verschiedenen, beispielsweise „multi-modal“ aufgenommenen Bildern. Vor der Bildfusion werden solche Bilder dadurch bildbasiert registriert, dass die Bilder mit den unterschiedlichen Randkurvenverläufen ein und derselben Körperstruktur einem mathematischen Verfahren zur Anpassung der Randkurven (engl. „matching“) unterzogen werden [20].

3.3. Bildbasierte Registrierung

Diese Vorgehensweise der bildbasierten Registrierung und anschließenden Fusion von multi-modal oder prä- und intraoperativ gewonnenen Bildern unterstützt den Einsatz von Navigationssystemen.

Es werden hierzu nicht nur am Operationsinstrument, sondern auch an den Modalitäten, welche die Bilddaten zur Verfügung stellen, entsprechende Marken angebracht. Diese Modalitäten werden kalibriert. Unter Verzicht des den Patienten belastenden Anbringens und späteren

Entfernens von Marken können gleichwohl die bereitgestellten Bilddaten fusioniert werden, da deren Registrierung zueinander bildbasiert ist. Das dem Navigationssystem direkt zugeordnete Positionsdetektionssystem ermittelt nun in Echtzeit die Positionen und Lagen sowohl der Modalitäten als auch des Operationsinstrumentes aufgrund der detektierten Marken. Die jeweilige Position und Lage des Operationsinstrumentes wird daraufhin in entsprechenden Fusionsbildern positions- und lagegetreu zu Navigationszwecken auf einem Monitor dargestellt (Figur 6 aus [23]).



Figur 6: Ein Verfahren, bei dem sowohl die Bildregistrierung (links) als auch die Positionsbestimmung von Instrument, Patient und Modalität (rechts) wesentliche Verfahrensschritte sind (aus US 6 484 049 B1, [23]).

Dabei sind mathematische Triangulations- und Transformationsverfahren nützlich, um die nötigen Relationen zwischen den beteiligten Modalitäten und dem oder den chirurgischen Instrument(en) während eines medizinischen Eingriffs aufrechtzuerhalten [21], [22], [23], [24], [25].

Damit erhält das behandelnde Ärzteteam eine deutliche Erhöhung des Informationsgehalts über diesen interessierenden Körperbereich [19], [26], [27]. Jene Veränderungen, die durch die chirurgischen Tätigkeiten hervorgerufen werden, sind im Vergleich dieser Bilder und mithilfe geeigneter Visualisierung sofort erkennbar. Solche Veränderungen frühzeitig aufzuspüren, ist im neurologischen Bereich und überall dort von großer Bedeutung, wo es durch operative Öffnungen, Freilegungen und andere chirurgische Tätigkeiten zu einer Positionsverschiebung von Organen kommen kann. Daher

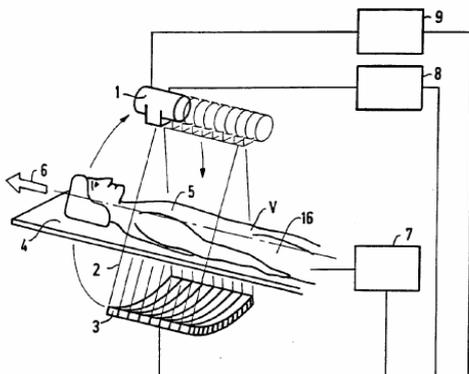
müssen präoperative, vor solchen Öffnungen und Freilegungen angefertigte Bilddaten re-registriert werden, um die eindeutige Zuordnung zu den intraoperativ gewonnenen Bilddaten zu gewährleisten [28], [29].

4. Verbesserungen zur Steigerung des medizinischen Informationsgehalts

4.1. Verbesserungen im Umfeld der Modalitäten

In diesem chirurgischen Kontext, auch als „Computer Aided Surgery“ („CAS“) zu bezeichnen, wird die Genauigkeit von Navigationssystemen auch durch Verbesserungen in der Orts- und Zeitauflösung der eingesetzten Modalitäten unterstützt. Diese Verbesserungen sind eine Folge des rasanten technologischen Fortschritts mit beispielsweise immer schnelleren und immer größere Bitbreiten an Daten verarbeitenden Prozessoren. Durch den Einsatz solcher Prozessoren ist eine deutliche Steigerung verarbeitbarer Informationsgehalte auch von medizinischen Bilddaten möglich. Dies, sowie die durch technische Raffinessen verfeinerte Sensorik von bildgebender Technologie gestattet dem Ärzteteam in Echtzeit immer tiefere, hochaufgelöstere Einblicke in die Körperstrukturen.

Ein Beispiel hierfür ist die Tomographie mit Spiralabtastung (engl. „helical scan tomography“) (Figur 7 aus [30]), die eine hohe räumliche Ortsauflösung bei kurzen Zeiten zur Generierung des Bilddatensatzes gestattet und daher die für Navigationsaufgaben sehr wertvollen präzisen Informationen liefert [30], [31].



Figur 7: Computer-Tomograph (1, 3) mit Röntgenstrahler (1) und Strahlendetektor (3). Die Superposition der relativen linearen Bewegung (Pfeil 6) zwischen der Patientenliege (4) und dem Tomographen (1, 3) mit der Drehbewegung des Tomographen (1, 3) ergibt eine Spiralabtastung (aus DE 195 02 576 B4, [30]).

Diese Tomographie-Methode ist inzwischen offenbar erfolgreich dahingehend erweitert worden, dass für den „Scan“ statt bisher einer Röntgenquelle, zwei in der Röntgenstrahler-Strahlendetektor-Ebene im Winkel versetzt angeordnete Quellen als „Dual-Source“ simultan der Bildgewinnung dienen.

Diese deutliche Steigerung verarbeitbarer Informationsgehalte lässt auch daran denken, komplexere Informationen vorteilhaft zu nutzen. Daher ist auch für Navigationszwecke die Berücksichtigung von sich einstellenden Veränderungen von und in Körperstrukturen aufgrund von Stoffwechselaktivitäten von zunehmend größerer Bedeutung. Solche Veränderungen können frühzeitig nachgewiesen werden, indem diejenige Modalität (zusätzlich) eingesetzt wird, die empfindlich auf die spezifischen Stoffwechselaktivitäten ist.

So gewährt beispielsweise einerseits die bildgebende „Positronen-Emissions-Tomographie“ („PET“), bei der die selektive Anreicherung einer verabreichten radioaktiven Substanz im Körper erfasst wird, oder andererseits das ebenfalls bildgebende „functional Magnetic Resonance Imaging“ („fMRI“), mit der stoffwechselbedingte Unterschiede aufgrund von reizausgelöster Aktivität im Gehirn feststellbar sind, diese gewünschten Einblicke.

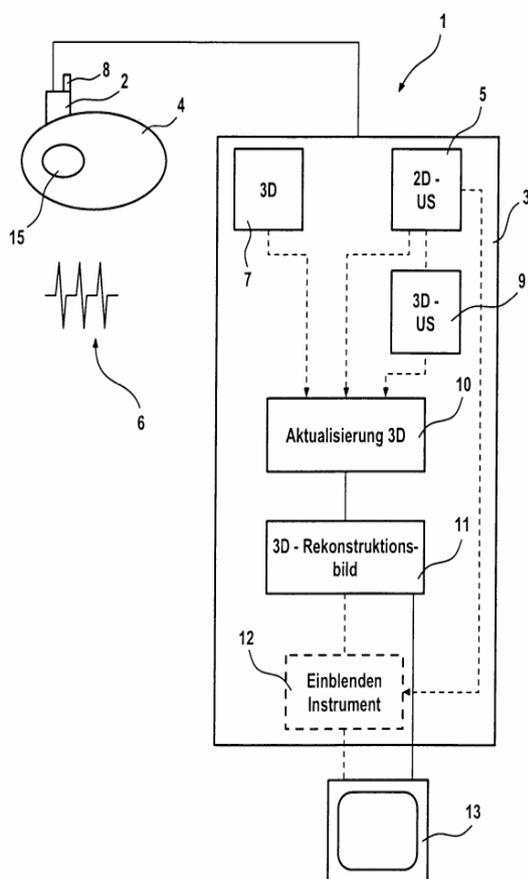
Dieser Gewinn an zusätzlichen, spezifischen Bildinformationen kann noch gesteigert werden, indem diese „PET“- oder „fMRI“-Bilddatensätze mit konventionell gewonnenen computer-tomographischen Bilddatensätzen fusioniert werden. Damit ist nun ein neuer Weg für eine gesteigerte Genauigkeit einer Therapie krankhafter Körperstrukturen eröffnet [23].

4.2. Einbeziehung von Organmodellen zur weiteren Steigerung des medizinischen Informationsgehalts

Bei den vorgenannten Navigationssystemen ist wegen der hohen Anforderungen an die Verarbeitung der anfallenden Bild-, Positions- und Lagedaten in Echtzeit der Einsatz von Computern zwingend erforderlich. Der Einsatz von Hochleistungscomputern im Zusammenhang mit Datenbanken eröffnet die Möglichkeit der Datenhaltung von in ihrer Gestalt veränderbaren virtuellen Modellen von Organen. So kann bei Eingriffen im Herz oder am Herzen

das hier zuständige Ärzteteam auf deformierbare 3D-Modelle und Normmodelle des Herzens in Datenbanken zurückgreifen, die es im konkreten Fall individualisiert, um, überlagert im aktuellen Bild, durch Vergleich einen gesunden oder krankhaften Zustand des Herzens herauszufinden [32].

Ein elektrophysiologischer Aufzeichnungskatheter (engl. „mapping catheter“), eingeführt ins Herz, liefert 3D-Daten zur aktuellen Herzaktivität. Dieser stellt eine weitere Datenquelle mit hoher Aussagekraft dar, wenn auch dessen 3D-Daten mit einem um das individualisierte Modell erweiterten aktuellen Bild fusioniert werden [22], [25], [32].



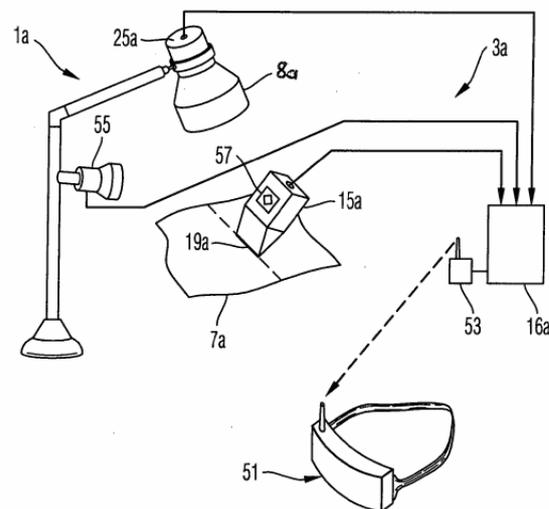
Figur 8: Bilddatengewinnung (5, 7, 9; 10, 11) unter Berücksichtigung (EKG, 6) des sich rhythmisch bewegenden Herzens (15) eines Patienten (4). Es erfolgt die Einblendung (12) eines Behandlungsinstrumentes in ein 3D-Rekonstruktionsbild (11), das nach Aktualisierung eines präoperativ aufgenommenen 3D-Bilddatensatzes (7) durch intraoperativ aufgenommene 2D-Ultraschallbilder (5) des Untersuchungsbereichs (15) mittels eines Ultraschallgerätes (2) erhältlich ist. Die genaue Zuordnung der 2D-Ultraschallbilder zu dem präoperativ aufgenommenen 3D-Bilddatensatz ist durch den Positionssensor (8) ermöglicht. Zur Visualisierung dieses rekonstruierten Bildes ist ein Monitor (13) vorgesehen (aus DE 102 10 650 B4, [20]).

Im letztgenannten Fall von sich periodisch bewegenden

Organen und der damit verbundenen Gefahr „verwackelter“ Bilder wird die Bildgebung für bestimmte Anwendungsfälle entsprechend der Phase dieser Bewegung (z. B. Herzphasen-„Gating“, Atem-„Gating“) getriggert, so dass diesbezüglich artefaktfreie, bewegungskorrigierte kontrastreichere Bilder entstehen (Figur 8 aus [20]) [20], [25], [33].

4.3. Zusätzliche Möglichkeiten der Visualisierung

Navigationsysteme sind auch als „Operations-Assistenz-Systeme“ in diesen „CAS-“Anwendungen bekannt, die durch die Anwendung von Methoden der „erweiterten Realität“ (engl. „augmented reality“), einer holographischen Aufbereitung und stereoskopischen Darstellung von Instrumentarien des Ärzteteams und Körperregionen, ergänzt werden können (Figur 9 aus [34]) [34], [35], [36].



Figur 9: Untersuchungssystem (1a), im wesentlichen bestehend aus einem Operationsmikroskop (8a), einem Messkopf (15a), welcher ein Markierungsmuster (57) aufweist, einer Kamera (55) sowie { XE "" } einem „Head-Mounted-Display“ („HMD“, 51) (aus DE 102 52 837 B4, [34]).

5. Ausbildung des ärztlichen Personals

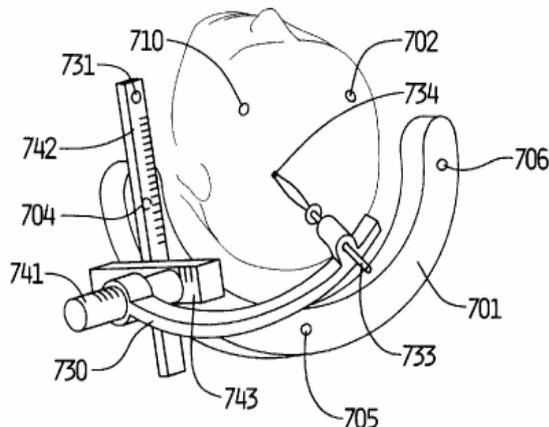
Schließlich werden mittels derartiger Operations-Assistenz-Systeme auch beabsichtigte, komplexe Operationen simuliert bzw. es werden solche Systeme zur Ausbildung und Übung von medizinischem Personal eingesetzt [37].

6. Planung von Zugangswegen zum Situs

Nicht zuletzt gestattet die Steigerung der Orts- und Zeitauflösung sowie des Informationsgehaltes der dreidimensionalen Bilder eine zuverlässigere Planung von Zugangswegen (engl. „road map“) sowie eine genauere Berechnung der Position und Lage des Zieles oder Zielgebietes. So kann ein chirurgisches Instrument im Körper eines Patienten noch schonender navigiert werden.

Die sorgfältige Planung von solchen Zugangswegen ist gerade in der „minimal-invasiven Chirurgie“ („MIC“) unbedingt erforderlich, falls ein „CAS“-System dort eingesetzt wird,.

Die auf diese Weg-Planung und Berechnung des Zielpunktes (griech. „Stereotaxie“) folgende Behandlung erfolgt mit der Hilfe eines Zielgerätes. Speziell in der Neurochirurgie wird ein solches Zielgerät auch „stereotaktischer Rahmen“ genannt, welcher der mechanischen Instrumentenführung dient und am Kopf befestigt ist (Figur 10 aus [38]).

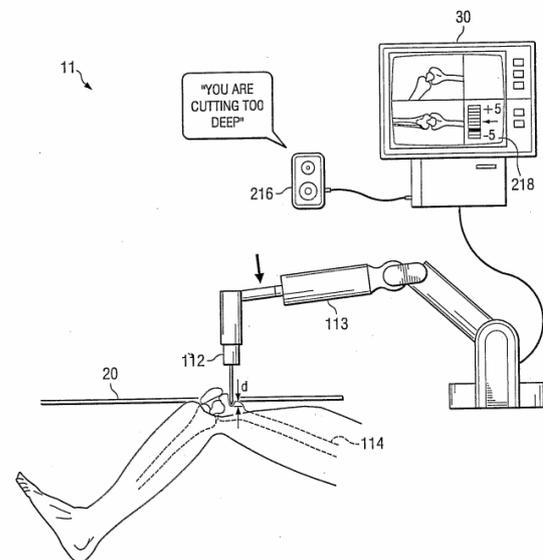


Figur 10: Stereotaktischer Rahmen (701) mit Marken (705, 706). An dem Rahmen (701) ist ein justierbares Bogensystem (730) montiert, das seinerseits Marken (704, 731) aufweist. Auch am Patienten sind Marken (702, 710) angebracht. Die Transformationsbeziehungen zwischen diesen Marken sind bekannt, so dass die Führung des Behandlungsinstruments (733) zum Ziel (734) ermöglicht ist (aus US 6 259 943 B1, [38]).

Diese stereotaktische Behandlung kann aber auch rahmenlos und lediglich bildgestützt erfolgen. Besonders ergonomisch ist es für das zuständige Ärzteteam, wenn deren Instrumente repräsentierende Symbole zusammen mit dem fusionierten Körperbild dargestellt werden. Diese Symbole sollen intraoperativ in Echtzeit über die während

des chirurgischen Eingriffs durchquerten räumlichen Bereiche informieren. Die Darstellung dieser Symbole entsprechend der aktuellen Position und Lage (engl. häufig „pose“) der Instrumente ist hierbei dementsprechend angepasst [27], [38].

Wird der als optimale Route für die Instrumentenführung vorgeschlagene Zugangsweg verlassen, beispielsweise infolge einer auftretenden allzu starken Zitterbewegung (Tremor) eines handgeführten Instruments oder wird dieses bewusst herbeigeführt, so soll dies dem behandelnden Ärzteteam durch ein akustisches, visuelles oder „taktiles“ bzw. „haptisches“ Signal mitgeteilt werden (Figur 11 aus [39]) [39], [40], [41], [42].



Figur 11: Hörbares „Feedback“ mit Tiefenanzeige (218) an das – hier nicht dargestellte – behandelnde Ärzteteam bei der Behandlung eines Patienten mit einem „CAS“-System (11). Die „Wechselwirkung“ eines „haptischen Geräts“ (113), eines Chirurgieroboters, erfolgt mit einem „haptischen Objekt“ (20), einer virtuellen, dem Ort der zu behandelnden Patienten-„Anatomie“ (114) zugeordneten Ebene. Siehe auch Abschnitt 7 (aus WO 2005/009215 A2, [39]).

7. Ergänzung der chirurgischen Tätigkeit durch Roboter

Nachteilig erweist sich neben den bereits oben angesprochenen Bewegungen des Patienten (Atem, Herzschlag) – besonders bei sehr diffizilen Operationen – der Tremor der das Instrument führenden Hand. Zur Vermeidung der physiologisch bedingten Zitterbewegung wird daher auch vorgeschlagen, anstelle handgeführter

chirurgischer Instrumente, diese durch einen steuerbaren, das jeweilige Instrument haltenden „Arm“ oder Roboter auszuführen [43], [44], [45].

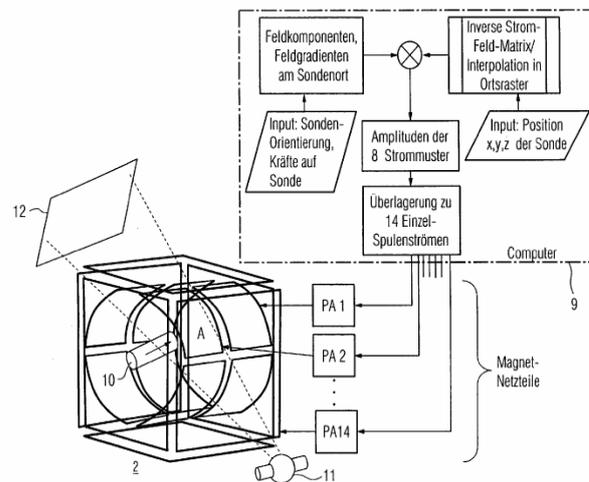
Ein derartiger Einsatz von Robotern sowie die Kommunikationsmöglichkeiten der derzeitigen Vernetzung, wozu auch das Internet gehört, ermöglichen sogar – dies ist allerdings derzeit noch eher als futuristisch anzusehen –, dass eine ortsübergreifende Operation durch zwei entfernt voneinander handelnde Ärzteteams erfolgt (sog. Tele-Operation) [41], [46], [47], [48], [49]. Hingegen wird derzeit bereits bundesweit ein Teleradiologienetzwerk mit hundert Teilnehmern, beispielsweise Krankenhäusern, betrieben [50]. Hierbei erhält der anfragende Arzt eines Krankenhauses nach dessen Bildübertragung in das zentrale Rechenzentrum innerhalb kürzester Zeit den zugehörigen Befund eines dort durchgehend tätigen Teleradiologen.

Zur Erhöhung der Präzision hinsichtlich der Positionierung von chirurgischen Instrumenten, welche gerade auf dem Gebiet der minimal-invasiven Eingriffe von größter Bedeutung ist, werden Teleoperations-Systeme mit „aus der Ferne“ gesteuerten Manipulatoren, also auch Robotern, durch entsprechende haptische Schnittstellen ergänzt [39], [42]. Solche haptischen Schnittstellen vermitteln das ursprünglich vom chirurgischen Instrument beim Berühren oder Bearbeiten von Teilen des Körpers mit unterschiedlichen Gewebearten vermittelte jeweils charakteristische Gefühl, indem dieses von den Schnittstellen zugeordneten Rechenprogramm-Komponenten simuliert wird.

8. Magnetische Navigation

Weniger futuristisch mutet hingegen als Variante oder auch optional zu der vorgenannten marken-basierten Navigationstechnologie die „magnetische Navigation“ an. Diese ermöglicht die Steuerung eines ein magnetisches Bauteil aufweisenden Instruments im Körper eines Patienten, beispielsweise eines Kapsel-Endoskops [51] oder eines magnetischen Katheters [52], [53]. Ein gezielt veränderliches äußeres magnetisches Feld erlaubt die Navigation dieses Instruments zum gewünschten Ziel im Körper, um dort Bildaufnahmen vor Ort anzufertigen (Figur 12 aus [51]).

Gegenüber den vorgenannten, im Operationssaal aufgebauten makroskopischen Manipulatoren oder (fern-gesteuerten) Robotern ermöglichen im vorliegenden Fall miniaturisierte Roboter, das sind in die Kapsel integrierte chirurgische Instrumente, zu therapieren oder zumindest Gewebeproben aus dem Inneren des Körpers zu entnehmen. Die prinzipielle Vorgehensweise, wie die Steuerung für diese magnetische Navigation gestaltet ist, ist aus den Druckschriften [51], [52], [53], [54] ersichtlich.



Figur 12: Magnetische Navigation einer Sonde (10) im Körper (Arbeitsraum (A)) eines nicht dargestellten Patienten mit einem Spulensystem (2). Die unterstützende Bildgebung erfolgt mit einem Röntgengerät, das hier durch dessen Röntgenröhre (11) repräsentiert ist (aus DE 103 40 925 B3, [51]).

9. Ausblick

Die vorgenannte bildgebende und Navigations-Technologie beim Einsatz in der Chirurgie stellt ein sehr komplexes System dar. Um die hohen Genauigkeitsanforderungen bei der Durchführung von Eingriffen zu erfüllen, ist – wie in anderen wissenschaftlichen Disziplinen auch – nicht nur wegen der rasanten Geschwindigkeit des Fortschrittes in der Digitaltechnik, die eine ebenso rasante Weiterentwicklung dieser Technologie bewirkt, ein ganzheitliches, interdisziplinäres Denken erforderlich, wie es bereits eingangs dargelegt wurde. Diese Denkkategorie profitiert von dem fachübergreifend erschlossenen Gedankengut „synergetisch“. Dieses Erfordernis ist aber auch bereits darin begründet, dass die immer detailreicheren Einblicke in die Krankheitsbilder von Menschen deren tief greifende Diagnose nicht immer erreichen.

Das ist regelmäßig dann der Fall, wenn die Komplexität eines solchen Systems zwar beeindruckende neue Funktionen und Möglichkeiten erschließt, die Bedienung dieses Systems aber möglicherweise scheitert, wodurch auch oder gerade der Spezialist nur Minimalfunktionen dieses Systems und selbst diese ungünstigstenfalls in einer ungeschickten Konfiguration und Konstellation mit vorgesehenen weiteren Modalitäten und Instrumenten „nutzen“ kann bzw. wird.

In ein solches Szenario nahezu unvorstellbarer Möglichkeiten passt eine Argumentation, dass diese bildgestützten Navigationssysteme den Ärzteteams sehr viele Aufgaben mit der Folge abnähmen, dass deren früher eher intuitiv und rein manuell bewerkstelligten Eingriffe nunmehr mit einer erhöhten Präzision von einem solchen System mit den entsprechenden computerimplementierten Verfahrensschritten durchgeführt würden.

Bei dieser Einstellung darf nicht übersehen werden, dass der über viele Jahre erarbeitete medizinische, praxisbezogene Wissensschatz nach wie vor fortentwickelt werden muss und die bloße Umsetzung eines diesem Wissensschatz entlehnten Teilwissens in programmtechnische Anweisungen an eine Apparatur lediglich eine trügerische Unfehlbarkeit dieses Systems darstellt [55].

Denn es wird weiterhin erforderlich sein, dass das jeweilige Ärzteteam in jeder operationellen Phase situationsgerecht eingreifen kann, indem es dank seines breit angelegten Erfahrungsschatzes in der Lage ist, sich im Notfall über statische Vorgaben und deterministische Empfehlungen *des Systems* hinwegzusetzen. Die Kunst der bildgestützten Navigation besteht demnach darin, wie in anderen wissenschaftlichen Disziplinen auch, nicht nur die verwendete Apparatur verstehbar zu halten, sondern auch die ständig anwachsende Informationsdichte derart anwenderfreundlich aufzubereiten, dass sie dem qualifizierten Ärzteteam als ein wesentliches, unterstützendes Hilfsmittel dient.

Ethische Fragestellungen, die sich ebenso zwangsläufig in diesem Zusammenhang ergeben, auf die im vorliegenden Fall jedoch nicht eingegangen werden kann, bedürfen ebenfalls der interdisziplinären Erörterung.

Literaturliste

- [1] HAUSSPERGER, M. Die mesopotamische Medizin und ihre Ärzte aus heutiger Sicht. - In: Zeitschr. f. Assyriologie und vorderasiat. Archäol., EDZARD, D.O. [Hrsg.], Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin, New York, 1997, Band 87, II. Halbband, ISBN/ASIN: B00006LPX4.
- [2] HAUSSPERGER, M. Das „Fachbuch“ der Erkrankungen der Atmungsorgane. - In: Zeitschr. f. Assyriologie und vorderasiat. Archäol., EDZARD, D.O. [Hrsg.], Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin, New York, 1999, Band 89, II. Halbband, ISBN/ASIN: B00006LPX4.
- [3] HAUSSPERGER, M. Die Krankheiten des Verdauungstraktes. - In: Die Welt des Orients, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 2002, Band XXXII, S. 33 – 73, ASIN B00006LQ80.
- [4] FINCKE, J. C. Augenleiden nach keilschriftlichen Quellen. Untersuchungen zur altorientalischen Medizin. - In: Würzburger medizinhist. Forschungen, Band 70, Königshausen & Neumann, Würzburg, 2000, ISBN 3-8260-2053-7.
- [5] BURDE, C. Hethitische medizinische Texte. - In: Studien zu den Boğazköy-Texten, hrsg. von der Kommission für den Alten Orient der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, Otto Harrassowitz, Wiesbaden, 1974, Heft 19 (StBoT 19), ISBN 3-447-01590X.
- [6] LEIDERER, R. Anatomie der Schafsleber im babylonischen Leberorakel. Eine makroskopisch-analytische Studie. - W. Zuckschwerdt Verlag GmbH für Medizin und Naturwiss., München, 1990, ISBN 3-886-033481.
- [7] OTTEN, H. Keilschrifttexte aus Boghazköi, Siebentes Heft (Texte der Grabung 1952). -Verlag Gebr. Mann, Berlin, 1954, Text Nr. 7.
- [8] DE 103 438 26 B4
- [9] US 6 402 762 B2
- [10] DE 199 17 867 B4
- [11] DE 195 36 180 C2
- [12] DE 100 45 381 B4
- [13] DE 101 05 822 C2
- [14] DE 101 18 570 B4
- [15] DE 101 17 403 C2
- [16] DE 102 06 193 C1

- [17] DE 102 02 091 B4
- [18] DE 101 40 867 B4
- [19] DE 102 15 808 B4
- [20] DE 102 10 650 B4
- [21] DE 10 2004 011 154 B3
- [22] EP 1 348 394 A1
- [23] US 6 484 049 B1
- [24] US 6 685 644 B2
- [25] DE 103 40 546 B4
- [26] DE 101 14 099 B4
- [27] US 6 298 262 B1
- [28] DE 100 00 937 B4
- [29] US 6 782 287 B2
- [30] DE 195 02 576 B4
- [31] DE 102 07 623 B4
- [32] DE 103 28 765 B4
- [33] DE 10 2004 048 209 B3
- [34] DE 102 52 837 B4
- [35] US 6 599 247 B1
- [36] WIEBEN, O. Virtual and Augmented Reality in Medicine. - In: Minimally Invasive medical theory, Series in Medical Physics, WEBSTER, J.G [Hrsg.], Institute of Physics Publishing, Bristol und Philadelphia, 2001, S. 176 – 194, ISBN 0-7503-0733-1.
- [37] DE 203 21 068 U1
- [38] US 6 259 943 B1
- [39] WO 2005/009215 A2
- [40] US 6 741 883 B2
- [41] DE 10 2004 009 135 B3
- [42] ANDO, N., OHTA, M., HASHIMOTO, H. Micro Teleoperation with Haptic Interface. - In: 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 22. – 28. Okt. 2000, 2000, Band 1, S. 13 – 18.
- [43] DE 102 20 423 B4
- [44] DE 10 2004 010 332 B3
- [45] BERKELMAN, P., et al. LER: The Light Endoscope Robot. - In: Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, Nevada, Okt. 2003, 2003, S. 2835 – 2840.
- [46] WALKER, G.: Minimally Invasive Surgical Robotics.- In: Minimally Invasive Medical Technology, Series in Medical Physics, Ed. John G. Webster, Institute of Physics Publishing, Bristol und Philadelphia, 2001, S. 195 – 218, ISBN 0-7503-0733-1.
- [47] US 6 928 490 B1
- [48] US 6 557 558 B1
- [49] US 6 620 173 B2
- [50] GEBHARDT, G. Echte Tele-Visionäre. - In: Krankenhaus TECHNIK + MANAGEMENT, die Fachzeitschrift für Entscheider im Krankenhaus, Offizielles Organ des Fachverband. Biomedizin. Tech. e. V., pn Verlag Dr. Wolf Zimmermann, Juni 2006, Ausgabe 6, ISSN 1619-4772 B 1494, S. 34 – 36.
- [51] DE 103 40 925 B3
- [52] US 6 834 201 B2
- [53] US 6 871 086 B2
- [54] US 6 755 816 B2
- [55] AUMILLER, J.: Schlüsselloch-Operationen auf invasivem Wachstumskurs – Chirurgen fordern Standardisierung und Kontrolle. - In: MMW – Fortschritte der Medizin. Münchener Medizinische Wochenschrift, Urban & Vogel Verlag GmbH, München, 2006, Heft 22, 1. Juni 2006, S. 13, ISSN 1438-3276.

Manipulationen am Geldautomaten – Schutzmaßnahmen

Dr.-Ing. Andrea Eckebracht, Abt. 1.34

Im Hinblick auf die immer wieder vorkommenden Manipulationen an Geldautomaten wird in diesem Artikel ein Überblick über die vielfältigen technischen Möglichkeiten gegeben, die sich damit beschäftigen, die Manipulationen zu erkennen, bevor die Kunden geschädigt werden. Dabei haben die Erfinder, z.T. Beschäftigte der Hersteller der Geldautomaten aber auch Privatpersonen, zu den gängigen Betrugsmöglichkeiten passende Gegenmaßnahmen entwickelt.

1. Einleitung

Der erste funktionierende Geldautomat wurde bereits 1939 gebaut und von der City Bank of New York probeweise in Betrieb genommen. Der Betrieb war jedoch nicht besonders erfolgreich, da die Kundschaft dieses Gerät damals noch nicht akzeptierte. Das heute noch übliche Prinzip der Authentifizierung durch Vergleich einer eingegebenen PIN (Persönliche Identifikationsnummer) mit der auf der Kundenkarte gespeicherten Zahl wurde 1965 von dem britischen Ingenieur James Goodfellow entwickelt und z.B. in Großbritannien, USA und Deutschland patentiert (GB 1 197 183 A, US 3 905 461 A, DE 15 49 529 C3).

Der Durchbruch zur breiten Anwendung erfolgte mit der dritten Geldautomatengeneration, die mit Plastikkarten mit Magnetstreifen zusammenwirken, wobei diese Karten bereits weltweite einheitliche Standards und Spezifikationen erfüllten. Mittlerweile ist die vierte Geldautomatengeneration auf dem Markt, die mittels Karten bedient werden kann, die zusätzlich zum Magnetstreifen mit einem Chip ausgestattet sind, so dass die Karte zusätzlich die Funktion einer elektronischen Geldbörse übernehmen kann [1].

Der Geldautomat war somit - noch vor dem PC - das erste Computerterminal, das breiten Bevölkerungsschichten weltweit unentbehrlich wurde. Nicht umsonst wurde bei einer Umfrage im Jahr 2002 der Geldautomat von den Deutschen mit 72 % der Stimmen zur nützlichsten technischen Neuerung der letzten Jahrzehnte gekürt [2]. Ein Geldautomat mit Basisausstattung besteht aus einem Industrie-Standard-PC, einem Tresor und folgenden Peripheriegeräten:

- einem Auszahlungsmodul zum Ausgeben der Geldscheine,
- einem Kartenleser zum Lesen der Debitkarten (ec-Karten) oder Kreditkarten,
- einem Encrypting PIN Pad (EPP) zur Eingabe und Verarbeitung der Geheimzahl,
- einem Bildschirm zur Ausgabe von Meldungen und Funktionsauswahl und
- unbeschrifteten Tasten, die rechts und links neben dem Bildschirm angeordnet sind (sog. soft keys) und der Funktionsauswahl dienen.

Weitere Peripheriegeräte, wie z.B. eine Videokamera, sind natürlich möglich. Die Softwareausstattung besteht aus einem Industrie-Standard-Betriebssystem, Gerätetreibern, einer Kommunikationsschicht und einer Applikation, die den Geldautomaten steuert und mit einem Rechner in der Bank (Server/Host) kommuniziert. Die Software wird aus Sicherheitsbedenken nicht offengelegt. Die Betrügereien am Geldautomat sind daher vornehmlich Manipulationen an den Peripheriegeräten. Dabei wird vor allem versucht, die PIN auszuspähen und durch einen Vorbau am Kartenleser die Daten der Karte auszulesen.

2. Typische Betrugsversuche

Im Folgenden werden die bekanntesten Betrugsmöglichkeiten kurz vorgestellt.

- Zusätzliche Tastaturen auf den Originaltastaturen, um die PIN auszulesen und zu speichern oder gleich an eine mobile Station in der Nähe, z.B. ein Notebook, zu senden.
- Beträufeln der Tasten mit kleinen Öltröpfchen, so dass nach dem Benutzen durch einen Kunden festgestellt werden kann, welche Tasten gedrückt wurden.

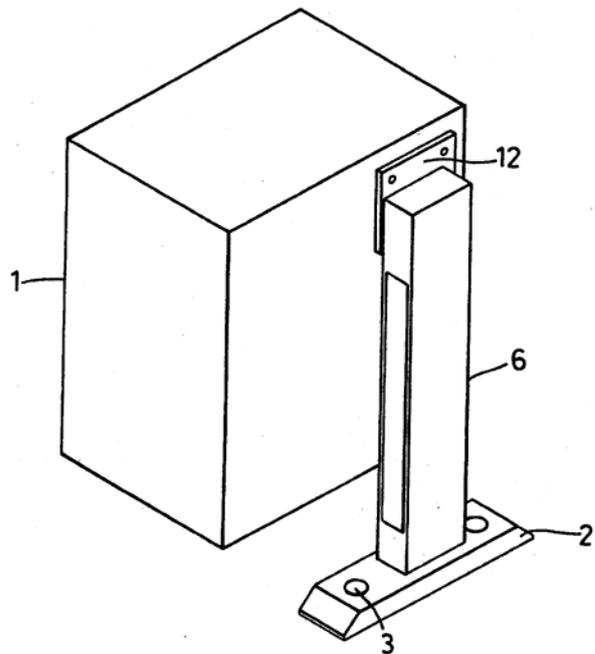
- Ausspähen der PIN Eingabe mittels Filmen durch eine Minikamera, die z.B. in einer Vorsatzleiste am Gerät oberhalb der Tastatur, im oberen Reklameteil des Automaten oder auch an der Raumdecke (z.B. in einem Rauchmelder) angebracht ist.
- Beobachten bei der PIN Eingabe durch Blick über die Schulter.
- Aufsatzgerät (Skimmer) am Eingabeschlitz des Kartenlesers zum Auslesen der Kartendaten. Diese werden entweder gespeichert oder sofort per Funk an die Betrüger in der Nähe (50 m entfernt) übermittelt.
- Blockieren der Kartenrückgabe durch z.B. Einbringen einer Fangschlinge (Lebanese Loop) oder beklebte Plastikbänder.

Diese Aufzählung ist nicht abschließend, da das Erfindungsreichtum der betrügenden Personen groß ist. So sind Trickdiebereien (falsche Bankmitarbeiter, die bei Problemen helfen, Ablenkungsmanöver, um an die PIN und/oder Karte zu gelangen) nicht aufgeführt.

3. Schutzmaßnahmen

Mittlerweile basieren die meisten Betrugsversuche darauf, die PIN auszuspähen und die Kartendaten zu erlangen, so dass die meisten Gegenmaßnahmen genau darauf gerichtet sind, dieses zu verhindern. Das Entfernen der Automaten mit roher Gewalt, wie das Ausreißen aus der Verankerung mit Baufahrzeugen oder die Sprengung der Tresore, hat deutlich nachgelassen, da einfache Maßnahmen, wie das Unbrauchbarmachen der Geldscheine bei Erschütterung oder die Alarmauslösung über Abreißsensoren, zu einem geringen Erfolgserlebnis führten. Auch ist die Verankerung mittlerweile so gestaltet, dass es selbst mit Baggern eine gewisse Zeit dauert, bis der Geldautomat abtransportiert werden kann, so dass nach Alarmierung der Polizei genügend Zeit bleibt, die Täter zu erwischen, vgl. Figur 1 aus GB 2 273 528 A.

Die einfachste Schutzmaßnahme, um das Ausspähen der PIN zu verhindern, ist das Abdecken der Tastatur mit der freien Hand oder einem Gegenstand, um so einen Sichtschutz herzustellen. Solche Sichtschutzvorrichtungen können aber auch Bestandteil des Geldautomaten sein. Im Folgenden werden verschiedene Sichtschutzvorrichtungen vorgestellt.

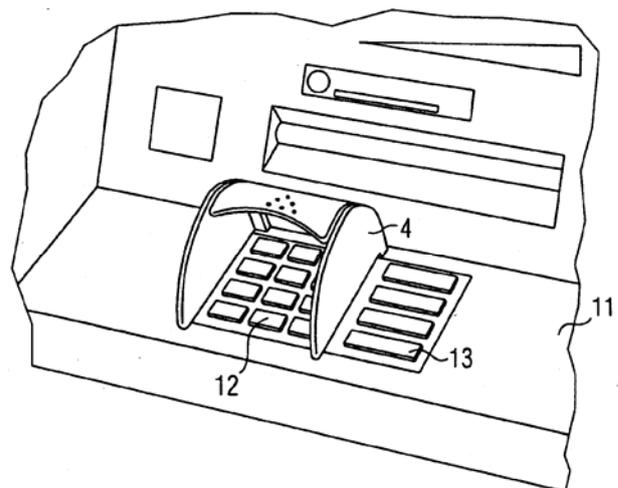


Figur 1: Verankerung eines Geldautomaten aus der GB 2 273 528 A.

3.1. Sichtschutzvorrichtungen

Sichtschutzvorrichtungen für die Eingabetastatur der PIN besitzen die Eigenschaft, dass nur aus dem Blickwinkel des Benutzers alle Tasten deutlich zu erkennen sind. Damit wird das Ausspähen der PIN von der Seite verhindert.

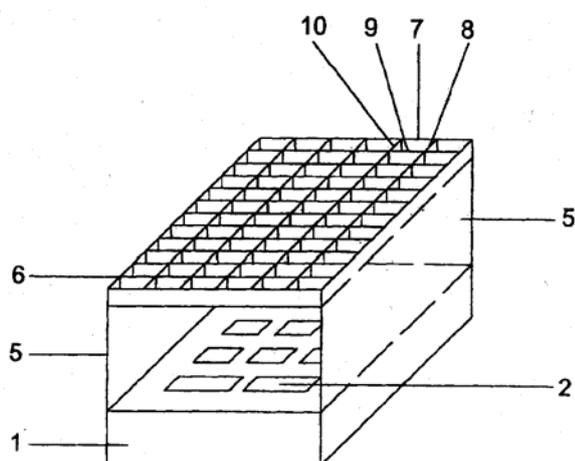
Eine einfache Form eines Sichtschutzelements, das in etwa das Abschirmen der Tastatur mit der Hand nachempfindet, ist z.B. aus Druckschrift DE 10 2005 002 622 A1 zu entnehmen, vgl. Figur 2.



Figur 2: Sichtschutzelement für Geldautomaten aus DE 10 2005 002 622 A1.

Das Sichtschutzelement umgrenzt das Bedienfeld und ist kappenartig ausgebildet, so dass durch die Bildung eines Hohlraumes das Bedienfeld vor Einblicken geschützt wird.

Eine andere Ausbildung des Sichtschutzes findet sich in den Druckschriften DE 101 16 567 A1, DE 298 00 830 U1 und DE 100 06 302 A1 wieder. Dabei umgrenzt eine Umhüllung ebenfalls das Bedienfeld. Diese ist aber mit einer gitter- oder wabenartigen Struktur zum Benutzer hin ausgestattet, so dass nur für jenen der Durchblick auf die Tastatur in einem bestimmten Winkel möglich ist. Beispielhaft sei hier die Figur aus DE 101 16 567 A1 gezeigt:



Figur 3: Gitterförmige Sichtabdeckung für Tastaturen aus DE 101 16 567 A1.

Anstatt der gitterförmigen Struktur oberhalb der Aussparung für die Hand kann auch eine Folie eingesetzt werden, die eine zielgerichtete Lichtführung ermöglicht, so dass ebenfalls der gewünschte Effekt erzielt wird, siehe z.B. DE 100 06 302 A1 oder DE 102 29 673 A1. Aus Stabilitätsgründen wird dabei die Folie auf eine transparente Glas- oder Kunststoffplatte aufgeklebt. Die Folie kann aber auch direkt auf die Tastatur aufgebracht werden, vgl. DE 44 06 115 A1 oder WO 2006/043074 A2.

Diesen Sichtschutzvorrichtungen ist jedoch gemein, dass über die Bewegung der Hand oder der Finger durchaus herausgefunden werden kann, welche Tasten betätigt wurden. Da die Tasten einer Zahl eindeutig zugeordnet sind, kann so die PIN identifiziert werden. Um dies zu verhindern schlägt bereits die Druckschrift DE 44 06 115 A1 vor, die Tasten nicht mit einer festen Zahl zu belegen,

sondern mittels eines speziellen Softwareprogramms ständig neu zu belegen. Die freie Tastenbelegung ist somit ein weiterer Schritt, um vor Betrügereien am Geldautomat geschützt zu werden.

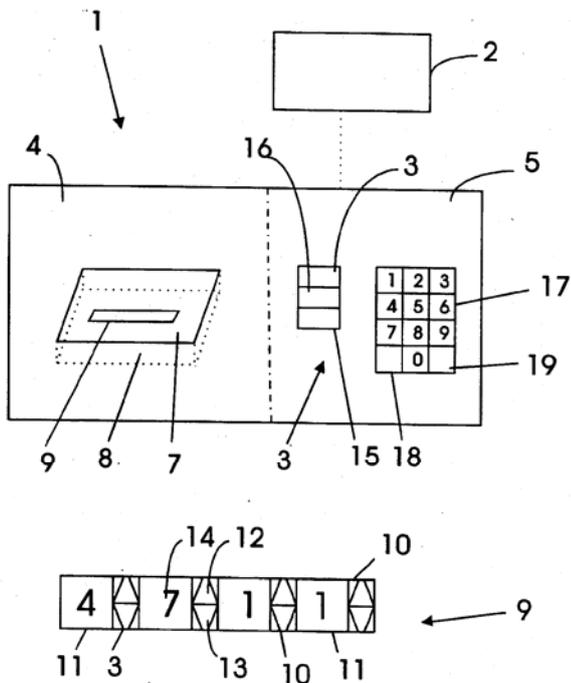
3.2. Freie Tastenbelegung

Wie genau eine freie Belegung der Bedienelemente (PIN-Pad, Tastatur, Touch Screen, etc.) realisiert werden kann, ist beispielsweise den Druckschriften DE 296 13 938 U1, DE 41 29 202 A1 oder DE 198 34 699 B4 zu entnehmen.

In der DE 296 13 938 U1 wird die für die PIN-Eingabe erforderliche Auswahl von Ziffern eines Bedienelements, z.B. einer 10-er Tastatur, dadurch erreicht, dass die einzugebenden Ziffern in einer sich verändernden Reihenfolge auf der Tastatur angeordnet werden. Die aktuelle Anordnung ist dabei blickgeschützt und nur für den jeweiligen Benutzer erkennbar. Die Veränderung der Anordnungsreihenfolge wird nach dem Einschieben der ec-Karte, z.B. durch einen Zufallsgenerator, festgelegt, und die Anzeige der aktuellen Festlegung durch LED-Elemente oder LCD-Elemente angezeigt.

In der DE 41 29 202 A1 wird der Geldautomat so gesteuert, dass in zeitlicher Abfolge Symbole (Ziffern) auf dem Bildschirm angezeigt werden, und der Benutzer im geeigneten Moment, nämlich dann, wenn die angezeigte Ziffer mit der einzugebenden übereinstimmt, das Bedienelement betätigt.

Eine weitere Möglichkeit geht aus der DE 198 34 699 B4 hervor, vgl. dazu auch Figur 4. Darin sind Geldautomaten beschrieben, die neben der üblichen 10er Tastatur ein Autorisierungsfeld (9) aufweisen, über das die PIN-Eingabe durchgeführt wird. In diesem Feld sind z.B. vier Anzeigefelder (11) ausgebildet, die jeweils benachbart Pfeiltasten (10) aufweisen. Die Anzeigefelder stehen mit einem Zufallsgenerator in Verbindung, der bei jedem neuen Bedienvorgang neue Zufallszahlen für die Felder erzeugt. Der Benutzer muss diese Zufallszahlen durch Betätigen der Pfeiltasten auf die gewünschte PIN einstellen und durch die Betätigung einer Bestätigungstaste (15) den Eingabevorgang beenden. Anschließend kann der Geldautomat wie gewohnt benutzt werden.



Figur 4: Geldautomat mit Bildschirm (2) und Bedieneinheit (1) mit Autorisierungsfeld (9) aus DE 198 34 699 B4.

Diese Form der Tastatur in Verbindung mit einer Sichtschutzvorrichtung würde nahezu einen hundertprozentigen Schutz gegen das Ausspähen der PIN gewährleisten.

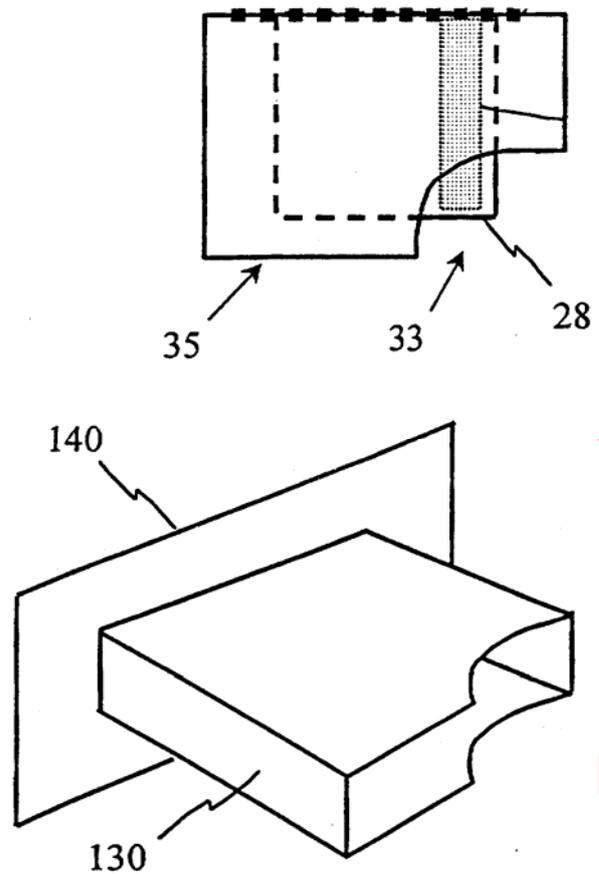
Da das Ausspähen der PIN sehr häufig mit Videokameras geschieht, die in vorgebauten Leisten versteckt sind, ist eine weitere Schutzmaßnahme das Erkennen von Manipulationen am Geldautomaten.

3.3. Erkennungsmöglichkeiten für Manipulationen

Die häufigsten Manipulationen sind das Anbringen von Vorbauten am Kartenleser, von gefälschten Tastaturen und von versteckten Kameras. Da die Vorbauten täuschend echt und passgenau gearbeitet sind, werden sie nicht als solche erkannt. Deswegen wurden verschiedenste Erkennungsmöglichkeiten als Gegenmaßnahmen entwickelt.

Bereits 1999 hat NCR (ein Geldautomatenhersteller) eine Art Mundstück für einen Kartenleser entwickelt, so dass weitere manipulative Aufbauten oder Blockierungen von jedem Benutzer offensichtlich als solche erkannt werden und keine weiteren Gegenmaßnahmen notwendig sind, vgl. GB 2 351 587 A. Das Mundstück ist so konstruiert, dass nicht die ganze Karte eingezogen wird, sondern ein

Teil der Kartenbreite freigelassen wird. Die Karte ist daher für den Benutzer sichtbar und greifbar. Die Greifbarkeit ist notwendig, da die Karte nicht automatisch heraus transportiert wird, sondern vom Benutzer selbst aus dem Leser zu entfernen ist. Sollte die Karte durch eine mögliche Blockierung des Lesers vom Benutzer nicht entfernt werden können, oder sollte die Karte nicht mehr sichtbar sein, so bemerkt er sofort die Manipulation und kann die entsprechenden Personen verständigen. Die folgende Figur 5 zeigt das Mundstück in einer Draufsicht und einer schrägen Ansicht.



Figur 5: Mundstück eines Kartenlesers gemäß GB 2 351 587 A.

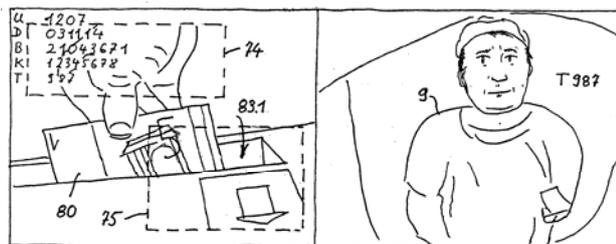
Bei anders konstruierten Kartenlesern, bei gefälschten Tastaturen und bei versteckten Kameras sind jedoch zum Schutz vor Manipulationen Gegenmaßnahmen notwendig.

Eine Gegenmaßnahme ist z.B. die Videoüberwachung des Automaten und der Umgebung. Zu dieser Maßnahme werden beispielhaft die nächsten drei Druckschriften genannt und deren Prinzip erläutert.

In der CH 695 003 A5 wird die Bedienoberfläche (Tastatur)

des Geldautomaten z.B. nach der Benutzung durch eine Person mit einer Videokamera aufgenommen und dieses aktuelle Bild in digitaler Form mit einem digitalen Referenzbild verglichen, das vor der Anwesenheit der jeweiligen Person aufgenommen wurde. So wird verhindert, dass die PIN unberechtigter Weise mit aufgenommen wird. Sollten anhand des Referenzbildes Unterschiede festgestellt werden, wird ein Alarm ausgelöst und der überwachte Geldautomat für die Kunden gesperrt. Die Anwesenheit einer Person wird z.B. über Lichtschranken oder Bewegungsmelder festgestellt. Ähnliche Verfahrensabläufe und Aufbauten sind auch den Druckschriften DE 199 03 593 A1 und GB 2 351 585 A zu entnehmen. So ist gemäß der englischen Druckschrift die Digitalkamera hinter einem Fenster mit Blick auf die Tastatur in das Gehäuse des Geldautomaten eingebaut. Neben sichtbarem Licht kann auch mit IR- oder UV-Bildern gearbeitet werden, da bei sichtbarem Licht die Lichtverhältnisse immer Probleme beim Vergleichen aufwerfen. Deswegen gibt es mehrere Referenzbilder, die bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen aufgenommen wurden, um einen Fehlalarm zu vermeiden.

Die Videoüberwachung kann nicht nur zur Erkennung von Manipulationen dienen, sondern auch, wie aus [2] und der Druckschrift DE 203 18 489 U1 zu entnehmen, zum Aufzeichnen der Kunden und damit auch der Betrüger beim unerlaubten Geldabholen, vgl. Figur 6.



Figur 6: Überwachungsbild einer Videoüberwachung gemäß DE 203 18 489 U1.

Dazu wurden zwei Bildaufnahmeteile vollständig in einem Geldautomaten integriert, so dass zum einen das Porträt des Bedieners und zum anderen das Ereignis („Hand am Geld“) aufgezeichnet werden. Diese beiden Aufnahmen werden zu einem Kombinations-Überwachungsbild (siehe Figur 6) zusammengefügt, wobei auch die Transaktionsdaten, wie Uhrzeit, Datum, Bankleitzahl und Kontonummer, zeit- und ereignisgerecht eingefügt werden.

Damit entsteht eine gerichtlich verwertbare Direktaufzeichnung des betrügerischen Benutzers. Die Kameradaten werden direkt in die Zentrale der Bank übertragen, so dass kein Bankmitarbeiter mehr die Videobänder beim Geldautomaten abholen muss.

Eine weitere Gegenmaßnahme zum Erkennen von Manipulationen ist die Integration von Antennen zum Empfang von Funksignalen in die Geldautomaten. So kann das Anbringen von versteckten Kameras und falschen Kartenlesern, die die erspähten Daten gleich zu einem Empfänger in der Nähe funken, entdeckt werden. Aus der Druckschrift GB 2 414 104 A ist bekannt, Antennen einzusetzen, die Funksignale im Bereich von 50 MHz – 6 GHz empfangen können. Ein Signalprozessor erkennt, ob die empfangenen Signale Videosignale sind und aus der Nähe des Geldautomaten gesendet werden. Falls dies zutrifft, wird der Geldautomat stillgelegt und die Auszahlung gestoppt. Die Druckschrift WO 2005/001598 A2 verwendet ebenfalls aufgefangene HF-Signale, um falsche Kartenleser aufzuspüren. Nach der Entdeckung erfolgt eine ähnliche Vorgehensweise, wie bereits beschrieben.

Seit vier bis fünf Jahren gibt es zu der Gegenmaßnahme, Vorbauten mittels Sensoren zu erkennen, eine rege Entwicklertätigkeit. Dabei wird die Vielfältigkeit der Sensortypen ausgenutzt. Die folgenden Druckschriften geben einen Überblick, welche Sensoren wie eingesetzt werden können.

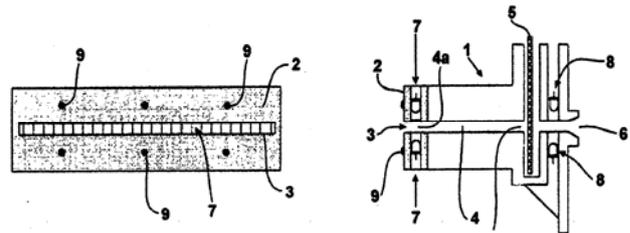
In der DE 10 2004 035 224 A1 wird ein Geldautomat beschrieben, der eine Vorrichtung zur Überwachung des Gewichts und/oder der Position einer Tastatur beinhaltet, um so Vorbauten zu erkennen. Die Tastatur ist dazu mittels geeigneter Lagerelemente (z.B. Federelemente) in das Gehäuse des Automaten eingebaut. Ein Sensor (z.B. kapazitiver Wegesensor) detektiert eine mögliche Verschiebung oder die Gewichtserhöhung, wenn eine zusätzliche, falsche Tastatur auf die bestehende aufgebracht wird. Damit die Manipulationserkennung nicht durch ein Blockieren der jeweiligen manipulierten Tastatur verhindert wird, ist zusätzlich eine Prüfvorrichtung vorgesehen, die feststellt, ob eine Blockierung vorliegt. Nach dem Vergleichen der Istwerte mit vorgegebenen Sollwerten findet bei der Feststellung einer Abweichung

entweder eine Alarmierung statt, oder der Geldautomat wird stillgelegt. Diese Vorgehensweise nach dem Feststellen einer Abweichung findet sich auch in allen folgenden Druckschriften.

Das Prinzip, ein zusätzliches Gewicht zu erkennen, wird auch in der WO 2005/001598 A2 verwendet. Dabei wird zum Erkennen eines Vorbaus vor einem Kartenleser in diesem Bereich eine Schwingung mittels eines Oszillators beaufschlagt. Ein Sensor ermittelt die daraus resultierende Bewegung des Gehäusebereichs um den Kartenleser. Durch einen unerlaubten Vorbau wird die Masse und somit auch die resultierende Schwingung verändert, so dass über die gemessenen Parameter, Amplitude und/oder Frequenz, die Manipulation erkannt wird.

Aus dieser Druckschrift geht auch hervor, Abdeckungen von Tastaturen mittels eingebauter Strahlungssensoren zu erkennen, wobei z.B. sichtbares Licht ausgenutzt wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, IR-Strahlung zu verwenden, wie es z.B. aus der DE 196 05 102 A1 hervorgeht. Dort erfassen Referenz- und Arbeitssensoren die Position eines Kartenlesers oder einer Tastatur. Die Sensoren sind unauffällig, d.h. für das Auge unsichtbar, in der Oberfläche der Geräte hinter dunklen Kunststoffen angebracht und werden mit einer intermittierenden IR-Strahlung beaufschlagt. Auch die Anordnung, die der Druckschrift EP 1 677 267 A1 zu entnehmen ist, verwendet IR-Strahlen. Alternativ können aber auch UV-Strahlen oder sichtbares Licht verwendet werden. In dieser Druckschrift wird eine Art optoelektronische Schranke in dem Kartenleser beschrieben. Dadurch ist es möglich, das Anbringen fremder Gegenstände innerhalb des Kartenlesers, die das Ausstoßen der Karte verhindern würden, zu erkennen. Dazu wird ausgenutzt, dass durch das Einbringen fremder Gegenstände, die Menge oder die Intensität der empfangenen Lichtstrahlen verändert wird. Zusätzlich weist die Front des Kartenlesers noch Sensoren auf, die Vorbauten erkennen können, da dadurch z.B. keine Lichtstrahlen mehr detektiert werden können. Die folgende Figur 7 zeigt links eine Frontansicht und rechts einen seitlichen Querschnitt des entwickelten Kartenlesers, wobei mit 4 der Einzugsschacht, mit 7 die optoelektronische Schranke, mit 9 die Frontsensoren und mit 5 eine Barriere bezeichnet sind. Die Barriere ist im

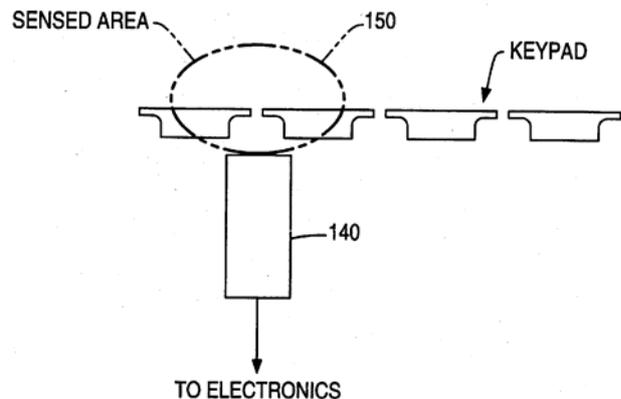
Normalfall geöffnet, wird aber bei der Detektion eines falschen Vorbaus geschlossen, so dass der Geldautomat für eine weitere Benutzung nicht mehr zur Verfügung steht.



Figur 7: Front- und Seitensicht eines Kartenlesers (aus EP 1 677 267 A1) mit optoelektronischer Schranke.

Lichtelektrische Sensoren an der Oberfläche der Geräte als eine Art Lichtschranke zu verwenden, die bei Abdeckung der Tastatur oder des Kartenlesers Alarm auslösen, lehrt auch die Schrift EP 1 615 184 A1.

Neben Strahlungssensoren werden auch so genannte Näherungssensoren eingesetzt, die auf kapazitiver oder induktiver Basis arbeiten. Diese Sensoren sind in der Lage, metallische oder nichtmetallische Objekte zu erkennen, wie es z.B. den Druckschriften WO 2005/109358 A1 oder US 6 390 367 B1, siehe dazu Figur 8, zu entnehmen ist. Die Sensoren (140) werden z.B. so unter den Tasten platziert, dass sie zwischen den Tasten hindurch die Objekte erkennen.



Figur 8: Anordnung des Sensors unter der Tastatur gemäß US 6 390 367 B1.

Damit durch die eigentliche Benutzung, bei der ebenfalls eine teilweise Abdeckung der Tastatur erfolgt, kein Fehlalarm erzeugt wird, erfolgt die Beobachtung über einen bestimmten Zeitraum hinweg.

Zusätzlich zu den Sensoren wird in der Druckschrift EP 1 533 765 A2 die Möglichkeit beschrieben, eine

Manipulation auch optisch für den Benutzer anzuzeigen. Dazu ist das Gehäuse des Kartenlesers transparent gehalten, so dass Sicherheitskennzeichen, wie z.B. Hologramme, Wasserkennzeichen oder Beschriftungen, zu sehen sind. Diese Sicherheitskennzeichen sind mit einem Sensor gekoppelt, der einen Vorbau vor dem Kartenleser detektieren kann. Nach dem Erkennen eines Vorbaus wechseln die Zeichen z.B. die Farbe oder sind für den Benutzer gar nicht mehr sichtbar. Für Benutzer, die diese Art von Geldautomat kennen, ist somit die Manipulation sofort ersichtlich.

Es gibt also eine Vielzahl von Gegenmaßnahmen, um Manipulationen rechtzeitig zu erkennen. Ein anderer Weg Manipulationen ins Leere laufen zu lassen, ist die Maßnahme, das Eintippen der PIN durch Alternativen zu ersetzen. Damit ist ein Auspähen der PIN nicht mehr möglich.

3.4. Alternativen zur PIN Eingabe

Als Alternativen zum Eintippen der PIN ist zum einen die Authentifizierung über die biometrischen Daten möglich, als auch die Übertragung der PIN von einem mobilen Gerät aus.

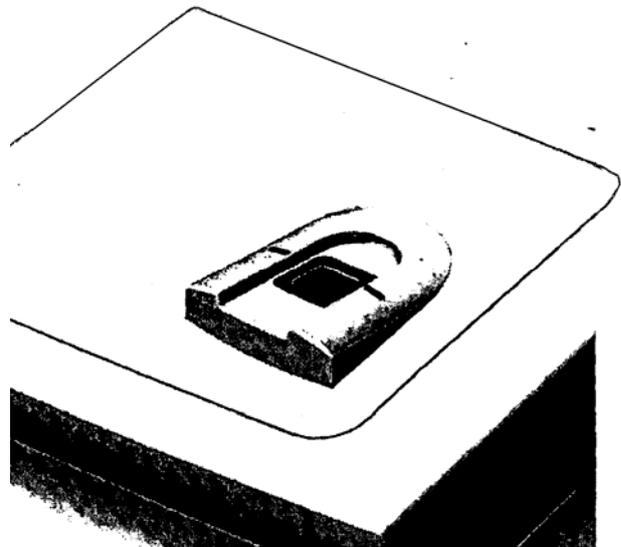
Die gebräuchlichsten physiologischen Verfahren zum Ermitteln der biometrischen Daten sind:

- Fingerbildererkennung,
- Handerkennung,
- Gesichtserkennung,
- Iriserkennung und
- Retinaerkennung (Muster der Blutgefäße im Augenhintergrund).

Die Fingerbildererkennung ist das biometrische Verfahren, das technisch am weitesten fortgeschritten ist und bereits Anwendungsreife erlangt hat. Der Erkennungsvorgang erfolgt innerhalb von weniger als zwei Sekunden. Auch die Iriserkennung zählt schon zu den zuverlässigen und praxiserprobten biometrischen Methoden, wobei nur die Struktur des Irisbildes und nicht die Farbe verwendet wird. Bei beiden Verfahren gibt es aber immer auch einige „Problembenutzer“, ca. 5 % der Benutzer, die offensichtlich grundsätzlich nicht erkennbar sind. Eventuell kann dieses Problem durch das Erfassen mehrerer biometrischer

Daten einer Person gelöst werden [3].

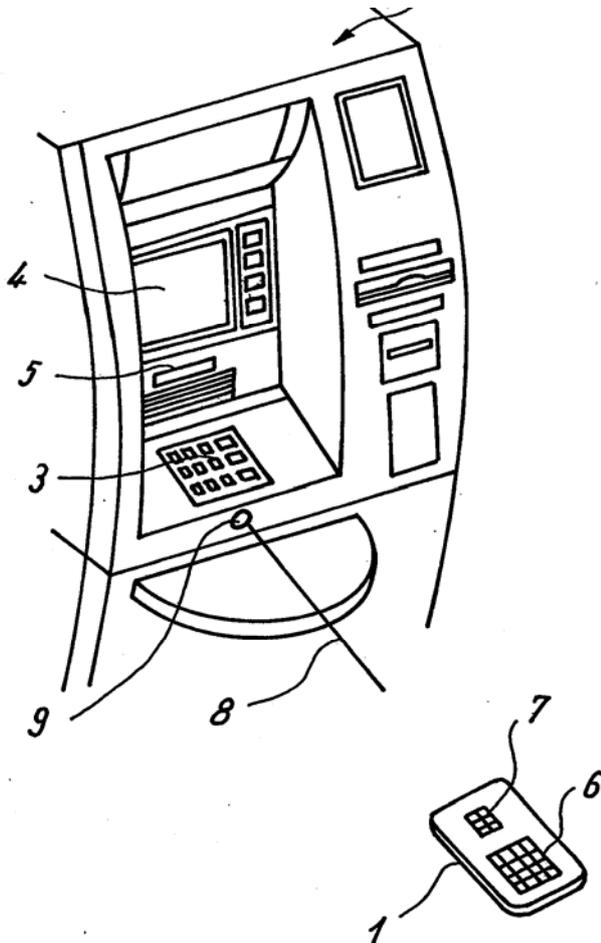
Geldautomaten, die biometrische Verfahren verwenden, sind z.B. aus den Druckschriften EP 1 542 182 A2 oder EP 1 533 765 A2 bekannt. Die folgende Figur 9 aus EP 1 542 182 A2 zeigt einen Geldautomaten mit Fingerabdrucksensor, über den der Fingerabdruck ausgelesen wird und die Weiterleitung über eine Schnittstelle verschlüsselt erfolgt. Dabei ist der Sensor in der Lage, zwischen lebenden Personen und gefälschten biometrischen Daten zu unterscheiden.



Figur 9: Geldautomat mit Fingerabdrucksensor aus EP 1 542 182 A2.

Lösungen für die andere Möglichkeit, das Eintippen der PIN zu umgehen, indem die Übertragung durch ein mobiles Gerät des Benutzers erfolgt, sind z.B. aus der Druckschrift WO 2006/029596 A1 oder EP 0 933 733 A2 zu entnehmen. Da beide eine sehr ähnliche Vorrichtung beschreiben, findet die Erläuterung nur an Hand der WO 2006/029596 A1 statt, vgl. dazu Figur 10. Als Vorrichtung zur verschlüsselten PIN-Übergabe wird jeweils eine Smart-Card benutzt. Eine Smart-Card ist eine Mikroprozessorkarte mit Chip, welcher einen Mikrocontroller mit CPU, flüchtigem und nicht flüchtigem Speicher aufweist. Weiterhin kann die Smart-Card einen numerischen Coprozessor und eine Tastatur aufweisen, wie es für diese Anwendung notwendig ist. Über die Eingabetastatur (6) wird die PIN eingegeben und kann über eine Anzeige (7) angezeigt werden. Bevorzugt wird die PIN an einem für den Benutzer sicheren Ort unabhängig vom Geldautomat eingegeben. Am

Geldautomaten selbst wird, wie ebenfalls der Figur 10 zu entnehmen ist, die in der Smart-Card (1) gespeicherte PIN über eine Übertragungsstrecke (8) in eine Empfangseinrichtung (9) des Geldautomaten übertragen, z.B. über IR oder Blue-Tooth. Als zusätzliche Sicherheit kann die PIN-Übertragung mit der Smart-Card nur innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls ermöglicht werden.



Figur 10: Geldautomat und Smart-Card zu Pin Übertragung aus WO 2006/029596 A1.

Natürlich kann anstatt einer Smart-Card mit Tastatur eine abgeänderte Karte im Zusammenhang mit einem Funktelefon benutzt werden. Auch Karten mit einem Sensor zur Abtastung des Fingerabdrucks sind möglich.

4. Fazit

Es bestehen bereits vielfältige Möglichkeiten, um Manipulationen an einem Geldautomaten festzustellen. So könnten Tastaturen von Geldautomaten mit den Sichtschutzvorrichtungen aus 3.1 ohne konstruktive Änderungen nachgerüstet werden.

Gerade bei der Manipulationserkennung, siehe 3.3, oder den Alternativen zur PIN Eingabe, siehe 3.4, gibt es viele Ideen von den großen Geldautomatenherstellern. Jedoch werden die neuen oder nachgerüsteten Geldautomaten von den Banken nur eingesetzt werden, wenn sich eventuelle Mehrkosten durch eine größere Überwindungssicherheit bezahlt machen. Solange für die Banken gelegentliche Ersatzleistungen billiger sind, wird wohl kein Geld für die Umrüstung der Automaten oder den Austausch ausgegeben.

Auch in Zukunft wird es Entwicklungsbedarf geben, da die Entwickler von Manipulationsschutzeinrichtungen für Geldautomaten meist nur auf die Phantasie der Betrüger reagieren können, so dass auch eine neue Generation von Geldautomaten nur Schutz gegen bereits bekannte Manipulationsversuche bieten kann.

Literatur

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Geldautomat>.
- [2] <http://www.ffpress.net/Kunde/MOX/ATL/33613/>.
- [3] KROLL, J. Angeborene Passwörter. - In: Elektronik, 2001, Heft 17, S. 46 – 52.

Das Klapprad erlebt eine Renaissance - seine Geschichte und seine aktuelle Entwicklung

Dr. Nicolai Geier, Abt. 1.21

Ein heute nicht selten anzutreffendes Ereignis: Der moderne Jungmanager im Designeranzug steigt aus dem ICE, faltet sein mitgeführtes handtaschengroßes Klapprad auf und radelt zu seinem Geschäftstermin. War das Klapprad, von seinem kurzen Boom in den 1960er und 1970er Jahren einmal abgesehen, bis vor kurzem eher ein von der Öffentlichkeit oft amüsiert belächeltes und im Straßenverkehr kaum anzutreffendes Nischenprodukt, so erlebt es seit einigen Jahren jedoch seine Renaissance. Ein Anlass, die Geschichte des Klapprads und seine aktuelle Entwicklung einmal genauer zu betrachten.

1. Die Geschichte des Klapprades

Das Klapprad ist ein Fahrrad mit meist relativ kleinen Rädern, das über konstruktive Vorrichtungen wie Scharniere, Kupplungen und/oder Schnellspanner verfügt. Dadurch kann das Klapprad schnell und einfach auf ein so geringes Packmaß zusammengefaltet oder zerlegt werden, dass es als Gepäckstück in einem anderen Verkehrsmittel, wie zum Beispiel im Kofferraum eines Kraftfahrzeugs oder in der Gepäckablage eines Eisenbahnzuges, mitgenommen werden kann.

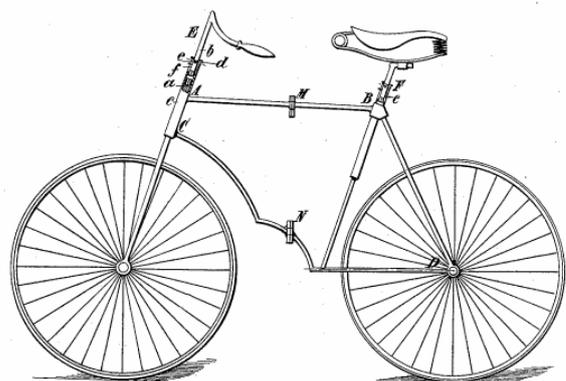
Seit den 1980er Jahren hat sich dabei anstelle des Begriffs „Klapprad“ zunehmend der Begriff „Faltrad“ durchgesetzt. Heute dokumentiert dies vor allem den Versuch der Hersteller, sich mit höherwertigen „Falträder“ genannten Produkten von den meist klapprigen „Klapprädern“ der 1960er und 1970er Jahre zu distanzieren. Die Modelle der damaligen Zeit, in der das Klapprad seinen ersten großen Boom erlebte, waren oft sehr unhandlich, schwer und meist auch schlecht zu fahren.

Unter den modernen Klapprädern gibt es, neben den in der jungen Generation schon fast zum Lifestyleprodukt erhobenen Kleinstklapprädern, dagegen durchaus Modelle, die sich in ihren Fahreigenschaften mit Touren- und Sporträdern vergleichen lassen.

Die Geschichte des Klapprades beginnt dabei bereits viel früher als in den 1960er Jahren. Der Brite William Gout entwickelte das erste Falt- bzw. Zerlegerad bereits im Jahre 1878. Dies war ein Hochrad mit Vollgummireifen, dessen großes Vorderrad sich in vier radiale Segmente

zerlegen ließ. Diese fanden zusammen mit dem gefalteten Rahmen des Hochrades und dem kleinen Hinterrad Platz in einem handlichen dreieckigen Koffer. Der Fahrkomfort dieses zerlegbaren Hochrades soll aber aufgrund des geteilten Vollgummireifens selbst für damalige Zeiten wenig beeindruckend gewesen sein.

15 Jahre später wurden die ersten Fahrräder mit einem zerlegbaren Diamantrahmen vorgestellt. Der Diamantrahmen ist auch heute noch der gebräuchlichste Rahmen für Fahrräder. Er besteht aus einem Dreieck, gebildet durch Sitzstrebe, Kettenstrebe und Sitzrohr, sowie einem Trapez, das durch das Oberrohr, das Unterrohr, das Sitzrohr und das Steuerrohr gebildet wird.



Figur 1: Klappbares Fahrrad mit einem Diamantrahmen, patentiert im Jahr 1893 aus DE 75 521 C.

Ein Klapprad mit einem Diamantrahmen aus dieser Zeit zeigt die Patentschrift DE 75 521 C aus dem Jahr 1893. Dabei ist, wie in der Figur 1 abgebildet, im Oberrohr und im Unterrohr dieses Klapprades jeweils ein Scharnier (M, N) so angebracht, dass das Klapprad an diesen beiden

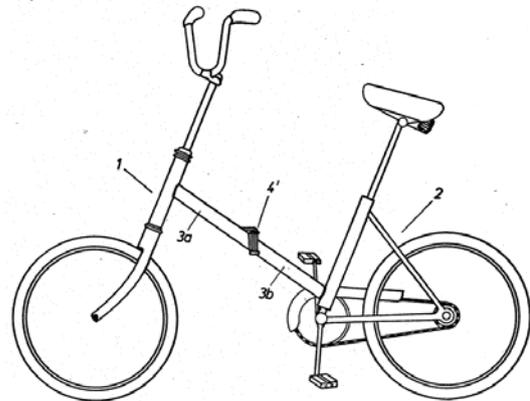
Scharnieren (M, N) zusammengelegt werden kann. An der Lenkstange (E) und an der Sattelstange (F) befinden sich ebenfalls Scharnieren, die ein Umlegen der betreffenden Stangen gegen den Rahmen erlauben.

Der erste größere Entwicklungsschub in der Geschichte des Klapprads ist aber dem Militär zu verdanken, wie bei so vielen anderen technischen Entwicklungen auch. Schon in der Frühzeit des Fahrrades hatten sich die Militärs für seine Verwendung im Krieg interessiert. 1888 gab es in England bereits das erste Radfahrer-Corps. Für Kurierfahrten und für den Transport auf der Straße zeigte sich dabei das klassische nicht klappbare Fahrrad als sehr gut geeignet. Hingegen war es aber im unwegsamen Gelände weniger zu gebrauchen. Deshalb wurden Fahrräder entwickelt, die sich zusammenfallen und auf dem Rücken tragen ließen, eben Klappräder. Im II. Weltkrieg fanden die Klappräder dann für Fallschirmspringer, die hinter den feindlichen Linien absprangen, große Verwendung. Auch bei den Landungsunternehmen der Alliierten wurden sie massenhaft eingesetzt.

In den Nachkriegsjahren verschwand das Klapprad nicht nur von den Straßen, auch der Fokus der Erfinder wendete sich anderen Entwicklungen zu, so dass aus dieser Zeit keine wesentlichen Erfindungen bekannt sind. Erst in den frühen 1960er Jahren, als das Kraftfahrzeug zum Massenverkehrsmittel geworden war und die eigentliche Idee des Klapprads als Gepäckstück wieder aufgegriffen wurde, zeigen sich wieder größere Innovationen.

Im Zusammenhang mit der aufkommenden Ölkrise der 1970er Jahre verstärkte sich der Klapprad-Boom. Der Gedanke dabei war nicht schlecht. Man fuhr mit dem Auto in Grüne, packte das Rad aus und strampelte los. Durch die kleinen Räder und den instabilen Rahmen hatten die meisten Klappräder der 1960er und 1970er Jahre jedoch zumeist ein recht dubioses Fahrverhalten. Aus Sparsamkeitsgründen wurde oft auf eine Schaltung verzichtet und meist dieselben Kettenblätter wie bei einem normalen Fahrrad verwendet. Daher musste man rasend schnell treten um mit den kleinen Rädern eine einigermaßen vernünftige Fahrgeschwindigkeit zu erreichen. Äußerst nachteilig war dabei auch das große Gewicht dieser Klappräder, das durch einen zumeist sehr

massiven Stahlrahmen verursacht wurde. Auf Grund dieser zahlreichen Nachteile verschwanden diese Klappräder so auch bald wieder von den Straßen und den Wegen.



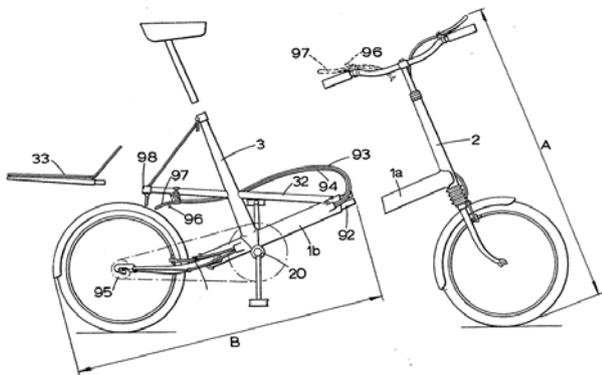
Figur 2: Typisches Klapprad der 1960er- und 1970er Jahre aus DE 19 51 737 U.

Die Figur 2 zeigt ein typisches Klapprad aus dieser Zeit. Das Klapprad besteht aus einem Vorderteil (1) und einem Hinterteil (2), die beide durch ein Zentralrohr (3a, 3b) miteinander verbunden sind. Das Zentralrohr ist dabei durch einen vertikal ausgerichteten Gehrungsabschnitt in zwei Hälften (3a, 3b) geteilt, an dessen Gehrungsschnittflächen jeweils ein plattenförmiges Scharnierband eines Klappscharniers (4') sitzt.

Parallel zu diesen einfacheren Klapprädern des Massenmarkts wurden in den 1960er und 1970er Jahren vor allem in Großbritannien jedoch auch eine Reihe von Konzepten entwickelt und eine Vielzahl von Erfindungen veröffentlicht, die zum Teil noch heute bei den aktuell auf dem Markt erhältlichen Klappradmodellen vorzufinden sind.

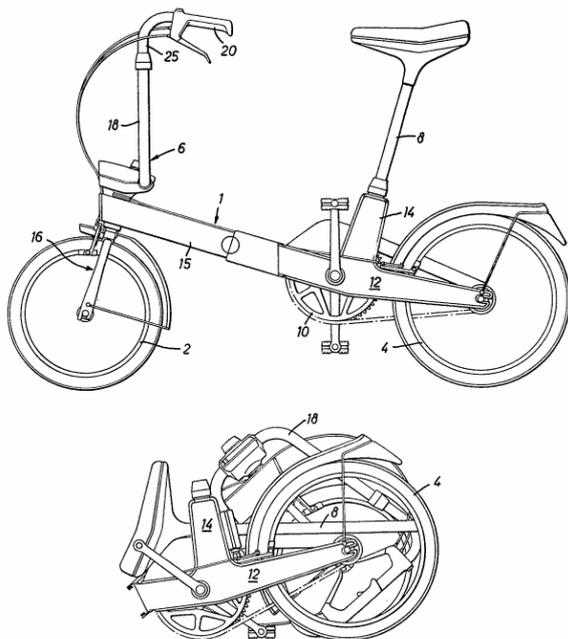
So zeigt das Gebrauchsmuster DE 18 90 526 U (Figur 3) ein in mehrere Einzelteile zerlegbares Klapprad mit einer gefederten Teleskopfedergabel, einer gefederten Hinterradschwinge und einem in Figur 3 nicht genauer dargestellten mehrfachen Schaltgetriebe. Der Hauptträger des Klapprades besteht aus zwei trennbaren Teilen (1a, 1b). Der hintere Teil (1b) weist dabei eine geschlitzte Hülse auf, welche zwei Hülshälften (92) bildet, die nach vorne überstehen. Diese beiden Hülshälften lassen sich in das hintere offene Ende des vorderen Teils (1a) einführen. Soll das Fahrrad weiter verkleinert werden, so

kann zusätzlich der Sattel, sowie der ebenfalls eingesteckte Gepäckträger (33) abmontiert, die Lenkstange um 90° gegenüber der Normallage geschwenkt, und das Vorderrad entfernt werden.



Figur 3: Ein in mehrere Einzelteile zerlegbares Klapprad aus DE 18 90 526 U.

Mit einem weiteren interessanten Klapprad der 1970er befasst sich das britische Patent GB 1 460 565 A. Aus diesem Patent geht ein Klapprad hervor, das noch heute durch sein sehr kleines Faltnmaß und sein - bedingt durch den konsequenten Einsatz von Aluminium - äußerst niedriges Gewicht besticht. Das aus dieser Patentschrift hervorgegangene Serienmodell wog nur um die 9 kg [1].



Figur 4: Ein an mehreren Gelenken zusammenklappbares Klapprad im ungeklappten sowie im geklappten Zustand aus GB 1 460 565 A.

Die Figur 4 zeigt das Klapprad der Patentschrift GB 1 460 565 A im aus- wie auch im eingeklappten

Zustand. Sowohl der um ein Scharnier faltbare Hauptträger (1) als auch große Teile der Lenkstangenbefestigung sind dabei aus Aluminium gefertigt.

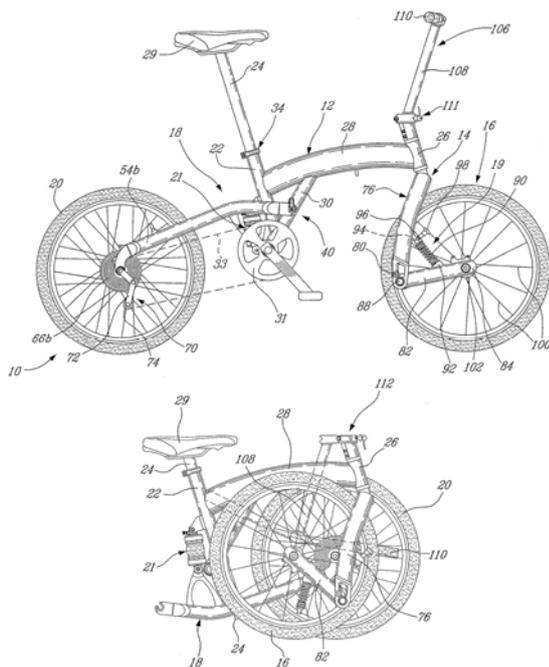
Nachdem es in den 1980er und frühen 1990er Jahren etwas ruhiger um das Klapprad wurde, erlebt das Klapprad in der jüngsten Zeit wieder eine Renaissance. Bedingt wird diese zum einen durch den allgemeinen Trend zum Fahrrad als sportliches Verkehrsmittel, zum anderen aber auch durch den großen Erfolg von artverwandten handlich verstaubaren Sport- und Fortbewegungsgeräten, wie Roller, Scooter oder Inlineskates.

2. Aktuelle Entwicklung

Aktuell gibt es kaum einen Fahrradbereich, für den keine neuen Entwicklungen und Erfindungen bezüglich der Klapptechnik vorzufinden sind. So finden sich Entwicklungen und Erfindungen für Klappräder im Bereich der Mountainbikes, der Rennräder, der Tourenräder, der Kinderräder oder für die bereits genannten handlichen Kleinstklappräder, die sich zusammengefaltet in eine mittlere Tragetasche packen und so fast überall hin mitnehmen lassen. Die Ansprüche, die dabei an das jeweilige Klapprad zu stellen sind, sind dabei entsprechend seiner Anwendung sehr unterschiedlich. Es gilt jedoch prinzipiell bei der Entwicklung eines Klapprades den Konflikt zu lösen, dass das Klapprad möglichst klein zusammenfaltbar sein soll, im fahrbereiten Zustand jedoch komfortabel, stabil und von seinen Fahreigenschaften möglichst so gut wie nicht von einem normalen Fahrrad zu unterscheiden sein soll. Lassen sich hierbei viele Aufgabenstellungen durch den Einsatz moderner Materialien und neuester Erfindungen lösen, stellt der klassische Kettenantrieb ein großes Problem des Fahrrads dar. Die Spannung der Antriebskette muss auch im zusammengeklappten Zustand erhalten bleiben, damit die Kette nicht von den Antriebsritzeln bzw. -rädern abspringt. Deswegen darf das Faltrad einerseits im Bereich der Kette keine Klappstellen aufweisen und muss andererseits im zusammengeklappten Zustand die Kette vor äußeren Einflüssen so weit wie möglich schützen.

2.1. Kleinstklappräder

Die heute im Straßenverkehr häufig anzutreffenden Kleinstklappräder stellen zurzeit den größten Prozentsatz unter den Klapprädern dar. Sie lassen sich prinzipiell in drei Gruppen aufteilen. Dies sind erstens Kleinstklappräder, die sich ähnlich wie bereits die Klappräder der Figuren 3 und 4 um mehrere Gelenke bzw. Scharniere zusammenklappen lassen, zweitens Klappräder, die sich ähnlich einer Ziehharmonika zusammenfalten und drittens Klappräder, die in mehrere Einzelteile zerlegbar sind.

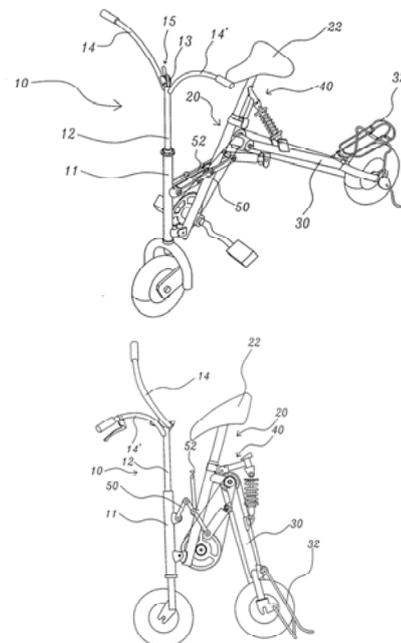


Figur 5: Ein an mehreren Gelenken zusammenklappbares Klapprad im ungeklappten sowie im geklappten Zustand aus WO 2004/024546 A1.

Die Figur 5 zeigt ein um mehrere Gelenke zusammenklappbares Klapprad der aktuellen Patentanmeldung WO 2004/024546 A1. Dieses Fahrrad ist für einen komfortablen und sportlichen Fahrbetrieb mit einer über ein luftgefülltes Gummielement (21) gefederten Hinterradschwinge (54), einer gefederten Vorderradgabel (19, 82) und einer Mehrfach-Kettenschaltung ausgerüstet. Das Zusammenklappen dieses Fahrrades wird dabei in folgenden Schritten durchgeführt: Zunächst wird die Befestigung (40) der Hinterradschwinge (54) am Zentralrahmen (12) gelöst und die Hinterradschwinge (22) über ein am unteren Ende des Gummidämpfers (21) angebrachtes Gelenk nach unten vorne verschwenkt. Danach wird der Sattel (29) mit der Sattelstange (24) in das Sattelrohr (22) eingeschoben. Nun wird das

Feder/Dämpferelement der Vorderradgabel (bei 96) gelöst und die Vorderradgabel (82) mit dem Vorderrad nach hinten unten über das Gelenk (88) eingeklappt. Abschließend wird noch die Lenkstange (108) über das Gelenk (111) umgelegt. Das Auseinanderklappen dieses Fahrrades erfolgt in entsprechend umgekehrter Reihenfolge. Als Zeitbedarf ist dabei für das Zusammen- bzw. Auseinanderklappen jeweils eine Zeit von etwa 40 Sekunden veranschlagt.

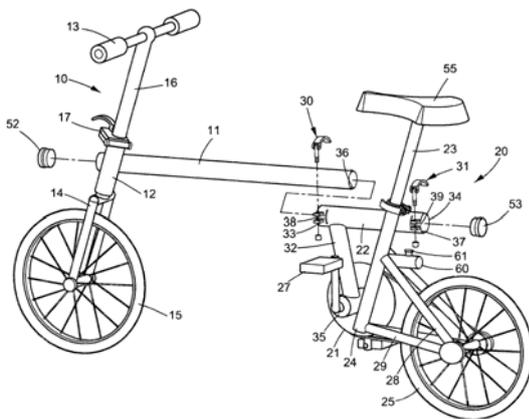
Ein ähnlich einer Ziehharmonika faltbares Klapprad zeigt die Figur 6 [DE 203 13 276 U1]. Dieses Klapprad besteht aus drei Rahmenelementen (10, 20, 30) die über mehrere Gelenke mit einer horizontalen Drehachse, zusammenfalt- bzw. zusammenschiebbar sind. Der Vorteil dieses Klappprinzips gegenüber vorherigen Klappmechanismen ist, dass der Zusammenbau einfacher und in der Regel schneller durchzuführen ist. Dafür ist das Verhältnis zwischen der Größe im fahrbereiten Zustand und im gefalteten Zustand deutlich kleiner. Soll dieses Fahrrad zusammengeklappt werden, wird zunächst der Riegelarm (52), der das entfaltete Klapprad in seiner Position fixiert, geöffnet. Anschließend wird das Fahrrad durch anheben des Sitzes (22) ähnlich einer Ziehharmonika zusammengefaltet.



Figur 6: Ein ähnlich einer Ziehharmonika faltbares Klapprad im ungefalteten und gefalteten Zustand aus DE 203 13 276 U1.

Durch den besonderen Antriebsmechanismus, der durch zwei umlaufende Ketten und ein in einem Drehpunkt des Fahrrads gelagertes Umlenkgetriebe gebildet wird, ist dabei sichergestellt, dass beim Zusammenfallen die Kettenspannung der Ketten erhalten bleibt. Um einen guten Fahrkomfort zu gewährleisten, ist das Fahrrad ferner mit einem gefederten Hinterbau versehen.

Die Figur 7 zeigt ein Klapprad der dritten Gruppe. Dieses Klapprad lässt sich in mehrere Einzelteilen zerlegen. Der vordere Teil des Klapprades besteht aus einem Zentralrahmen (11) mit einem daran befestigten Steuerkopfrohr (12). Das Lenkstangenrohr (16) ist an einem Scharnier (17) einklappbar. Der hintere Teil des Fahrrades weist ein weiteres Rahmenrohr (22) auf, das auf dem Zentralrahmen (11) verschieblich geführt werden kann. So kann zum Transport das Fahrrad entweder platzsparend zusammen geschoben werden oder alternativ als zwei getrennte Einzelteile verstaut werden. Das Sattelrohr (23) ist abnehmbar und kann im Rohr (60) befestigt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass aufgrund der Verschiebbarkeit des hinteren Teils und der damit verbundenen variablen Gestaltung des Abstands zwischen Lenker und Sattel dieses Klapprad von Personen unterschiedlicher Größe benutzt werden kann.



Figur 7: Ein aus mehreren Einzelteilen bestehendes Klapprad aus DE 10 2004 025 884 A1.

2.2. Klappscharniere und Steckverschlüsse

Das zentrale und meist wichtigste Bauteil eines Klapprades ist das Klappscharnier bzw. der Steckverschluss an dem das Klapprad zusammengeklappt oder zerlegt werden kann. Somit ist es nicht verwunderlich, dass parallel zu der Entwicklung der Klappräder auch eine

Entwicklung der am Klapprad eingesetzten Klappscharniere und Steckverschlüsse einhergeht. Die Klappscharniere beziehungsweise die Steckverschlüsse sind dabei üblicherweise in den Rahmen der Klappräder integriert. Beim Fahren werden über sie alle auf den Rahmen wirkenden Kräfte übertragen, so dass sie extremen externen Belastungen ausgesetzt sind. Die Verriegelung dieser Scharniere bzw. Verschlüsse muss somit äußerst kompakt und mit ausreichender Festigkeit versehen sein. Andererseits soll sie aber auch einfach und möglichst schnell für den Fahrer zusammenzusetzen sein.

Kamen bei den Klapprädern der 1960er- und 1970er Jahre noch relativ einfache Varianten zum Einsatz, wie sie beispielsweise die beiden Gebrauchsmuster DE 70 13 198 U und DE 70 19 036 U zeigen, so konnten diese dem Rahmen oft nicht die gewünschte Stabilität geben. Heute genügen Scharniere bzw. Steckverschlüsse den geforderten Ansprüchen dagegen durchaus.

Zum Einsatz kommen dabei nach wie vor Klappscharniere mit zwei Grundplatten, die auf einer Seite mit einer Stange drehbar gelagert und auf der anderen Seite mit einer Verriegelungsvorrichtung versehen sind. Die Verriegelungsvorrichtung kann dabei zum Beispiel als ein Verriegelungsbolzen in Verbindung mit einem Schnellspanner [DE 202 01 596 U1], als ein auf die beiden Grundplatten geschobener Klemmkonus [DE 203 18 822 U1] oder als eine Innenverriegelung [DE 103 28 309 A1] ausgebildet sein. Die beiden Grundplatten müssen dabei nicht zwangsläufig als plane Ebenen ausgestaltet werden [DE 200 13 743 U1].

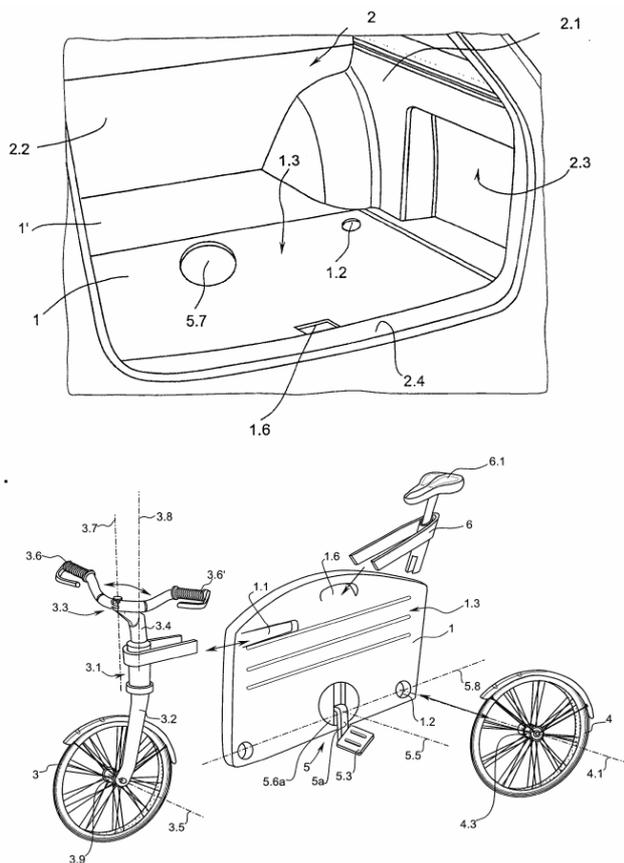
2.3. weitere Entwicklungen

Unter Klapprädern fallen heute nicht nur die bereits beschriebenen Kleinstklappräder. Es finden sich neue Entwicklungen und Erfindungen für klappbare Kinderräder [DE 20 2004 006 903 U1], Mountainbikes [DE 203 08 711 U1, WO 2004/041631 A1] und Rennräder [GB 2 289 874 A]. Der Schwerpunkt der Erfindungen liegt dabei neben der Art und Ausgestaltung der Gelenke bzw. Scharniere für den jeweiligen Anwendungsbereich in Konzepten, die Klappräder vorstellen, die im fahrbaren Zustand möglichst in Größe, Aussehen und Komfort dem nichtklappbaren Vorbild gleichen. Das heißt, dass beispielsweise ein

klappbares Mountainbike sowohl auf den ersten Blick, als auch in seinen Fahreigenschaften nicht von einem konventionellen Mountainbike zu unterscheiden ist.

In jüngster Zeit werden vermehrt Erfindungen angemeldet, bei denen das Klapprad speziell für den Transport in einem Kraftfahrzeug konzipiert wird. Dabei wird zum Teil das ganze Klapprad oder Komponenten davon baulich in das Kraftfahrzeug integriert.

Die europäische Patentanmeldung EP 1 193 170 A1 zeigt ein Klapprad, das so ausgebildet ist, dass es im zusammengeklappten bzw. zerlegten Zustand platzoptimiert auf ein spezielles Ablagefach passt, das wiederum so konstruiert ist, dass es in einem extra dafür vorgesehenen Bodenbereich im Kofferraum eines Kraftfahrzeugs untergebracht werden kann.



Figur 8: Zerlegerad, dessen Rahmen (1) gleichzeitig als Ladeboden eines Kfz-Kofferraums genutzt wird; aus DE 10 2004 045 376 A1.

Einen Schritt weiter geht die Erfindung, die in der Offenlegungsschrift DE 10 2004 045 376 A1 offenbart ist. Dort wird der Ladeboden (1) des Kofferraums so ausgebildet, dass er direkt als Rahmen eines Klapprades

Verwendung findet (Figur 8). Der Ladeboden (1) des Kraftfahrzeuges weist dabei eine Ausnehmung (5.7) zur Aufnahme der Antriebseinheit (5) auf, die aus Kettenrad, Kettenritzel und Kette besteht. Die Antriebseinheit ist dabei dauerhaft in dem Ladeboden integriert. Bei Bedarf kann der Ladeboden aus dem Kofferraum des Fahrzeugs entfernt werden und durch Aufstecken einer Tretkurbel und der Montage eines Vorderradelements (3), eines Sattелеlements (6) und eines Hinterrads (4) in ein Fahrrad verwandelt werden. Das Vorderrad- und das Sattелеlement (3, 6) werden hierbei mittels einer Steckvorrichtung am Laderaumboden befestigt. Das Hinterrad (4) wird in ein Lager (1.2) eingeführt und mit der Antriebseinheit in Wirkverbindung gebracht. Im zerlegten Zustand lassen sich die Anbaueile einfach in den diversen Ablagefächern des Kofferraums, wie zum Beispiel in der Reserveradmulde oder im Seitenfach 2.3, verstauen.

3. Ausblick

Knapp 130 Jahre nach seiner ersten Erfindung und 40 Jahre nach seinem ersten großen Boom erlebt das Klapprad heute seine Renaissance. Es ist in sämtlichen Bereichen vom Kinderfahrrad bis zum Rennrad anzutreffen und vor allem in der Umsetzung als Kleinstklapprad ein ideales Transportgerät für Pendler, Camper oder Freizeitsportler. Mag auch die Konkurrenz von Kickboard und Microscooter groß sein, so wird das Klapprad auch in Zukunft seinen Kundenkreis finden. Auf weitere interessante Entwicklungen und Erfindungen darf also gehofft werden.

Literatur

- [1] LEUFEN J.& MÖLLER E. Das Fahrrad. - Kiel, Moby Dick Verlag KG, 1986; ISBN 3-922843-27-1.

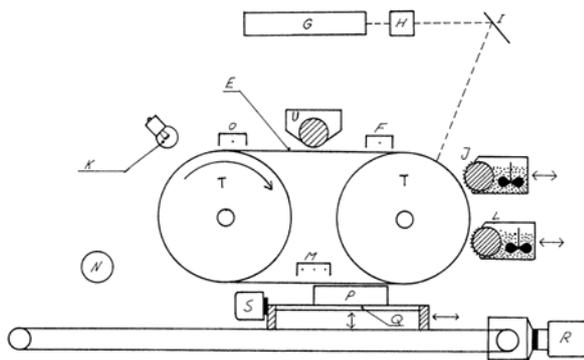
Dreidimensionale Formkörper beliebiger Form

Dr. Michael Hajduk, Abt. 1.24

Dieser Beitrag soll einerseits auf eine für den Formenbau in der Gießereikunde bedeutende technische Entwicklung hinweisen und andererseits am Beispiel ganz persönlicher Erlebnisse einen Eindruck von der interessanten Tätigkeit eines Prüfers im Deutschen Patent- und Markenamt vermitteln.

1. Eine neue Idee

„Dreidimensionale Formkörper beliebiger Form und Verfahren zur Herstellung derselben“ so lautete die Bezeichnung der Anmeldung, die ich auf den Tisch bekam. Dazu sollten pulverförmige Materialien auf einen Fotohalbleiter aufgebracht und schichtweise gesintert werden.



Figur 1: aus DE 41 22 326 C1.

Welchen Sinn und Zweck dies haben sollte und wie die als Skizze (Figur 1) dargestellte Vorrichtung funktionieren sollte begriff ich Anfang 1992 noch nicht; ich wunderte mich nur, welche eigenartigen Ideen Privatanmelder manchmal haben. Da als Formkörper u. a. auch Gussmodelle erwähnt wurden, war die Anmeldung in die Gruppe „Gießereimodelle“ der Internationalen Patentklassifikation (IPC) eingeordnet worden, was ich allerdings für eine Fehlansetzung hielt. Doch den zuständigen Prüfer, der solche Verfahren und Formkörper üblicherweise prüft, fand auch ich nicht. So lud ich schließlich Herrn Jethon, den Anmelder und gleichzeitigen Erfinder, zu einer Anhörung ein. „Mein Arbeitgeber konnte damit auch nichts anfangen und hat mir die Anmeldung freigegeben“, lachte er nur. „Was da skizziert ist, soll einen

Laserdrucker darstellen.“ Kein Wunder, dass ich als Gießereifachmann dies nicht erkannt hatte. „Bei alten Kopien konnte man manchmal die Buchstaben erspüren, weil die Kohlenstoffschicht so dick auf dem Papier aufgetragen war“, fuhr er weiter fort. „Nun stellen Sie sich vor, der Drucker macht auf demselben Blatt Papier nicht nur eine, sondern hunderte von Kopien immer auf der gleichen Stelle. So ein Buchstabe wird dann immer dicker und bekommt eine dreidimensionale Form.“ Den Sinn eines so langsamen und umständlichen Verfahrens verstand ich immer noch nicht, bis mir erklärt wurde, dass der Laserstrahl, der die feinen Kohlenstoffpartikel an der richtigen Stelle versintert von einem Rechner aufgrund von mathematischen Funktionen gelenkt wird, die mit einem CAD-Programm entwickelt worden sind. Der nur im Rechner vorhandene, anhand von Vorgaben entwickelte Entwurf in Form von mathematischen Funktionen konnte so als reales Modell in die Wirklichkeit umgesetzt werden, ohne dass ein Mensch eingreifen musste. Manche Schwächen eines am Computer entworfenen Teils, die über den Bildschirm nur schwer zu entdecken waren, ließen sich an dem realen Modell im wörtlichen Sinne begreifen. Ich hielt die Idee für revolutionierend und ich war begeistert. „Der Grundgedanke stammt nicht von mir“, gab Herr Jethon zu. Er erzählte mir die Geschichte, dass etwa 10 Jahre zuvor (also Anfang 1980) ein Japaner die Idee gehabt haben soll, flüssigen Kunststoff an bestimmten Stellen mit durch einen Rechner gelenkten Laserstrahlen auszuhärten und so mathematische Funktionen in einen dreidimensionalen Körper umzusetzen. Der Japaner soll versucht haben, sein Patent zu verkaufen, doch ohne Erfolg. Schließlich wurden ihm die jährlich zu zahlenden Gebühren zu hoch und er verzichtete auf das Patent. Die Firma 3D Systems soll die Idee dann aufgegriffen, verbessert und unter dem Begriff „Stereolithographie“ vermarktet haben. Diese anrührende

Geschichte konnte ich nicht verifizieren, mit dem für mich neuen Begriff „Stereolithographie“ ließ sich nun aber ein Stand der Technik festlegen, um die Anmeldung besser einzuordnen und den Ursprüngen auf die Spur zu kommen.

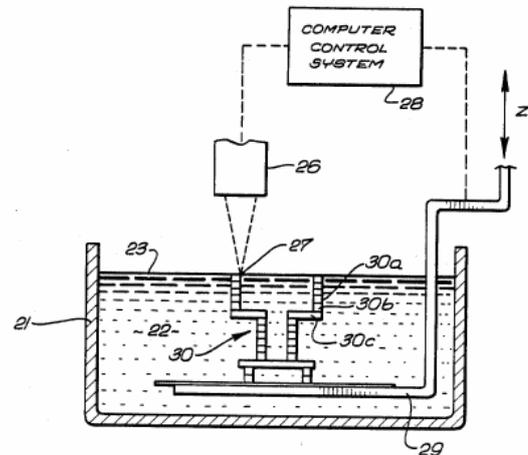
2. Ursprünge

Bereits am 10. Juli 1968 hatte Herr Wyn Kelly Swainson aus Kopenhagen beim Deutschen Patentamt ein Patent mit der Bezeichnung „Verfahren und Material zur Herstellung einer dreidimensionalen Figur“ angemeldet (DE 1 772 836 A). Als Beispiel 1 beschreibt er, wie er eine Mischung aus 200 cm³ Polyesterharz und 4 g einer 50%igen Benzoylperoxid-Katalysatorpaste in eine Glasflasche gibt, die mit 10 U/min auf einer rotierenden Platte gedreht wird. Mittels drei Quecksilber-Ultraviolettlampen, deren dunkel gefärbte Schutzgläser entfernt sind, bestrahlt er die Glasflasche mit drei eng gebündelten Ultraviolet-Strahlen. An den Schnittpunkten der Strahlen polymerisiert das Polyesterharz. Nach drei Stunden Belichtungszeit wird das nicht polymerisierte und lösliche Material mit Tetrahydrofuran weggespült. Zurück bleibt eine weiche Figur, die zur Verfestigung eine weitere Stunde mit ultraviolettem Licht bestrahlt wird. Ein Polyesterharz mit Licht auszuhärten erscheint nichts Besonderes zu sein, aber die Idee einen Laser als Strahlungsquelle zu verwenden und die Richtung der Strahlen entsprechend den gespeicherten Daten mit einem Rechner zu steuern, kommt ebenfalls bereits in dieser Anmeldung zum Ausdruck. Erst recht die Kombination zu einem automatisierten computergesteuerten Verfahren lässt den Weitblick des Erfinders zu einem Zeitpunkt erkennen, als der Computer noch nicht zum Alltag gehörte.

3. 3D-Stereolithographie

Als Ursprungspatent für die 3D-Stereolithographie wird allerdings die am 11. März 1986 veröffentlichte Patentschrift US 4 575 330 von C. W. Hull angesehen (Figur 2). Hierauf aufbauend folgte eine große Zahl teils schwergewichtiger Patente der Firma 3D Systems, wobei als Erfinder neben C. W. Hull weitere Erfinder angegeben sind. Allein die Übersetzung der europäischen Patentschrift EP 1 157 807 B1 (DE 690 34 126 T2) umfasst einen Beschreibungsteil von 382 Seiten und einen

Bildteil von 135 Seiten.



Figur 2: aus US 4 575 330.

Mit dem Stichwort „Stereolithographie“ konnte ich nun auch den für diese neuen Verfahren zuständigen Fachprüfer im deutschen Patentamt suchen. Herr Flad, damaliger Leiter der Abteilung 1.16, erklärte mir, dass die Anmeldungen, die dieses Verfahren betreffen, zunächst den unterschiedlichsten Prüfungsstellen zugeordnet worden waren. Als das Problem offenkundig wurde, hatte sich Herr Flad bereit erklärt, diese Anmeldungen in seiner Abteilung prüfen zu lassen, da bei der Stereolithographie Kunststoffe ausgehärtet wurden und die Bearbeitungsverfahren von Kunststoffen in der Abteilung 1.16 konzentriert waren. In der Anmeldung von Herrn Jethon wurden aber neben dem Material Kunststoff auch Wachse, Zucker, Glaspulver, Oxydkeramik oder sogar Metallpulver erwähnt. Der Bezugspunkt zu der „Kunststoff-Abteilung 1.16“ war nicht mehr vorhanden und wir vereinbarten, die Anmeldung in der IPC-Klasse zu belassen, nach der sie eher zufällig ausgezeichnet war.

4. Generative Fertigungsverfahren

Weitere Anmeldungen dieser Art folgten, wobei insbesondere die Anmeldungen der Firma EOS in Planegg hervorzuheben sind. Zum Aufbau des Körpers wurden z. B. die Materialien Kunststoff und Wassereis als Trägermaterial kombiniert (DE 42 16 502 C1) oder Metall- oder Keramikpulver mit einem thermoplastischen Kunststoffpulver (DE 44 10 046 C1). Parallel hierzu

wurden auf dem Gebiet der Metallpulver die selektiven Lasersinterverfahren entwickelt (eine der ersten Anmeldungen: DE 22 63 777 A1). Alle diese Verfahren hatten bei einer großen Variantenvielfalt nur wenige technische Merkmale gemeinsam, nämlich den Aufbau eines dreidimensionalen Körpers aus Schichten unter Verwendung flüssiger oder feinkörniger Materialien und die automatische Steuerung des Schichtenaufbaus durch einen Rechner. Durch diese Merkmale ließen sie sich aber eindeutig von den herkömmlichen Verfahren abgrenzen, bei denen der Werkstoff entweder umgeformt oder abgetragen wurde. In wissenschaftlichen Publikationen wurden sie wegen des Stoffaufbaus als „generative Fertigungsverfahren“ bezeichnet.

5. Rapid Prototyping

Noch ein anderer Gesichtspunkt unterschied die neuen Verfahren von den klassischen Massenproduktionen, nämlich das Ziel einen Formkörper als Einzelstück also als Urmodell bzw. Prototypen zu schaffen. Deshalb setzte sich auch schnell der Begriff „Rapid Prototyping“ durch, der alle diese Verfahren unabhängig von den technischen Verfahrensschritten umfasst. Der Begriff „rapid“ darf dabei nicht wörtlich auf das Fertigungsverfahren als solches bezogen werden, denn es läuft auf Grund des Schichtenaufbaus viel langsamer ab als die herkömmlichen Urformverfahren für die Massenproduktion. Vielmehr ist der Prozessablauf von der Planung bis zur Realisierung des optimalen Bauteils kürzer und billiger geworden, was am Einsatz dieses Verfahrens in der Gießereindustrie erläutert werden soll.

6. Modellbau in Handarbeit

Wenn ein Bauteil aus Metall gegossen werden soll, so ist es seit Jahrhunderten üblich, nach Herstellung des Entwurfs und nach Festlegung der Fertigmaße zunächst ein Modell, z. B. aus Holz, zu bauen. Dieses Modell wird in Sand eingebettet, wodurch im Sand ein Hohlraum gebildet wird, der später mit Metall ausgegossen wird. Das Modell muss etwas größere Abmessungen als das spätere aus Metall gegossene Teil aufweisen, denn das Metall schwindet beim Abkühlen und die Gussteiloberfläche muss noch bearbeitet werden. Außerdem ist zu beachten, dass dünne Wände des Gussstücks schneller abkühlen und

damit andere Eigenschaften besitzen als dicke und dass bestimmte Radien von gekrümmten Flächen wegen Rissbildung nicht unterschritten werden dürfen. Die Form des optimalen Modells gleicht also nicht genau dem fertigen Bauteil, sondern muss vom Fachmann auf Grund seiner Erfahrung und durch Versuche ermittelt werden, indem er die Form des Urmodells abwandelt und die Auswirkungen auf das gegossene Produkt begutachtet. Dabei wird das Urmodell als Einzelstück in Handarbeit gefertigt und optimiert, was in der Vergangenheit viel Zeit in Anspruch genommen hat.

7. Automatischer Modellbau

Mit dem Rapid-Prototyping-Verfahren lässt sich die Herstellung eines solchen Urmodells einfacher und preisgünstiger gestalten. Die im Rechner mit CAD konstruierten Entwürfe werden praktisch über Nacht ohne die Anwesenheit von Arbeitskräften automatisch hergestellt. Die Eignung des so gebildeten Prototyps wird anhand von Probeabgüssen ausprobiert. Jetzt lassen sich Fehler und auch mögliche Verbesserungen leichter erkennen. Dementsprechend werden Änderungen am Modellentwurf vorgenommen und ein neuer Prototyp realisiert. Bei komplizierten Bauteilen können mehrere Entwurfszyklen notwendig sein, was mit den Rapid-Prototyping-Verfahren zu einer Zeit- und Kostenersparnis gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen führt.

8. Computerunterstützter Formenbau

Mit den neuen Rapid Prototyping Verfahren boten sich aber noch weitere Vereinfachungen des Arbeitsablaufs beim Sandabguss an: Warum sollte man überhaupt noch ein Urmodell entwerfen und fertigen, wenn mit einem etwas abgewandelten Verfahren gleich die Urform aus Sand automatisch hergestellt werden konnte? So beschreibt die DE 44 18 466 A1 ein Verfahren, bei dem Sand mit Binder in einer dünnen Schicht auf einen Träger aufgebracht wird, der Binder mit einem gesteuerten Laserstrahl in vorgegebenen Bereichen ausgehärtet wird und dann Schicht für Schicht zu einem Quader aufgebaut wird. Anschließend wird der lose Sand ohne ausgehärtetem Binder entfernt und die fertige Sandform mit dem Gießhohlraum bleibt zurück. Auch ohne Laser lassen sich Sandformen in Schichtenbauweise herstellen,

indem flüssiger Kleber (Binder) mit einer feinen Düse computergesteuert nur in bestimmten Bereichen aufgegeben wird. Durch einen Schichtenaufbau und anschließende Entfernung des Restsand es entsteht die Gießform auf die gleiche Weise wie beim Laserverfahren (DE 197 23 892 C1).

9. Weiterentwicklungen

Mittlerweile ist der Höhepunkt der schichtenaufbauenden Verfahren zur Herstellung von Sandformen für den Metallguss möglicherweise schon überschritten, denn sie bekommen Konkurrenz von neuen, sehr schnellen und wirtschaftlich arbeitenden Verfahren. So wird insbesondere von der Firma ACTech in Freiberg das Konzept vertreten, Blöcke aus gebundenem Sand in Konfektionsgrößen vorzufertigen und diese durch Hochgeschwindigkeitsfräsen zu Halbschalen abzutragen (DE 100 14 744 A1). Diese Halbschalen werden zu der fertigen Gießform zusammengesetzt, in gleicher Weise wie dies bei den mit Unter- und Oberkasten gefertigten mehrteiligen Formen des herkömmlichen Verfahrens üblich ist.

Das Metallgießen in eine Sandform ist uralte. So bleibt nur die Verwunderung, dass trotz eines unermesslichen Erfahrungsschatzes des Menschen immer neue Ideen und Technologien entwickelt werden können. Auch auf altbekannten und erprobten technischen Gebieten scheint ein Ende für Weiterentwicklungen nicht sichtbar zu sein.

Das Doppelkupplungsgetriebe für Kraftfahrzeuge

Dr.-Ing. Bodo Kappes, Abt. 1.14

Beim Doppelkupplungsgetriebe handelt es sich um ein ohne Zugkraftunterbrechungen schaltbares Zahnradgetriebe mit zwei getrennt ansteuerbaren Kupplungen. Seit 2003 ist das Doppelkupplungsgetriebe erstmals in einem Serien-Pkw erhältlich. In der Automobilfachpresse hat es viel Lob gefunden. Der langwierige Weg von der Erfindung bis zum Serieneinsatz wird nachgezeichnet und die Funktionsweise dieses Getriebetyps erläutert.

1. Einführung

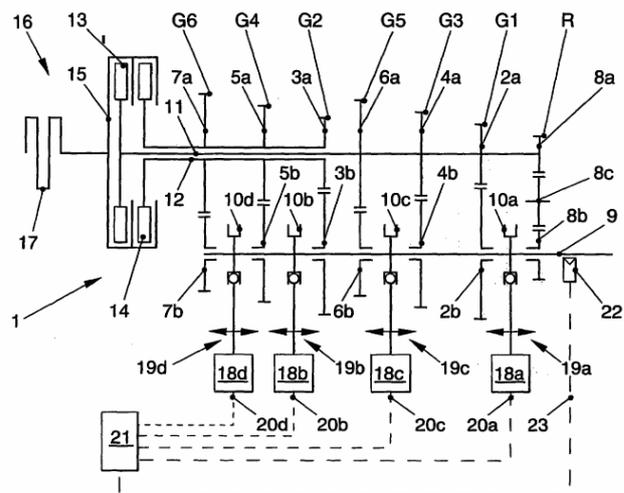
Seit der Markteinführung von automatisierten Schaltgetrieben (sog. ASG) gegen Ende der 1990er Jahre, der Wiedereinführung von stufenlosen Umschlingungsgetrieben (Überbegriff: Continuously Variable Transmission - CVT), die sich auch für den Einsatz in Fahrzeugen mit drehmomentstarken Motoren eignen, im Jahr 1999 und der Einführung des Doppelkupplungsgetriebes (DKG), hat die Beschränkung auf manuelle Stufenschaltgetriebe und Wandlerstufenautomatikgetriebe im PKW-Segment ein Ende gefunden. Die neueren Alternativen zur Anpassung des Drehmomentangebots des Motors an den Zugkraftbedarf des Fahrzeugs verbinden die Wünsche nach mehr Bedien- und Schaltkomfort, besserer Fahrdynamik, Fahrspaß mit weiterer Kraftstoffersparnis in unterschiedlich starker Ausprägung [10].

2. Aufbau und Arbeitsweise aktueller Doppelkupplungsgetriebe

2.1. Aufbau

Beim DKG handelt es sich um einen Getriebeaufbau mit zwei parallelen Teilgetrieben, wie in Figur 1 schematisch dargestellt. Die beiden Teilgetriebe werden mittels je einer antriebsseitigen Kupplung 13, 14, die zu einer Doppelkupplung 15 in einem Kupplungskorb zusammengefasst sind, wechselseitig aktiviert. Jedes dieser Teilgetriebe ist ähnlich aufgebaut wie ein konventionelles Handschaltgetriebe. Die beiden Getriebeeingangswellen 11, 12 werden zur Bauraumoptimierung koaxial angeordnet. Dabei sind dem ersten Teilgetriebe bzw. der ersten Getriebeeingangswelle (innere Welle) 11 die ungeraden Gänge (G1, G3, G5, R) zugeordnet und dem zweiten Teilgetriebe bzw. der zweiten Getriebeeingangswelle

(äußere Hohlwelle) 12 die geraden Gänge (G2, G4, G6). Die erste Schalt-(Schlupf-)Kupplung 13 für das erste Teilgetriebe ist als Schalt- u. Anfahrkupplung ausgelegt, die zweite Kupplung 14 meist als einfache Schaltkupplung, da sie weniger Verschleißbelastung ausgesetzt ist. Es handelt sich hierbei um nasse oder trockene, getrennt voneinander schaltbare Lamellenkupplungen mit hydraulischer Betätigung.



Figur 1: DKG-Schema in 3-Wellen-Konstruktion (aus DE 199 50 696 A1).

Die Zahnräder der beiden Eingangswellen 11, 12 kämmen mit den Zahnrädern auf der Getriebeabtriebswelle 9. Die Zahnräder auf den Eingangswellen 11, 12 sind als Festräder 2a-8a ausgeführt. Da sie fest mit diesen in Verbindung stehen, drehen sie stets mit. Die Zahnräder auf der Abtriebswelle 9 sind als Losräder 2b-8b ausgeführt. Der Rückwärtsgang weist ein zusätzliches Zahnrad 8c für die Drehrichtungsumkehr auf.

Die meisten DKG sind vollsynchronisierte Getriebe mit konventionellen Synchronklauenkupplungen (an 10a-d)

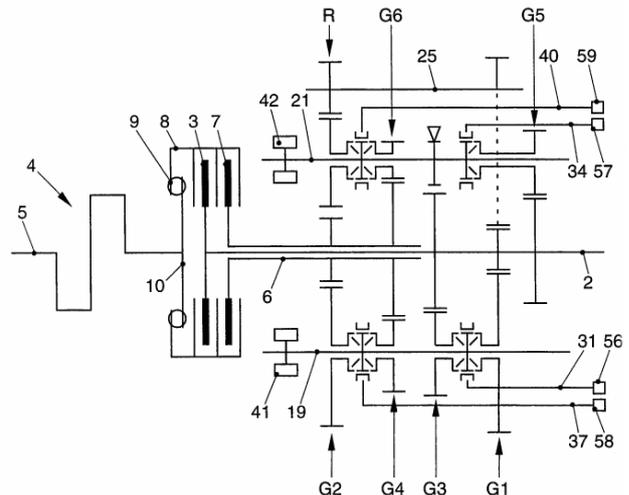
zur Schaltung der Gangzahnäder. Synchronisiererringe an den Schaltmuffen dienen der Drehzahlangleichung von Getriebebauteilen mittels Reibelementen und sorgen für komfortable, verschleißarme Schaltvorgänge [9]. Beim axialen Verlagern 19a-d der Schaltmuffen 10a-d werden die Losräder 2b-8b mit der Abtriebswelle 9 verbunden. Meist sind einer Synchronisiervorrichtung zwei Gänge zugeordnet, einer rechts einer links, z.B. R/1, 3/5, 4/6 und 2. Die in die Schaltmuffen 10a-d eingreifenden Schaltgabeln werden z.B. hydraulisch über Schaltstangen geschaltet. Eine mechanische Verbindung zum Schalthebel besteht nicht mehr („shift-by-wire“). Die Bedieneingabe wird über Sensoren oder Tasten erfasst. Es wird zwischen automatischer (Programm: P,N,R,D,3,2,1) und halbautomatischer Gangwahl (Tipp-Betrieb +/-) unterschieden. Im halbautomatischen Modus wählt der Fahrer die Gänge manuell. Hierfür sind Sicherheitsfunktionen realisiert, so dass Fehlschaltungen unterbunden werden. Dies verhindert ein Überdrehen des Motors [DE 102 42 015 A1].

Bedingt durch die zwei Eingangswellen und einer Abtriebswelle wird auch von einer 3-Wellenausführung gesprochen. Durch diese bauliche Festlegung der Wellen ergeben sich Einschränkungen bei den realisierbaren Übersetzungen, da beide Eingangswellen denselben Abstand zur Abtriebswelle aufweisen. Es gibt aber auch Bauarten mit zwei Abtriebswellen oder mit Hilfs- bzw. Vorgelegewellen in 4- oder 5-Wellenausführung [DE 10 2004 049 832 A1]. Hier ist der Konstrukteur diesbezüglich in seiner Gestaltung freier. Zudem lässt sich auch der benötigte axiale Bauraum verkürzen, was bei einer Front-Quer-Motoreinbaulage besonders relevant ist [DE 10 2004 001 278 A1].

Ein Beispiel für eine 4-Wellenkonstruktion ist Figur 2 zu entnehmen. Das Drehmoment der Kurbelwelle 5 des Antriebsmotors 4 wirkt an der Doppelkupplung 8 mit Dreh-schwingungsdämpfer 9. Es kann über die Kupplungen 3, 7 auf die Eingangswellen 2, 6 übertragen werden. Über die Festräder der Eingangswellen kann der Drehmomentfluss über geschaltete Losräder auf die Abtriebswellen 19, 21 geleitet werden, die das Achsdifferenzial antreiben [DE 101 08 881 A1, 12].

Die Konstruktion eines DKG orientiert sich am Hand-

schaltgetriebe, ist aber durch die zwei Teilgetriebe mit der Doppelkupplung deutlich aufwändiger. Somit liegen die Herstellungskosten derzeit noch im Bereich der CVT- oder Wandlerautomatikgetriebe, während automatisierte Schaltgetriebe (ASG) deutlich günstiger angeboten werden können.



Figur 2: DKG in 4- Wellenausführung (aus DE 101 08 881 A1).

Bei der Verwendung von nassen Lamellenkupplungen für drehmomentstarke Antriebe verfügen Doppelkupplungsgetriebe über eine eigene Öldruckpumpe, die vom Motor angetrieben wird, mit zugehörigem Ölkühler. Dies sorgt dafür, dass die Zahnäder, Wellen, Lager, Synchronisier-einrichtungen und Kupplungen gekühlt und geschmiert werden. Die Pumpe stellt auch Hydraulikfluid für die hydraulische Steuereinheit zur Verfügung [12].

Der Ansteuerung der hydraulischen Steuereinheit und Überwachung des Schaltvorganges dient ein elektronisches Steuergerät. Dieses ermittelt im automatischen Betrieb den korrekten Gang und die Schaltzeitpunkte. Sensoren zur Ermittlung der Fahrzustände und Umgebungsbedingungen (Motordrehzahl, Drosselklappenstellung, Einspritzzeiten, Fahrgeschwindigkeit, Temperaturen, Bremssignale, Gaspedalstellung etc.) sind mit der elektronischen Steuereinheit verbunden. In ihrem Speicher befinden sich die Schaltkennlinien über die in Abhängigkeit vom jeweiligen Fahrprogramm (z.B. Economy, Sport) festgelegt ist, unter welchen Fahrgeschwindigkeiten und Lastanforderungen welcher Gang einzulegen ist. Die hydraulische Steuereinheit dient der Schaltbetätigung, die mit den zugeordneten Ventilen die unterschiedlichen

Drücke für die Kupplungen, das Schaltgestänge, den entsprechenden Aktoren gemäß Getriebeschema zuführt und für die Schmierung sorgt [2, 3].

Moderne Steuerungen weisen Notfallstrategien auf, die Fehler im System erkennen und Maßnahmen ergreifen, damit das Fahrzeug zumindest mit Einschränkungen weiter gefahren werden kann, wenn Unregelmäßigkeiten auftreten. Auf diese Weise bleiben die funktionierenden Teilgetriebe bzw. die intakten Zahnradsätze weiter schaltbar, die gestörten Bereiche werden gemieden [WO 2004/097 266 A1]. Neben den steuerungstechnischen Voraussetzungen sind entsprechende Vorkehrungen auch im Hydraulikkreislauf einzuplanen [DE 10 2004 035 534 A1, DE 10 2004 033 362 A1].

2.2. Arbeitsweise

Wie in Figur 1 gezeigt, wird das Drehmoment vom Motor über die Kurbelwelle 17 an die Doppelkupplung 15 übergeben. Die Doppelkupplung verbindet eines der beiden Teilgetriebe zur Momentenübertragung an die Getriebeausgangswelle 9 zu den Rädern.

Während das Fahrzeug beispielsweise in einem Gang im ersten Teilgetriebe betrieben wird (Quellgang, z.B. G3), ist die erste Schaltkupplung 13 geschlossen, die zweite Schaltkupplung 14 ist offen. Im zweiten, momentenfreien Teilgetriebe kann der absehbar nächste zu schaltende Gang (Zielgang, z.B. G4) eingelegt werden. Dieser Gang kann über Prognoseverfahren in Abhängigkeit von Fahrparametern ermittelt werden [DE 199 37 716 C1].

Zum Schaltzeitpunkt öffnet nun die Schaltkupplung 13 des ersten Teilgetriebes und die Kupplung 14 des zweiten Teilgetriebes wird gleichzeitig geschlossen. Diese Überschneidungsschaltung sorgt dafür, dass fast keine Zugkraftunterbrechung spürbar ist, es ist also stets Vortrieb vorhanden.

Damit ergeben sich kurze Schaltzeiten für sportliches Vorwärtkommen und Schaltverläufe, die heute fast das Komfortniveau von Wandlerautomatikgetrieben erreichen. Dabei müssen keine Wandlerverluste in Kauf genommen werden, die sich negativ auf den Kfz-Kraftstoffverbrauch auswirken.

Programmiertechnisch können sämtliche Anfahrscenarien, z.B. sanftes Anfahren auf Schnee im Winterfahrprogramm, Kriechfahrstellungen zum einfachen Rangieren, realisiert werden.

Über die Verbindung der Getriebe- mit der Motorsteuerung wird dafür gesorgt, dass beispielsweise im Sportprogramm der Motor beim Schalten auf Drehzahl gehalten wird und der Synchronisationsvorgang bei einer Zutrückschaltung (im Zugbetrieb überträgt der Motor Drehmoment auf die Antriebsräder, im Schubbetrieb, z.B. bei einer Bergabfahrt, ist dies umgekehrt) beschleunigt wird („Zwischengas“), um den Schaltvorgang möglichst kurz zu gestalten und zügig beschleunigen zu können. Zudem lässt sich so ein Abfall des Ladedrucks in einem wohlmöglich vorhandenen Turbolader vermeiden.

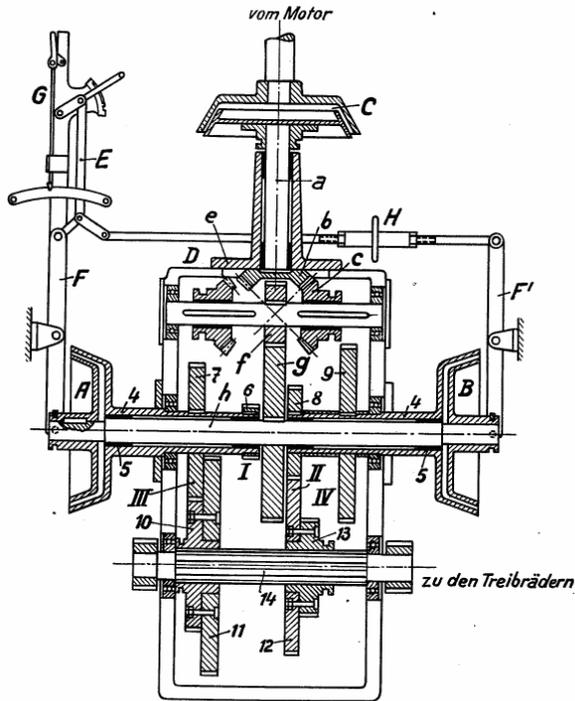
3. Die Entwicklung des Doppelkupplungsgetriebes

Das moderne Doppelkupplungsgetriebe geht auf Entwicklungen zurück, die Anfang der 1930er Jahre begonnen haben. Die ersten Entwicklungen waren geprägt von der Suche nach einem einfachen Getriebe für schwere Nutzfahrzeuge, die ohne Antriebsunterbrechung schaltbar sein sollten [6, 7].

Bis dato kamen in Nutzfahrzeuggetrieben etliche Freiläufe zur Anwendung, teilweise waren Gänge auf den Wellen doppelt vorhanden. Oft wurden mehrere groß dimensionierte Kupplungen verbaut, um die großen Drehmomente übertragen zu können [7]. Bei einigen Getrieben wurde – ähnlich einem Wandlerautomatikgetriebe – auf den Föttingerwandler [patentiert 1905, DE 221 422 C] in Verbindung mit Planetengetrieben zurückgegriffen, um zugkraftunterbrechungsfrei schalten zu können [DE 653 589 C]. Die Konstruktionen waren sehr aufwändig und schwer.

1928 wurde ein erstes einfaches DKG angemeldet [DE 543 434 C], welches insbesondere für die Anwendung in Lokomotiven vorgesehen war. Über ein Schaltgestänge F, F', G, H werden wechselseitig zwei Kupplungen A, B geschaltet, wie Figur 3 zu entnehmen ist. Über eine Einstellvorrichtung H kann der zugehörige Hebel in seiner Länge zur Einstellung der Kupplungsüberschneidungsphase verstellt werden. Die Kraftübertragung erfolgt vom

Motor über die Hauptkupplung C an die Antriebswelle a. Die Rotationsbewegung wird über die Kegelradpaarung b, c auf eine Zwischenwelle geleitet und weiter über die Stirnradpaarung f, g auf die Innenwelle h. Darauf laufen mit Innenbüchsen 5 die Hohlwellen 4. Auf der Antriebswelle 14 sitzen in Nuten verschiebbar die Zahnräder 10, 11, 12, 13. Im vorliegenden Fall (siehe Figur 3) entspräche das Öffnen von Kupplung B und das Schließen von Kupplung A einem Schaltvorgang vom II. in den III. Gang.



Figur 3: Einfaches DKG für Nutzfahrzeuge und Lokomotiven (aus DE 543 434 C).

Weitere frühe Patentanmeldungen gehen auf Adolphe Kégresse und Rudolf Franke zurück. 1939 meldete Kégresse ein Patent für ein 4-Gang-DKG an [DE 894 204 C]. Es verfügt über eine innere und eine äußere Getriebeingangswelle und verwirklicht erstmals eine koaxiale Anordnung, eine Abtriebs- und eine Vorgelege- bzw. Hilfs-welle. Die Schaltung erfolgt hydraulisch mit einer integrierten Ölpumpe und einer Fliehkraftsteuermechanik, die durch die Abtriebswelle angetrieben wird. Damit können die Herauf- und Herunterschaltvorgänge sequenziell fast automatisch vorgenommen werden. Die hydraulische Steuerung schaltet die Doppelkupplung wechselseitig abgestimmt mit der Verlagerung der Schaltstangen und Schaltgabeln.

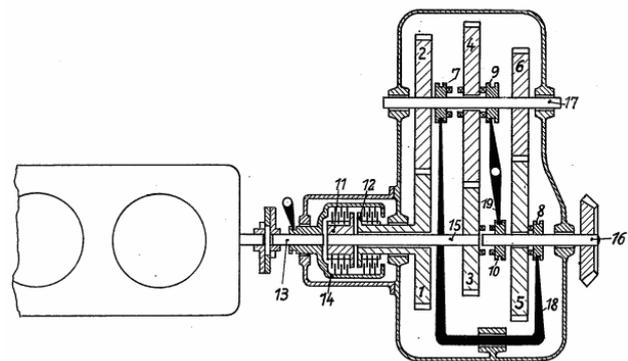
Mit dem Anmeldejahr 1940 wurde Franke das Patent DE 923 402 erteilt (siehe Figur 4), in dem er ein DKG vorsieht, welches eine Doppelkupplung enthält, die manuell oder mittels Hilfskraft schaltbar ist. Die Kupplungen 11, 12 sind nicht separat ansteuerbar. Sie werden über eine Hebelverschwenkung wechselseitig geschaltet. Die vier Gänge werden wie folgt gebildet:

Im ersten Gang wird das Drehmoment über die Motorwelle 13, Kupplungsglocke 14, Schaltkupplung 11, Getriebeeingangswelle 15, Festrad 3, Losrad 4, welches mittels Gangkupplung 9 mit der Nebenwelle 17 mitdreht, Festrad 6 auf Losrad 5, welches durch Gangkupplung 8 mit der Abtriebswelle 16 verbunden ist und die Antriebsräder treibt, geleitet.

2. Gang: 13, 14, 12, 1, 2, 17, 6, 5, 8, 16

3. Gang: 13, 14, 11, 15, 10, 16

4. Gang: 13, 14, 12, 1, 2, 17, 7, 4, 3, 10, 16



Figur 4: Doppelkupplungsgetriebe (aus DE 923 402 C).

Seine Idee sieht vor, dass der nächst höhere oder der nächst niedrigere Gang bereits zur Schaltung vorbereitet wird. Hierzu verwendet er gekoppelte Schaltgestänge 18, 19. Franke erkannte, dass ein solches Getriebekonzept auch in Winden und Aufzügen einsetzbar ist.

In Versuchsfahrzeugen wurden verschiedene halbautomatische Varianten ausgeführt. Zum einen mit einer Hebelndirektverstellung, mit der der Fahrer auch Gänge überspringend schalten konnte. Sonst mit einem Vorwahlhebel, mit dem der nächste Gang vorgewählt wurde, auf den dann durch Betätigung des Kupplungspedals umgestellt wurde. Zudem wurde eine Variante mit zwei Kupplungspedalen realisiert. Eines diente für Heraufschaltungen, das andere für Herunterschaltvorgänge. Als

problematisch bei diesem Bedienkonzept erwies sich die Möglichkeit unbeabsichtigter Herunterschaltungen bei hohen Fahrgeschwindigkeiten, die Getriebebeschäden verursacht hätten. Generell galt die Bedienung als konstruktiv aufwändig und anfällig [7].

Ab 1942 musste Franke seine Entwicklungstätigkeiten etliche Jahre lang einschränken. Das Fortführen der Entwicklungen gestaltete sich auf Grund von begrenzten Eigenmitteln schwierig [7].

Die Firma Porsche griff das DKG-Konzept im Rahmen einer BMFT-Projektes „Forschungs-Personenwagen“ für ihr Konzeptfahrzeug 995 mit Transaxle-Antrieb (vorn liegender Motor, der mit einem Stahlrohr mit dem Getriebe-Differenzial-Block an der Hinterachse zu einer starren Einheit verbunden ist) Ende der 1970er Jahre wieder auf. Hauptaugenmerk galt der elektrohydraulischen Getriebesteuerung und der Realisierung von komfortablen Schalt- und Anfahrvorgängen. Es konnte nur sequenziell geschaltet werden [4].

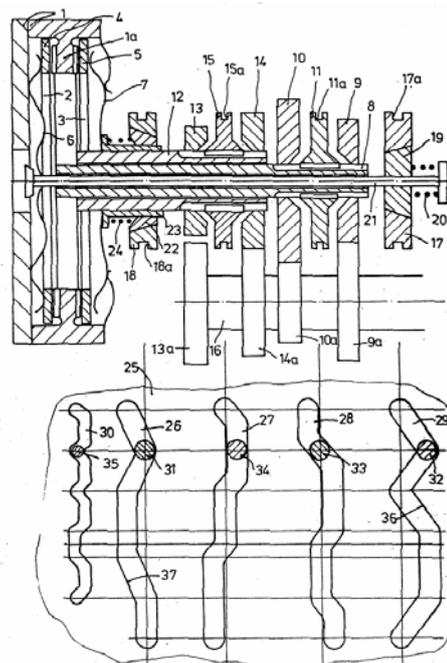
Es wurde auch versucht, DKG (siehe Figur 5) mit Schaltwalzen oder Schrittschaltwerksplatten 25 zu steuern, die von einem Schrittmotor verstellbar wurden, um Kupplungen 2, 3 und Schiebemuffen 11, 15, 17, 18 mit Synchronisiererringen über Führungsbolzen 31-35 in Führungsbahnen 26-30 zu schalten [DE 30 37 990 A1, angemeldet 1980]. Dabei mussten Getriebeverspannungen infolge unbefriedigender Steuerungstechnik in Bezug auf die Kupplungsüberschneidungsschaltung in Kauf genommen werden.

Lange Zeit haben die Nachteile des DKG, wie höheres Gewicht, größerer Bauraum, höhere Kosten und eine komplizierte Steuerung dafür gesorgt, dass Entwicklungsbemühungen frühzeitig verworfen wurden [siehe DE 34 14 037 A1].

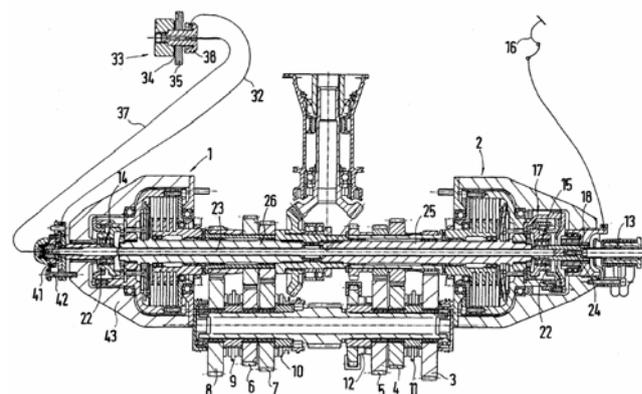
4. Doppelkupplungsgetriebe im Motorsport

In den 1980er Jahren wurde das DKG unter der Bezeichnung Porsche-Doppelkupplungsgetriebe (PDK) im Rennsport (Fahrzeugbezeichnung 962 C) eingesetzt. Es verfügte über eine manuelle Gangwahl und ein Kupplungspedal für den Anfahrvorgang. Das Getriebe war auf kurze Schaltvorgänge optimiert. Verspannungen im

Antrieb bei der Kupplungsüberschneidungsschaltung wurden in Kauf genommen. Hieraus resultierte eine erhebliche thermische Belastung der Kupplungen mit hohem Kupplungsverschleiß. Dies wurde aus Gründen der Gewichtersparnis hingenommen. Die Kupplungen wurden nach einem Rennen zerlegt und Teile je nach Erfordernis ausgetauscht. Einrichtungen zur Kompensation von erhöhten Kupplungsbetätigungs Kräften infolge Kupplungsbelagverschleiß fehlten [1, 5].



Figur 5: DKG mit Schaltkulissensteuerung (aus DE 30 37 990 A1).



Figur 6: DKG für den Rennsport (aus DE 199 15 521 A1).

Für den Rennsport wurden auch DKG-Varianten entwickelt, die es erlauben, das Getriebe im Fahrzeugheck anzuordnen, siehe Figur 6. Hier werden zwei außen liegende Schaltkupplungen 1, 2 wechselseitig über eine innere Verbindungsstange 23 betätigt. Über die Länge der

Verbindungsstange 23 kann der Fahrer im Cockpit mit einem Drehknopf 33 den Kupplungsbelagverschleiß während dem Rennen nachstellen [DE 199 15 521 A1].

In den 80er Jahren wurde das DKG auch von Audi im Rallye-Sport eingesetzt [1, 5].

5. Überwindung der Nachteile von DKG und neuere Entwicklungen

Moderne elektronische Steuerungen haben dem DKG zum Durchbruch verholfen. Entscheidend ist das Sicherstellen eines komfortablen Längsdynamikverhaltens mit geeigneten Steuer- und Regelstrategien, also eine präzise Überschneidungsschaltung der beiden Schaltkupplungen [7].

Dabei kann eine Kupplungssteuerung helfen, die sich an die Veränderungen von Reibwerten infolge Verschleiß und Temperaturänderungen anpasst [DE 199 31 160 A1, DE 197 51 455 A1, DE 199 39 818 C1]. Solche Strategien sind Teil eines elektronischen Kupplungsmanagements. Eine Unterstützung lässt sich durch Werkstoffe oder Oberflächenbeschichtungen erreichen, die die Verschleißfestigkeit erhöhen und Reibwertschwankungen minimieren [DE 10 2004 022 652 A1].

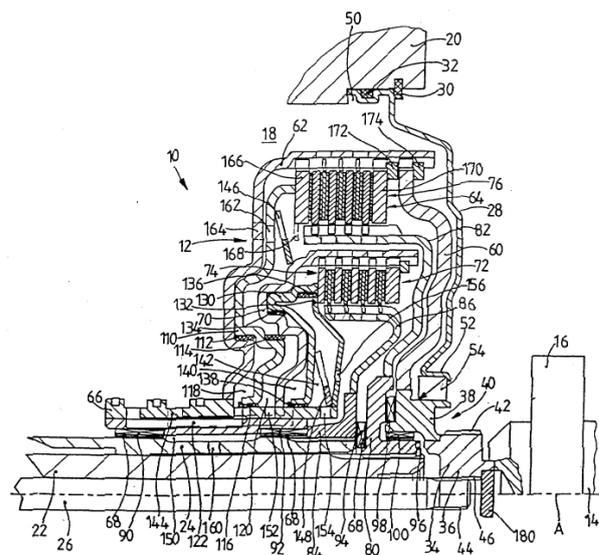
Ein weiteres Ziel stellt die Begrenzung des Kupplungsschlupfs beim Anfahrvorgang dar. Dies verhindert übermäßige Wärmeentwicklung und Kupplungsverschleiß. Hierzu werden Anfahrregelungen vorgesehen, die den Kupplungsdruck abhängig von der Gaspedal-/Drosselklappenstellung entsprechend der Motordrehmomentabgabe einstellen [5].

Bei einem Doppelkupplungsgetriebe herkömmlicher Ausführung sind normalerweise keine Schaltungen innerhalb eines Teilgetriebes zugkraftunterbrechungsfrei möglich. Es ist auf sequenzielles Schalten beschränkt. Dies betrifft beispielsweise eine Rückschaltung vom 4. in den 2. Gang [12]. In der DE 197 11 820 A1 begegnet man diesem Mangel, indem in einen Hilfgang im anderen Teilgetriebe geschaltet wird, der eine längere Übersetzung als Quell- und Zielgang aufweist, hier Gang 5. Dieser generiert für kurze Zeit ein sog. Füllmoment, bis der Zielgang im anderen Teilgetriebe eingelegt ist und die Doppelkupplung umgeschaltet werden kann. Auf diese Weise kann die

Empfindung einer Zugkraftunterbrechung vermieden werden [DE 103 49 220 A1].

Ein großes Problem der Doppelkupplungsgetriebe stellt der größere Bauraumbedarf – insbesondere vor dem Hintergrund zunehmender Gangstufen – dar, dem folgendermaßen begegnet wird:

- Spezielle Wellenanordnungen für verschiedene Motoreinbautagen bzw. Antriebsarten: Allradantrieb [DE 10 2004 001 709 A1, DE 103 35 262 A1], Motoreinbautagen front-quer und front-längs auch unter Berücksichtigung der Achslage der Abtriebswelle(n), um einen günstigen Achsdifferenzialanschluss zu gewährleisten [DE 199 44 879 A1, DE 10 2005 016 588 A1, DE 31 31 156 A1].
- Anordnung der Losräder auf der Abtriebswelle, damit können sämtliche Schaltgabeln alle auf einer gemeinsamen Schaltwelle angeordnet werden [DE 103 49 841 A1].
- Anordnung der Lamellen in den Doppelkupplungen radial übereinander und nicht nacheinander, um den axialen Bauraum zu verkürzen, wie in Figur 7 gezeigt.
- Verwendung von Planetenradsätzen, da diese eine höhere Leistungsdichte besitzen als Getriebe in Vorgelegebauweise und bei gleicher Gangzahl weniger Bauraum benötigen [DE 10 2004 014 082 A1].



Figur 7: Doppelkupplung mit radial übereinander liegender Anordnung der Lamellen (aus DE 100 44 493 A1).

Neben den vollsynchronisierten DKG-Varianten können unsynchronisierte oder teilsynchronisierte Varianten (nur

einzelne Zahnradpaare weisen eine mechanische Synchronisationsvorrichtung auf) zum Einsatz kommen. Der Verzicht auf die Vollsynchronisierung spart Kosten, Bauraum und Gewicht. Einige vollsynchronisierte Varianten weisen Synchronisierungsunterstützungsregelstrategien auf, was eine zügigere Synchronisierung erlaubt und übermäßige thermische Probleme in Synchronisiervorrichtungen auf Grund von großen anzupassenden Drehzahldifferenzen verhindert. Die Synchronisiervorrichtungen können dann kleiner ausgeführt werden und deren Lebensdauer lässt sich verlängern.

Eine Synchronisierungsunterstützung durch das Beschleunigen/Verzögern einer Welle, z.B. Eingangswelle, lässt sich über das Zuschalten des Motors durch eine Kupplungsschlupfschaltung für verschiedene Fahrsituationen erreichen. Hier wird die den Zielgang tragende Welle vorsynchronisiert, indem die zugehörige Kupplung frühzeitig kurz geschlossen wird [DE 40 17 961 A1]. Diese Maßnahme kann durch Eingriffe in die Motorsteuerung unterstützt werden.

Ein unsynchronisiertes Getriebe lässt sich mit einer Zentralsynchronisierung realisieren. Bei einem Getriebetyp mit zwei Eingangswellen und einer Abtriebswelle wird beispielsweise ein Elektromotor als Synchronisierungshilfe vorgesehen, der mit jeder der beiden Eingangswellen verbindbar ist. Dieser kann dann die Welle des Zielgangs je nach Fahrsituation auf die Synchrondrehzahl beschleunigen oder abbremsen. Im Anschluss kann eine unsynchronisierte Klauenkupplung geschaltet werden, die das zugehörige Losrad mit der Welle verbindet [DE 199 50 679 A1, DE 100 37 134 A1]. In Hybridfahrzeugen mit DKG [DE 10 2004 062 530 A1] lässt sich ebenfalls die Zentralsynchronisierung einsetzen, da ohnehin ein Elektromotor vorhanden ist [EP 1 554 154 B1].

In letzter Zeit gibt es verstärkt Bemühungen, die Kosten für ein DKG über Baukastenkonzeptionen zu reduzieren. Es wird versucht, möglichst viele Teile von bestehenden Handschaltgetrieben zu übernehmen. Es ist das Ziel, für eine bestimmte Antriebsart bzw. Motoreinbaulage ein Basisgetriebe vorzusehen, welches prinzipiell für höhere Motordrehmomentabgaben ausgelegt ist. Damit kann das Basisgetriebe mit einfachen Möglichkeiten modifiziert werden, so dass es mit verschiedenen Motoren eingesetzt

werden kann. So können mit einem DKG-Basistyp sowohl nasse wie trockene Schaltkupplungen vorgesehen werden, je nach Drehmomentabgabe des jeweiligen Verbrennungsmotors [DE 10 2005 027 608 A1].

In Deutschland, aber insbesondere in den USA sind Lösungen bekannt, das DKG antriebsseitig mit einem hydrodynamischen Wandler zu versehen. Auf diesen folgt dann die Doppelkupplung im Momentenfluss (siehe auch [5]). Diese Konstruktionen bieten mit der wandlertypischen Drehmomenterhöhung ein ideales Anfahelement, wobei die Doppelkupplungen selbst nicht mehr als Anfahelement ausgelegt sein müssen, da dort nicht mehr so viel Wärme entsteht. Die Kupplungsbeläge sind einem geringeren Verschleiß ausgesetzt. Die Doppelkupplung kann kleiner ausgeführt werden. Für den Stationärbetrieb kann eine Wandlerüberbrückungskupplung vorgesehen werden, um Wandlerverluste zu eliminieren. Mit hydrodynamischem Wandler geschieht der Gangschaltvorgang bei höchstem Komfort [US 2005/02 52 325 A1] oder er wird aus Verschleißgründen bei LKWs eingesetzt [DE 41 22 628 A1].

6. Doppelkupplungsgetriebe im Nfz

Im Nutzfahrzeugbereich kommen sog. Gruppengetriebe zum Einsatz. Diese bestehen aus einem Grundgetriebe, das durch weitere vor- und/oder nachgeschaltete Getriebe (Vor-/Nachschaltgruppe bzw. Split-/Rangegetriebe) ergänzt wird. Dadurch ergibt sich eine Vervielfachung der Gänge. Die höhere Gangzahl ist im Vergleich zum PKW notwendig, da LKWs über ein schlechteres Leistungsgewicht verfügen und deshalb kleinere Stufensprünge in den Übersetzungen vorzusehen sind. Damit kann gewährleistet werden, dass stets im optimalen Gang gefahren wird, um ausreichend Vortrieb sicherzustellen [9, 11].

Bei aktuellen Getrieben handelt es sich inzwischen oft um vollsynchronisierte Getriebe, die elektropneumatisch oder elektrohydraulisch geschaltet werden. Hier lässt sich das DKG – bedingt durch seine zugkraftunterbrechungsfreien Schaltungen – optimal einsetzen, um mit Beladung bei einer Bergfahrt nicht zu viel Schwung beim Schalten zu verlieren [DE 41 22 628 A1]. Es gibt Systeme in automatischer und/oder halbautomatischer Ausprägung [8].

Auch finden unsynchronisierte DKG Einsatz, die eine Zentralsynchronisierung aufweisen. Häufig werden diese mit Planetenradsätzen kombiniert, um eine entsprechend hohe Anzahl von kleinen Gängen in feiner Übersetzungsabstufung zur Verfügung zu stellen [DE 41 22 628 A1].

7. Ausblick

Mittel- bis langfristig wird wohl das Wandlerstufenautomatikgetriebe weiter eine dominierende Rolle im Bereich der leistungsstarken, komfortorientierten Limousinen spielen. Dies gilt insbesondere für die Märkte USA und Japan [10]. Zurzeit wird das DKG nur von einer Unternehmensgruppe im PKW-Bereich angeboten. Viele Automobilfirmen haben sich jedoch diesem Thema angenommen und beobachten den Markt. Ob das DKG langfristig Erfolg haben wird, hängt auch von den weiteren Entwicklungen des automatisierten Schaltgetriebes (ASG) ab. Die Marktdurchdringung solcher Getriebebauarten wird sicher zunehmen, insbesondere auch in leistungsschwächeren PKW der Mittel- und Kompaktklasse. Dies kann mit einer steigenden Marktakzeptanz bedingt durch mögliche Kraftstoffverbrauchssenkungen auf der Grundlage höherer Energiekosten erklärt werden.

Literatur

- [1] BARTSCH, C. Doppelkupplungsgetriebe – der Stand der Entwicklungen. - In: ATZ, 2/2003, S. 122-126.
- [2] BOSCH [Hrsg.] Elektronische Getriebesteuerung – EGS. - Konstanz, Christiani Verlag, Gelbe Reihe, 2004, ISBN 3-86522-026-6.
- [3] DACH, H. PKW-Automatgetriebe: sicher, komfortabel und wirtschaftlich fahren. - Landsberg/Lech, Verlag Moderne Industrie, 2. Auflage 2001, ISBN 3-478-93252-1.
- [4] FLEGL, H. Porsche 995 – ein Konzept auf der Basis zukünftiger Technologien. - In: ATZ, 5/1980, S. 243-253.
- [5] FLEGL, H.; WÜST, R.; STELTER, N.; SZODFRIDT, I. Das Porsche-Doppelkupplungs-(PDK-)Getriebe. - In: ATZ, 9/1987, S. 439-452.
- [6] FÖRSTER, H. J. Automatische Fahrzeuggetriebe: Grundlagen, Bauformen, Eigenschaften, Besonderheiten. - Berlin, Heidelberg, New York, London, Springer Verlag, 1990, ISBN 3-54052228-X.
- [7] FRANKE, R. Das Automatische Doppelkupplungs-

getriebe für sechs oder acht lastfrei, ohne Antriebsunterbrechung und ohne Verspannung schaltbare Gänge. - In: ATZ, 5/1999, S. 350-357.

- [8] FRANKE, R. Doppelkupplungsgetriebe für Nutzfahrzeuge. - In: ATZ, 3/1989, S. 159-162.
- [9] KLEMENT, W. Fahrzeuggetriebe. - München, Wien, Hanser Verlag, 2005, ISBN 3-446-22746-6.
- [10] KÖPF, P. Innovative PKW-Getriebesysteme – Ein Beitrag zur Fahrfreude. - In: ATZ, 2/2003, S. 110-118.
- [11] LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. Fahrzeuggetriebe: Grundlagen, Auswahl, Auslegung und Konstruktion. Berlin, Heidelberg, New York, London, Springer Verlag, 1994, ISBN 3-540-57423-9.
- [12] SCHREIBER, W.; RUDOLPH, F.; BECKER, V. Das neue Doppelkupplungsgetriebe von Volkswagen. - In: ATZ, 11/2003, S. 1022-1039.

Stumpfe Spritzenröhrchen

Dr. Claus Medicus, Abt. 1.44

Hypodermische Spritzen mit ihren scharfen Hohladeln sind heutzutage jedem bekannt. Spritzen mit stumpfen Röhrchen haben jedoch ebenfalls große Bedeutung in der Medizin. Die Gestalt der Spritzenröhrchen richtet sich dabei nach der Größe und Form der Körperöffnung, in die injiziert werden soll. Injektionen können in alle nur erdenklichen Körperöffnungen erfolgen. Insofern geht die gewählte Thematik naturgemäß auch ein wenig unter die Gürtellinie.

1. Einleitung

Spritzen mit stumpfen Röhrchen dienen schon seit mehreren hundert Jahren dazu, menschliche Körperhöhlen auszuspülen. Die Körperhöhlen sind über Körperöffnungen zugänglich, von denen man natürliche und künstlich geschaffene unterscheidet. Je nach Größe und Form einer solchen Körperöffnung gibt es unterschiedliche Spritzenröhrchen.

Zu den großen natürlichen Körperöffnungen gehören beispielsweise der Mund oder die Vagina, kleinere Körperöffnungen sind das Rectum, die Ohren, die Nase, die Harnröhre, die Tränenpünktchen, die Brustwarzen oder sogar die Speichelkanäle.

Künstlich geschaffene Körperöffnungen sind u.a. Wunden. Eine im Kampf zugefügte Brustwunde, die bis in die Lunge vordringt, ist ein Beispiel hierfür. Auch eine als Ergebnis einer Blasenoperation aufgeschnittene Harnblase besitzt eine künstlich geschaffene Körperöffnung.

Die Einstichstelle einer Nadel durch die menschliche Haut in eine Ader ist ebenfalls eine künstlich geschaffene Körperöffnung. Von diesem Spezialfall soll hier jedoch nicht die Rede sein.

Der vorliegende Artikel beschäftigt sich mit den verschiedenen stumpfen Spritzenröhrchen, die für die unterschiedlichen Körperöffnungen entwickelt worden sind. Die Beispiele stammen aus dem 20. Jahrhundert. Typische Spritzenröhrchen sind teilweise aber auch schon im 18. Jahrhundert dokumentiert worden. Den Anfang machen die zahlreichen natürlichen Körperöffnungen am Kopf.

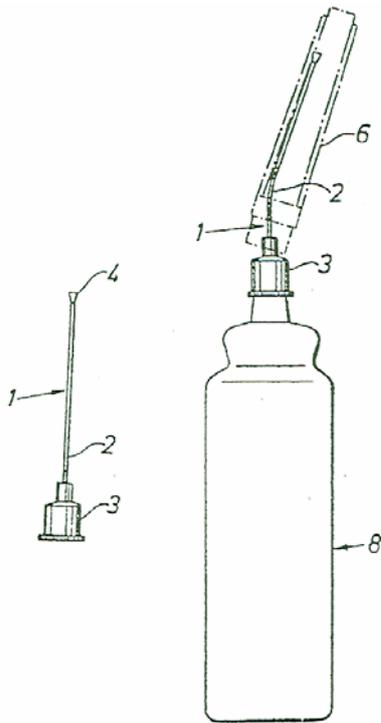
2. Körperöffnungen am Kopf

2.1. Spritzenröhrchen für den Mund

Um die Mundhöhle und den Rachen auszuspülen kann man Gurgellösungen verwenden. Diese werden mittels einer Spritze in den Mund eingespritzt, was den Vorteil hat, die Spritzflüssigkeit mit relativ großem Druck dort hinein abgeben zu können. Es wird hiermit eine stärkere Reinigung von Mundhöhle und Rachenraum bewirkt. Dies war v.a. in der Vergangenheit anstelle des heute üblichen Zähneputzens eine gängige Form der Mundhygiene. Beliebter war das Einspritzen von warmem Rotwein. An die Gestalt des Spritzenröhrchens wurde zunächst keine besondere Anforderung gestellt.

Bei den heutzutage bekannten Injektionsvorrichtungen der Zahnärzte wird warmes Wasser unter hohem Druck zu Reinigungszwecken in den Mund injiziert. Das Spritzenröhrchen ist als kleine Düse gestaltet, um den Wasserstrahl gezielt an Zähnen und Zahnfleisch einsetzen zu können. Aus der DE 1 491 056 A1 aus dem Jahre 1965 ist ein Beispiel für eine solche Vorrichtung bekannt. Auf das Spritzrohr (142) ist die Düse (143) aufgeschraubt.

Die DE 34 25 617 A1 aus dem Jahre 1984 zeigt eine Reinigungsspritze, umfassend einen verformbaren Kunststoffbehälter (8) mit einem besonders geformten Spritzenröhrchen (2), dessen Spitze (4) leicht vergrößert und abgestumpft in Form einer trichterförmigen Öffnung ausgebildet ist, um das Verletzungsrisiko gering zu halten (Figur 1). Das Spritzenröhrchen (2) ist zudem verformbar, damit der Flüssigkeitsstrahl gezielt auf den zu behandelnden Bereich in der Mundhöhle gerichtet werden kann.



Figur 1: aus DE 34 25 617 A1.

Über die Mundöffnung gelangt man auch in die Lunge oder in den Magen. So hat man früher versucht, mittels einer Spritze, verschluckte Gegenstände, die in der Speiseröhre stecken geblieben sind, wieder herauszusaugen, oder aber aufgrund des Spritzendrucks sogar noch weiter in die Speiseröhre hinein bis hin zum Magen zu transportieren.

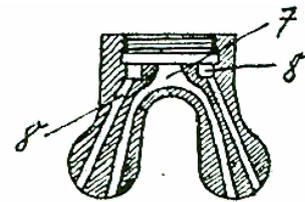
Die DE 36 19 692 A1 aus dem Jahre 1986 betrifft einen Tubus zum Einführen in die Luftröhre. Mit Hilfe einer auf den Schlauch aufgesetzten Spritze werden Medikamente bzw. Spüllösung in die Bronchien eingespritzt. Als Spritzenröhrchen kann der in die Luftröhre ragende Tubus angesehen werden, dessen Größe und Form der anatomischen Gestalt einer menschlichen Luftröhre entspricht.

Der Mund ermöglicht ferner über die eustachische Röhre Zugang zu den Ohren, genauer gesagt zu den Bereichen hinter dem Trommelfell. Eine Spritze mit einem entsprechend langen Spritzenröhrchen, das den verwinkelten Weg durch die eustachische Röhre in seiner Gestalt berücksichtigte, wurde bereits Anfang des 18. Jahrhunderts zur Spülung dieser Bereiche entwickelt.

2.2. Spritzenröhrchen für die Nase

Die in Figur 1 dargestellte Vorrichtung kann analog für Spülungen der Nase eingesetzt werden. Dabei ist das trichterförmige Spritzenröhrchen (2) jedoch nicht anatomisch geformt.

Die Gestalt der Nasenlöcher und auch deren Anordnung zueinander berücksichtigt das anatomisch geformte Spritzenröhrchen für die Nase in der DE 452 638 A aus dem Jahre 1926, welches als Mundstück auf eine Spritze aufgeschraubt wird und Kanäle (7,8) aufweist (Figur 2).

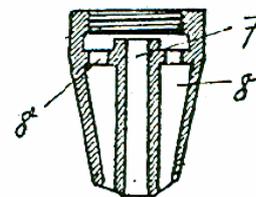


Figur 2: aus DE 452 638 A.

Bei Mund- und Kieferverletzungen kann man zu Beatmungszwecken nicht nur durch den Mund, sondern auch durch die Nase intubieren und über eine Spritze Wirkstoffe in die Trachea einbringen (DE 89 07 337 U1 aus dem Jahre 1989).

2.3. Spritzenröhrchen für die Ohren

An der Außenseite des Trommelfells beginnen die Gehörgänge, die sich auf ihrem Weg zur Ohrmuschel hin trichterförmig erweitern. Aus der bereits genannten DE 452 638 A ist mit Figur 3 ein konusförmig geformtes Mundstück für eine Spritze mit Spülflüssigkeit bekannt.



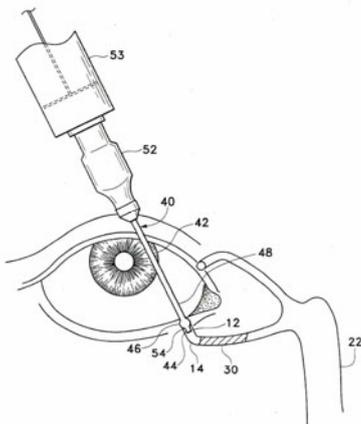
Figur 3: aus DE 452 638 A.

2.4. Spritzenröhrchen für die Augen

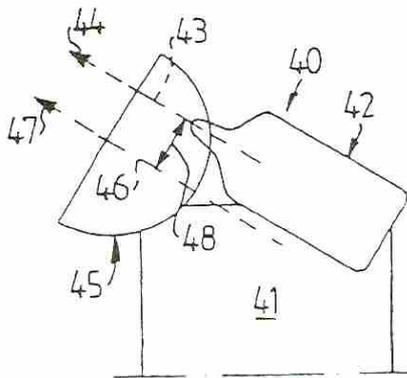
Die Augen selbst sind keine Körperöffnungen. Die Tränenpünktchen hingegen, aus denen die Tränenflüssigkeit austritt, sind besonders kleine Körperöffnungen. Schon 1713 hat Dominique Anel (1679 –

ca. 1730) mit einer kleinen Augenspritze, an der besonders feine Spritzenröhrchen angebracht waren, in die Tränenkanäle hinein injiziert.

Auch heute tut man dies mit einer besonderen Spritzenkanüle. Das geht beispielsweise aus der US 6 428 502 B1 aus dem Jahre 2002 hervor. Figur 4 zeigt, wie die besonders geformte, jedoch nicht scharfe Kanüle (40) in das untere Tränenkanälchen (14) eindringt, um dort nach Injektion einer warmen Salzlösung den (hier künstlichen) Propfen (30) durch die Nase herauszuspülen.



Figur 4: aus US 6 428 502 B1.



Figur 5: aus DE 698 28 275 T2.

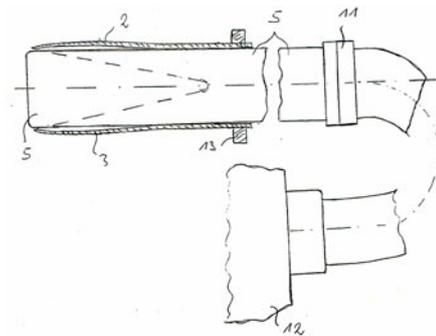
Aber auch schon die bereits genannte DE 452 638 A aus dem Jahre 1926 zeigt ein Mundstück für eine Spritze, mit der man die Augen ausspülen kann.

Da es sich bei den Tränenpunkttchen und Tränenkanälen um sehr kleine Körperöffnungen handelt, ist es möglich, diese vorher mit so genannten Dehnungs sonden ein wenig zu erweitern.

3. Körperöffnungen im Brustbereich

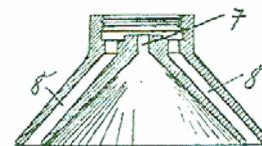
3.1. Spritzenröhrchen für die Brustwarzen

Die weiblichen Brustwarzen mit ihren Milchkanälen besitzen ebenfalls natürliche Körperöffnungen. Diese sind ähnlich den Tränenpunkttchen so klein, dass man sie vor der Injektion eines Medikaments mit Hilfe eines Dilators zweckmäßigerweise ein wenig aufweitet. Dies schlägt z.B. die DE 202 09 595 U1 aus dem Jahre 2002 vor. Dabei wird zunächst ein konischer Hohlkörper (1) mit expandierbaren Wandteilen (2, 3) in eine sehr kleine Körperöffnung, wie die der Brustwarzen, eingeführt. Durch Verschieben des Spritzenröhrchens (5) werden die Wandteile (2, 3) auseinander gespreizt und somit der Zugang zum Milchkanal ermöglicht. Durch das Röhrchen (5) kann dann mit einer Spritze (12) eine Spülflüssigkeit geschickt werden (Figur 6).



Figur 6: aus DE 202 09 595 U1.

Alternativ kann man weiterhin auch die Brustwarzen von außen abspülen, wie es die DE 452 638 A mit einem trichterförmigen Spritzenaufsatz vorsieht (Figur 7).



Figur 7: aus DE 452 638 A

3.2. Spritzenröhrchen für Brustwunden

Neben den Brustwarzen als natürlichen Körperöffnungen weist der menschliche Brustbereich keine weiteren natürlichen Körperöffnungen auf. Der Brustraum beherbergt mit der Lunge jedoch eine sehr große Körperhöhle. Bei Verletzungen des Brustraums und der

Lunge bricht der darin herrschende Unterdruck zusammen. Die Lunge kollabiert dann.

Noch im 18. Jahrhundert war es auf den Schlachtfeldern üblich, bestimmte Soldaten der königlichen Truppen Frankreichs herbeizurufen, wenn Stichverletzungen in den Brustraum oder Bauchraum behandelt werden sollten. Diese Soldaten waren keine Ärzte. Sie hatten keinerlei Ahnung von der Chirurgie. Sie saugten die Wunde mit dem Mund aus, ließen daraufhin Öl und Wein in die Wunde laufen, murmelten ein paar Worte und legten Kompressen in der Form eines Kreuzes auf.

Das Aussaugen einer Brustwunde machte aber nur dann Sinn, wenn man das Blut entfernte, bevor es geronnen war. Man erkannte schon damals, dass die Verwundeten von einem „Aussauger“ mit einer Krankheit, wie z.B. den Blattern oder Skorbut, angesteckt werden konnten, genauso, wie natürlich umgekehrt ein Verwundeter einen aussaugenden Kameraden infizieren konnte.

Diese Problematik löste Dominique Anel mit einer Spritze, auf die ein besonderes Röhrchen aufgesteckt war. Das war ungefähr im Jahre 1707. Dieses Röhrchen hatte an seinem vorderen Ende eine trichterartige Öffnung, wobei der Trichter nicht rund, sondern pyramidenförmig gestaltet war. Mit dieser Spritze konnte man Blut aus Brustwunden herausaugen, ohne dabei mit dem Mund in direkten Kontakt mit diesem Blut zu kommen. Die heute im Zusammenhang mit HIV wieder höchst aktuelle Thematik, Ärzte und Krankenhauspersonal vor dem Blut der Patienten zu schützen, ist also schon sehr alt.

Es gab ferner bereits im 18. Jahrhundert auch schon runde trichterförmige Spritzenröhrchen. Und die bereits genannte DE 452 638 A schlägt die Trichterform (Figur 7) gleichfalls für die Behandlung von Wunden vor.

4. Körperöffnungen unterhalb der Gürtellinie

4.1. Spritzenröhrchen für die Harnröhre

Bei den Spritzenröhrchen für die Harnröhre handelt es sich im Prinzip um vorne stumpfe Hohlsonden, die lang genug sind, um durch die Harnröhre zur Harnblase geschoben werden zu können. Zweck dieses Sondierens ist es, den Abfluss von Urin aus der Blase zu ermöglichen, wenn die

Harnröhre ansonsten beispielsweise entzündungsbedingt verschlossen ist. Durch den Eigendruck, den der Urin in einer gefüllten Blase besitzt, läuft dieser durch die Hohlsonde ganz von alleine ab. Ein Herausaugen mit einer Spritze ist nicht nötig.

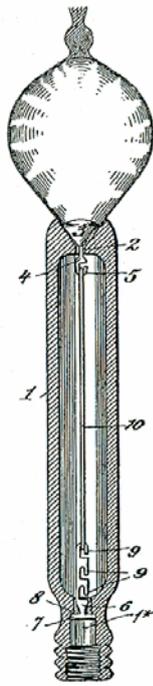
Früher war es jedoch üblich, umgekehrt durch die Harnröhre auch Spülflüssigkeit in die Blase hinein zu spritzen. In einem solchen Fall erfüllte die Hohlsonde dann gleichzeitig auch die Aufgabe eines Spritzenröhrchens.

4.2. Spritzenröhrchen für die Vagina

Spritzenröhrchen für die Vagina hatten im 18. Jahrhundert vorne eine birnenförmige Gestalt mit vielen kleinen Löchern, aus denen die Spülflüssigkeit wie aus einer Gießkanne hervortreten konnte. Sie hatten zudem eine gewisse Länge, um die Spülflüssigkeit ausreichend weit in der Scheide platzieren zu können. Wichtig war dabei jedoch, den Flüssigkeitsstrahl nicht zu stark werden zu lassen, um das empfindliche Gewebe möglichst wenig zu irritieren.

Eine besondere Art und Weise einen gleichmäßigen Flüssigkeitsstrahl, der nur einen sanften Druck ausübt, zu generieren, stellt die DE 87 804 A aus dem Jahre 1895 vor.

Der längliche Spritzenzylinder (1) umfasst einen hohlkegelförmigen Mund (2). In dieser Öffnung (2) ist ein Kegel (3) eingesetzt, der eine gewisse seitliche Bewegungsfreiheit besitzt. Ein im Spritzenzylinder (1) angeordnetes elastisches Band (10) hält den Mund (2) mit dem Kegel (3) geschlossen. Strömt nun Spülflüssigkeit durch die Öffnung (1*) in die Spritze, so drückt diese den Kegel (3) je nach der Spannung des Bandes (10) nach vorne und stellt dabei am Mund (2) eine Ringöffnung mit entsprechender Breite her. Durch diese Ringöffnung tritt die Spülflüssigkeit in Form eines umgekehrten Kegels aus und bildet dann eine Art Flüssigkeitsblase bzw. dünnwandigen Hohlstrahl (Figur 8). Dieser dient einer schmerzlosen Behandlung.



Figur 8: aus DE 87 804 A.

Die DE 32 33 404 A1 aus dem Jahre 1982 zeigt kugel- bis halbkugelförmige Sprühköpfe mit düsenartigen Öffnungen, darunter auch einen Sprühkopf mit einem Ringspalt.

Der Vorgang, Spülflüssigkeiten in Körperöffnungen zu injizieren, wird auch „klistieren“ genannt. Insofern kann man Spritzen, mit denen die Vagina gespült wird, auch als Klistierspritzen bezeichnen.

Der Vorgang des „Klistierens“ ist jedoch üblicherweise mit der Reinigung des Enddarms verknüpft.

4.3. Spritzenröhrchen für den Enddarm

Klistierspritzen mit ihrer voluminösen Gestalt sind u.a. aus der Malerei bekannt. Beispielhaft sei die Gravur: „*Médecin allant voir un malade*“ von Michel Brandouin genannt, und das Bild „*Le Malade imaginaire et Urgences*“ von Honoré Daumier aus dem 19. Jahrhundert.

Die in diesen Werken gezeigten Spritzen besitzen ein stumpfes Spritzenröhrchen von länglicher Gestalt. Eine kugelförmige Spitze des Röhrchens war, ähnlich wie bei den Vaginalröhrchen, zweckvoll.

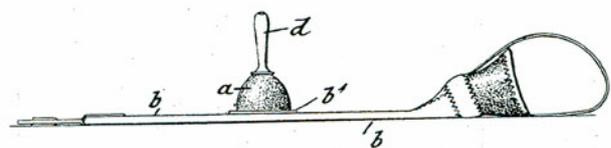
Die damaligen Klistierspritzen brachten allerdings das

große Problem mit sich, dass man beim Klistieren als Patient immer auf die Hilfe von anderen angewiesen war.

Klistiere setzen durften anfangs die Apotheker. Dann wurde es Aufgabe der Ärzte. Schließlich im Lauf der Zeit übernahm diese Tätigkeit auch anderes medizinisches Personal. Da es gang und gäbe war, sich klistieren zu lassen, dieser Vorgang einem jedoch immer auch irgendwie peinlich war, fehlte doch durch den anwesenden Arzt die nötige Intimität hierzu, fand zunehmend eine technische Entwicklung statt, bei der man das Spritzenröhrchen von der Spritze abtrennte und beide Teile über einen flexiblen Schlauch wieder miteinander verknüpfte. Jetzt waren Afterspülungen ohne fremde Hilfe möglich. Bei den engen Wohnverhältnissen des 18. Jahrhunderts konnte dies sogar einigermaßen unbemerkt in Anwesenheit anderer Leute geschehen. Man musste sich seiner Vorgehensweise daher nicht mehr so sehr schämen wie früher.

Alternativ wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts vorgeschlagen, das Spritzenröhrchen starr zu lassen, es dafür aber zweimal um 90° abzuwinkeln. So konnte man sich auf das Spritzenröhrchen setzen, während der Spritzenzylinder vor einem stand. Das Spritzenröhrchen wurde also in den Mastdarm eingeführt, ohne dass der Spritzenzylinder gestört hätte.

Ebenso war es möglich, nicht das Spritzenröhrchen flexibel zu gestalten, sondern den Spritzenkörper selbst. Die DE 285 745 A aus dem Jahre 1914 zeigt eine derartige Ausführungsform (Figur 9).



Figur 1: aus DE 285 745 A.

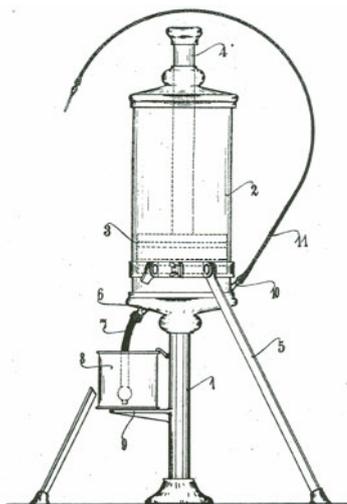
Das kegelförmige Spritzenröhrchen (d) wird in den Mastdarm eingeführt, während sich der Patient gleichzeitig auf den mit der erforderlichen Flüssigkeit gefüllten komprimierbaren Wasserbehälter (b) setzt. Durch das Körpergewicht wird ein bestimmter Druck auf die Flüssigkeit aufgebracht, unter dem diese dann in den

Darm eingespritzt wird. Es können größere Volumina an Flüssigkeit injiziert werden, als mit einer normalen Klistierspritze.

Nicht jeder konnte sich zunächst die fortschrittlicheren Geräte leisten, da diese um ein Vielfaches teurer waren als eine normale Klistierspritze aus Zinn. Auch wurden mit den Weiterentwicklungen nicht alle technischen Probleme der Klistierspritzen gelöst. Die Dichtigkeit dieser Apparate ließ beispielsweise noch lange Zeit zu wünschen übrig.

Auch heute sind die geschilderten Probleme immer noch aktuell. Die DE 697 30 533 T2 aus dem Jahre 2005 kritisiert u.a., dass viele Irrigationsvorrichtungen von einem Arzt oder Assistenten betätigt werden müssen, und dass sie ferner zu teuer seien. Anzustreben sei nun aber eine höhere Lebensqualität des Anwenders.

Diese Aufgabe wollte auch die Klistierspritze der DE 349 111 A aus dem Jahre 1920 erfüllen. Laut Hauptanspruch geht es bei dieser Erfindung um eine „Klistierspritze mit Vorratsbehälter [...] , dadurch gekennzeichnet, daß die Spritze auf eine Standsäule (1) gesetzt ist, an welcher der Vorratsbehälter (8) unterhalb des Spritzenzylinders (2) angeordnet ist, der seitlich noch durch Klappfüße (5) gestützt ist, welche zusammengeslagen den Vorratsbehälter schützen, so dass das Ganze **leicht auf Reisen mitgenommen werden kann**“ (Figur 10). Praktisch, finden Sie nicht auch?



Figur 9: aus DE 349 111 A.

5. Zusammenfassung

Gerade im Bereich der Medizintechnik sind bereits in der Vergangenheit Lösungsvorschläge gemacht worden, die die Entwicklungen der heutigen Zeit mit beeinflussen. Dies gilt vor allem für die auch heutzutage noch rein mechanischen Gebiete in der Medizintechnik, wie z.B. das der Spritzenröhrchen. Bei gleicher Aufgabenstellung über die Jahrhunderte hinweg, nämlich durch den menschlichen Körperbau vorgegebene Körperöffnungen zu penetrieren, mussten zwangsweise immer wieder ähnliche bauliche Lösungen gefunden werden. Der menschliche Körper hatte sich ja über diese Zeit nicht verändert. Verbesserte Lebensbedingungen, die Errungenschaften der Hygiene und schließlich auch die Existenz der modernen Arzneimittel machen allerdings die Anwendung solcher alten Methoden heute nicht mehr ganz so oft notwendig.

Metallische Gläser

Dr. Stephanie Radeck und Martina Hensel, Abt. 1.24

Im nachfolgenden Beitrag werden metallische Gläser, ihre Entwicklung, die Herstellung sowie einige Anwendungen vorgestellt.

1. Was sind metallische Gläser?

1.1. Herkömmliche Legierungen

Wenn Metalle aus der Schmelze erstarren, dann normalerweise unter Ausbildung einer polykristallinen Kristallstruktur: Beim Abkühlen bilden sich winzige Kristalle, die als Keime fungieren, welche zunächst frei in der Schmelze wachsen können und dendritenähnliche Kristallskelette bilden. Im weiteren Verlauf der Erstarrung füllen sich die Skelette auf, und die einzelnen Kriställchen vergrößern sich, bis schließlich die gegenseitige Berührung ein Weiterwachsen dieser als „Körner“ bezeichneten kristallinen Bereiche verhindert (vgl. beispielsweise [1]).

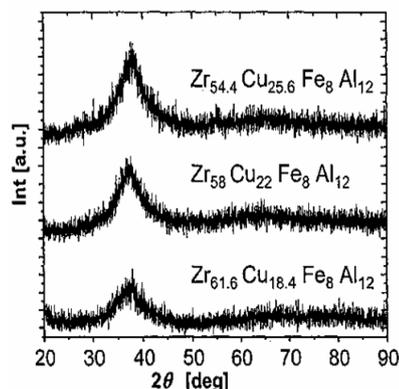
Neben der chemischen Zusammensetzung des Metalls, welches ein Reinform oder eine Legierung sein kann, besitzt ein Werkstoff aus einem Metall nach dem Abkühlen ein sogenanntes „Gefüge“. Dieses ist durch die Größe und die Gestalt dieser dreidimensionalen Körner, die Phasen verschiedenster Morphologie, wie Dendriten, Lamellen, Nadeln, Kugeln oder Platten bilden können, zusammen mit eventuell vorhandenen Einlagerungen oder Ausscheidungen, gekennzeichnet. Neben der chemischen Zusammensetzung ist es das Gefüge, welches zahlreiche technisch-physikalische Eigenschaften eines aus einem Metall hergestellten Werkstückes festlegt: Durch das Herstellungsverfahren (aus der Schmelze: Gießen, aus dem festen Zustand: Pulvermetallurgie, oder aus der Gasphase) und der anschließenden Weiterverarbeitung im festen Zustand (Wärmebehandlung, Warm- und/oder Kaltverformung) kann so das Gefüge eines Metalls – bei gleicher chemischer Zusammensetzung – variiert und das Werkstück entsprechend seinem Verwendungszweck in seinen Eigenschaften, wie Festigkeit, Härte, Dehnung, Umformbarkeit, magnetischem Verhalten usw., eingestellt werden.

1.2. Metallische Gläser

Metallische Gläser oder amorphe Metalle bzw. Legierungen sind Festkörper, die keine (poly)-kristalline, sondern eine „ungeordnete“ Struktur besitzen. Der Begriff „amorph“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „ohne Form“.

Der bekannteste amorphe und somit nicht-kristalline Werkstoff ist sicher Glas: Nach dem Erstarren bildet Glas einen Festkörper, der manchmal auch als „gefrorene“ oder „unterkühlte“ Flüssigkeit bezeichnet wird, weil er, wie eine Flüssigkeit und im Gegensatz zu einem Kristall, keine Translationssymmetrie, also keine Fernordnung (regelmäßige Wiederholung eines Grundmusters), sondern allenfalls eine gewisse Nahordnung der atomaren Bausteine aufweist (vgl. beispielsweise [2]).

Die physikalischen Eigenschaften eines Glases sind damit in allen Raumrichtungen gleich, also isotrop, der Feststoff ist amorph. Zum Nachweis des amorphen Zustandes wird die Röntgenbeugung angewendet: Eine geeignete experimentelle Methode ist beispielsweise die Pulverdiffraktometrie, bei der amorphe Proben Spektren mit diffusen Maxima aufweisen, wie in Figur 1 (vgl. auch [3]):



Figur 1: Nachweis quaternärer amorpher Legierungen, aus EP 1 632 584 A1 [4].

Ein „metallisches Glas“ oder „amorphes Metall“ hat also keine Körner und Korngrenzen mehr, sondern bildet eine statistisch dichte Kugelpackung, welche keine Kristall- oder Gitterbaufehler mehr aufweisen kann. Amorphe Metalle besitzen deswegen oft besonders günstige Eigenschaftskombinationen wie sehr hohe Härte bei guter Duktilität, ideales weichmagnetisches Verhalten, sehr hohe katalytische Reaktivität, sehr gute Korrosionsbeständigkeit, sowie eine sehr hohe Elastizität über große Deformationsbereiche. Aufgrund dieser herausragenden Eigenschaften sind die metallischen Gläser auch von technischem Interesse und seit den späten achtziger Jahren werden metallische Gläser als kommerzieller Werkstoff eingesetzt.

2. Geschichte – Entdeckung & Entwicklung

Eine der ersten Patentschriften, welche ein Verfahren zur Herstellung einer amorphen Legierung beschreibt und diese auch als solche mit ihrem amorphen Gefüge sowie den damit verbundenen besonderen Eigenschaften erkennt, ist die DE 696 739 A vom 21. Oktober 1937 [5]. Als Erfinder ist Dr. Herbert Winter benannt, Patentinhaberin ist die Metallgesellschaft AG in Frankfurt am Main, die heutige GEA Group AG.



Figur 2: Ausschnitt aus der Titelseite der DE 696 739 A [5]: Oberflächenschicht aus metallischem Glas, 1937.

In dieser Schrift wird eine an der Oberfläche eines metallischen Werkstücks erzeugte amorphe Schicht mit einem möglichen Herstellungsverfahren – nämlich elektrische Funkenentladungen an der Oberfläche des zu

behandelnden Werkstücks - so offenbart, wie auch heute noch die Bildung und Struktur dünner amorpher Schichten verstanden werden:

... Es wurde nun gefunden, daß sich eigenartige, neue Wirkungen auf Metalle und Legierungen ausüben lassen, wenn man auf die Oberfläche von metallischen Werkstücken elektrische Funkenentladungen einwirken läßt; deren Intensität so groß ist, daß sie zu einer örtlichen Schmelzung der vom Funken getroffenen Stelle der Oberfläche des behandelten Metalls ausreicht. Bei einer derartigen Behandlung entstehen offenbar in der Oberfläche des kompakten, festen und sonst kalten Werkstoffes sehr kleine Bezirke mit einem Durchmesser von etwa einigen Zehntelmillimeter, die augenblicklich aufschmelzen und dann sofort wieder erstarren. Die entstehenden Schmelzröpfchen, die rings in sonst kaltes Metall eingebettet sind, gehen dabei ihren geringen Wärmeinhalt über eine verhältnismäßig große Oberfläche außerordentlich rasch ab. Dies hat zur Folge, daß ein beinahe glasähnlicher Zustand entsteht, bei dem die Löslichkeit der Komponenten ineinander weitgehend den Verhältnissen des flüssigen Zustandes angenähert erscheinen.

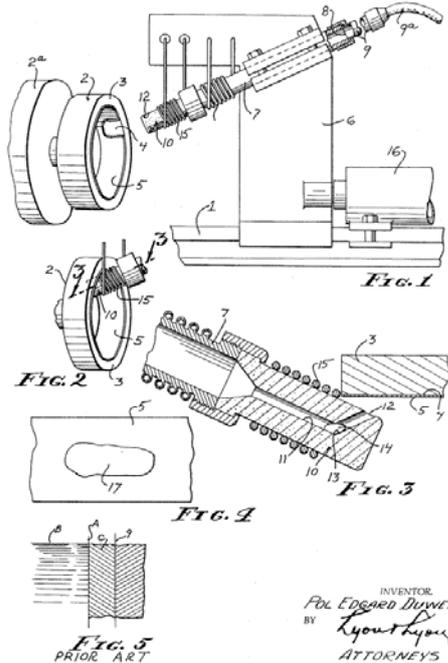
... Nach dem Gesagten dürfte es klar sein, daß es sich bei den durch das Verfahren der Erfindung hergestellten Umwandlungen der Oberfläche um einen neuartigen Zustand, der vielleicht der einer unterkühlten Schmelze ist, handelt, der auch zu einer technologischen Änderung der Eigenschaften der so behandelten Oberflächen führt. Das Verschwinden einzelner Kristalle bringt dann auch zum Teil außerordentlich erwünschte Eigenschaften mit sich. ...

Figur 3: Auszüge aus der Patentschrift DE 696 739 A [5].

Das vorliegende Patent wurde aber nicht kommerziell umgesetzt und spätere Patentschriften des gleichen Erfinders haben zwar ebenfalls die Behandlung von Metallen zum Gegenstand, befassen sich aber nicht mehr mit amorphen Legierungen.

In der Nichtpatentliteratur wird als Begründer des modernen Interesses an den metallischen Gläsern Pol Duwez genannt [6], [7]: Pol Edgard Duwez war Materialwissenschaftler am California Institute of Technology (Caltech) und entwickelte dort 1959 ein Verfahren zum Abschrecken von Schmelzen verschiedener edelmetallhaltiger Legierungen, um so bei Raumtemperatur amorphe Filme mit einer maximalen Dicke von weniger als 0,01 mm herzustellen. Diese Filme sowie das Herstellverfahren wurden ursprünglich am 15. Januar 1960 in den USA zum Patent angemeldet und letztendlich als „continuation-in-part“ am 10. Januar 1967 unter der Nummer 3 297 436 patentiert [8].

Gemäß der US 3 297 436 lässt sich ein dünner Film mit einem amorphen Gefüge wie folgt herstellen: Die Schmelze wird unter hohem Druck auf die Innenseite eines stark gekühlten Zylinders geschossen, welcher sehr schnell rotiert, um so die benötigte Fliehkraft zur flächigen Verteilung der Schmelze zu erzeugen.



Figur 4: Originalseite aus US 3 297 436 [8]: Herstellung von Filmen aus metallischem Glas, 1960.

... When a mixture of metals or salts are cooled from a homogeneous melt, the process of solidification involves a relatively gradual flow of heat outwardly from the melt to the walls of the surrounding crucible, mold, or other containing means. ... If, however, the rate of heat extraction is caused to exceed a critical value for the particular melt, the normal process of nucleation and growth may be prevented; and, as a result, a solid material may be produced having different structural, physical, and mechanical properties from the material obtained as a result of normal cooling. ...

For example, but by no means representative of the range of unique or improved properties, the resulting product may have:

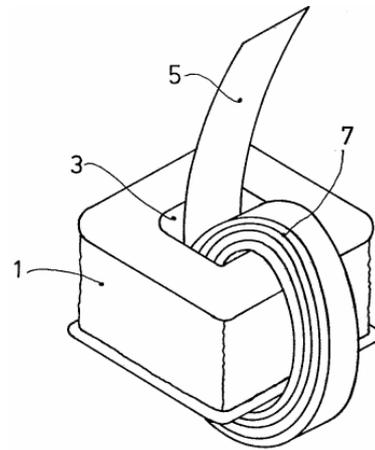
- (a) Improved corrosion resistance as compared to the original composition.
- (b) Improved mechanical strength, as much as a factor of 10 as compared to conventional compositions or alloys.
- (c) Improved electronic characteristics, as in the field of semi-conductors, the band gap may be controlled or increased as compared to conventional semi-conductors.
- (d) Altered electrical resistance, the resistance in general being increased as compared to the conventional alloys or compositions.
- (e) Improved magnetic properties, that is, higher coercive force as compared to the conventional alloys or compositions. ...

Figur 5: Auszüge aus der Patentschrift US 3 297 436.

Von Duwez findet sich nur noch ein weiteres Patent, welches aus dem Jahr 1981 stammt und sich mit einem supraleitenden metallischen Glas sowie einem Verfahren zu seiner Herstellung befasst [9].

Die ersten kommerziellen Anwendungen metallischer Gläser gibt es seit den 1970er Jahren. Sie spiegeln sich in Anmeldungen wieder, die vorwiegend die besonderen

weichmagnetischen Eigenschaften der metallischen Gläser – in Form von gewickelten Bändern [10] - oder ihre herausragende Festigkeit - Verwendung als Beschichtung [11] - zum Gegenstand haben.



Figur 6: Ringbandkern aus amorpher Folie, aus DE 29 14 123 A1 [10].

1. Schneidwerkzeug aus einer Nickel, Eisen, Kobalt, Chrom und/oder Vanadium enthaltenden Legierung, dadurch gekennzeichnet, daß

es aus einer überwiegend glasartigen Legierung der allgemeinen Formel $M_{1-0,9}X_{0,1-0,2}$ besteht,

worin M Nickel, Eisen, Kobalt, Chrom und/oder Vanadium bedeutet

und X Phosphor, Bor, Kohlenstoff, Silicium, Aluminium, Antimon, Zinn, Indium, Germanium und/oder Beryllium bedeutet,

wobei M bis zu einem Drittel aus Molybdän, Mangan, Titan, Wolfram und/oder Kupfer bestehen kann,

oder einen Überzug aus einer solchen überwiegend glasartigen Legierung aufweist.

Figur 7: (Anspruchs-)Beschreibung eines Schneidwerkzeugs aus amorphem Material, aus DE 23 66 415 C2 [11].

1982 wird von Drehmann et al. eine Palladium-Nickel-Phosphor-Legierung beschrieben, die bei einer Abkühlrate von 1,4 Grad Celsius pro Sekunde amorph erstarrt und es erlaubt, Tropfen mit einem Durchmesser von bis zu 0,5 cm herzustellen [12], ein kommerzieller Einsatz ergibt sich jedoch nicht.

Bis zum Beginn der 1990er Jahre wurden weltweit nur sehr wenige Anmeldungen auf diesem Gebiet gemacht. Etwa 3/4 aller Anmeldungen zu den metallischen Gläsern stammen aus der Zeit nach 1990, ca. 1/3 wurde seit dem Jahr 2000 angemeldet.

Der nächste große Meilenstein in der Entwicklung der metallischen Gläser auf dem Wege zur kommerziellen

Einsetzbarkeit stammt von Atakan Peker und William Johnson, die 1992 - ebenfalls am Caltech - erstmals Legierungen auf der Basis von Zirkon, Titan, Nickel, Kupfer und Beryllium entwickelten, welche ohne besondere Behandlung beim Abkühlen von selbst in amorpher Form erstarren. Die Legierungen wurden am 7. April 1993 zum Patent angemeldet. Ab diesem Zeitpunkt ist es möglich, amorphe Werkstücke in beliebiger Form und Dicke herzustellen und damit für beliebige Verwendungszwecke zur Verfügung zu stellen.

3. Herstellung

Es existieren heute verschiedene Verfahren, um amorphe Metalle herzustellen, die grob in vier Gruppen eingeteilt werden können, zu denen im Folgenden beispielhaft einige der möglichen Verfahren anhand von Patentliteratur vorgestellt werden:

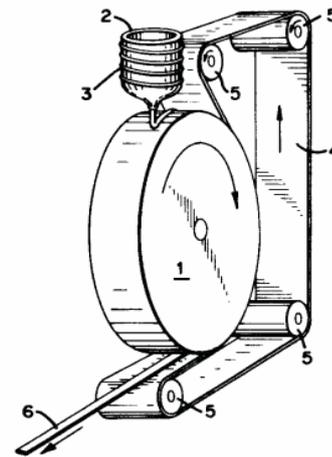
- Verfahren zum Abschrecken einer Schmelze mit ausreichend hohen Abkühlraten, um ein Kristallisieren der Schmelze beim Erstarren zu verhindern.
- Gasphasenabscheidung.
- Zugabe von sogenannten „glasbildenden“ Elementen zur Schmelze, die ebenfalls ein Kristallisieren beim Erstarren verhindern, ohne dass spezielle Kühlraten benötigt werden.
- Festkörperreaktionen, insbesondere Sinterverfahren oder das mechanische Legieren, bei dem in Hochenergiekugelmöhlen die Legierungsbestandteile so lange gemahlen werden, bis sie ein homogenes Gemenge mit amorphem Gefüge bilden.

3.1. Verfahren zum Abschrecken einer Schmelze

Bei diesen Verfahren wird eine Kühlrate von etwa 1 Million Grad Celsius pro Sekunde erzeugt, die eine Kristallisation der erstarrenden Schmelze unmöglich macht. Eine detaillierte Übersicht der bekannten Verfahren kann [6], S. 7 ff, entnommen werden.

3.1.1. Abkühlen unter Verwendung eines gekühlten Zylinders

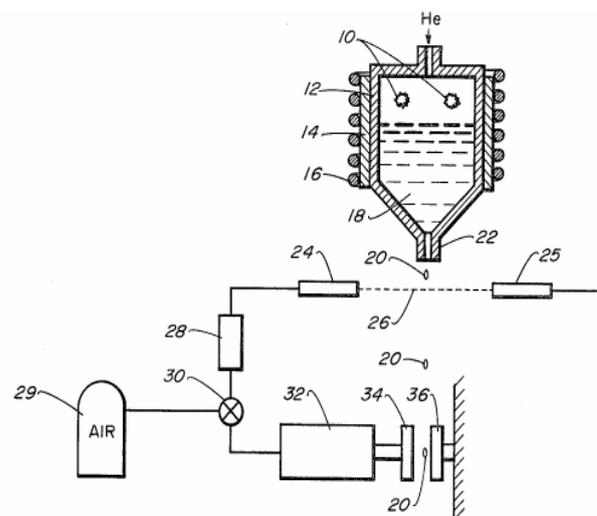
Zur Herstellung eines Filmes mit amorpher Struktur wird ein dünner Strahl einer Schmelze 2 auf eine stark gekühlte und schnell rotierende Fläche, hier die Außenseite eines Zylinders 1, aufgebracht und als Band 6 abgewickelt [13].



Figur 8: Abkühlen mittels rotierendem Zylinder, aus DE 29 52 621 A1 [13].

3.1.2. Hammer-und-Amboss-Verfahren

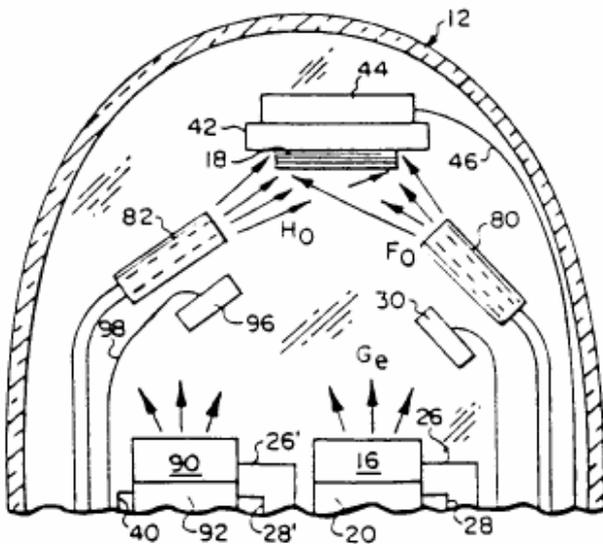
Ein aus der Schmelze frei fallender Tropfen 20 wird zwischen zwei Stempeln 34 und 36 („Hammer und Amboss“), die aus hoch poliertem, sehr gut wärmeleitendem Kupfer bestehen, gefangen und so abgekühlt [9]:



Figur 9: Hammer-und-Amboss-Verfahren, aus US 4 264 358 [9].

3.2. Gasphasenabscheidung

Die Legierungskomponenten 90, 16 werden unter Vakuum zerstäubt und die Partikel aus der Gasphase an einer ebenfalls stark gekühlten und chemisch möglichst nicht reaktiven Fläche – hier dem Substrat 18 – abgeschieden [14]:



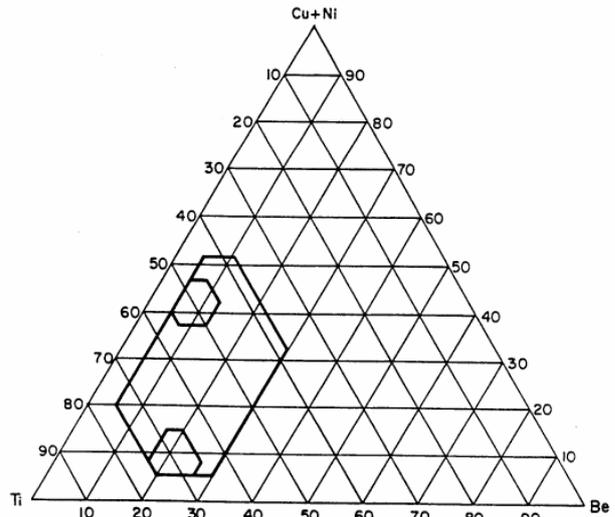
Figur 10: Gasphasenabscheidung, aus DE 31 53 761 C2 [14].

Sowohl die Verfahren nach 3.1 als auch nach 3.2 liefern dünne Bänder oder Filme mit amorpher Struktur; das Herstellen eines dickeren Werkstückes ist so aber nicht möglich, da - sobald eine gewisse kritische Dicke des Materials überschritten wird - die Wärmemenge nicht mehr ausreichend schnell abgeführt werden kann, so dass wieder Kristallisation auftritt.

3.3. Zugabe von glasbildenden Elementen zur Schmelze

Stark vereinfacht kann man ein glasartiges Erstarren dann erwarten, wenn es sich bei der Schmelze um ein System mit mehreren - mindestens drei - Legierungsbestandteilen handelt, welche sich in ihren Atomgrößen stark unterscheiden, weil ein Kristallwachstum bei unterschiedlich großen Atomen aus geometrischen Gründen schwierig ist - die Atome „stören“ sich gegenseitig bei der Ausbildung eines regelmäßigen Gitters.

Geeignete Metalle, die den Aufbau eines Kristallgitters „stören“, sind dabei zum Beispiel nach [15] Beryllium bei einer Zugabe von ca. 5 bis ca. 50 Atom-%, mindestens ein Element aus der Gruppe der Übergangselemente bei einer Zugabe von ca. 30 bis ca. 75 Atom-%, sowie ein Element aus der Mangan-, der Eisen- oder der Edelmetallgruppe bei einer Zugabe von ca. 10 bis ca. 40 Atom-%.

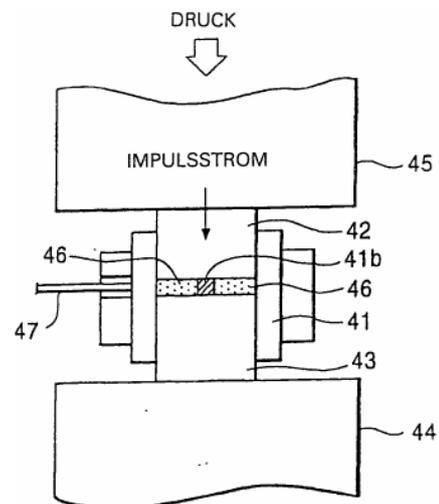


Figur 11: Beispiel für eine amorph erstarrende Legierung, aus US 5 288 344 [15].

3.4. Festkörperreaktionen

3.4.1. Sinterverfahren

Beim Sintern wird ein Rohmaterialpulver zunächst verpresst, dann auf eine Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes erwärmt und dort einige Stunden gehalten, so dass die Pulverpartikel an ihren Oberflächen zusammenwachsen können.

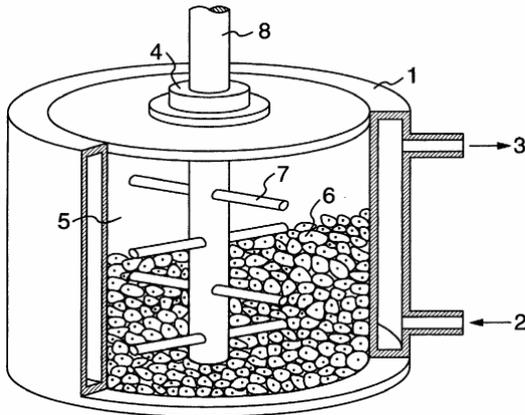


Figur 12: Sintervorrichtung, aus DE 698 23 756 T2 [16].

Nach [16] werden dazu in einer Form 41 mit einem oberen beheizbaren Stempel 42 und einem unteren beheizbaren Stempel 43 die Pulverpartikel des Rohmaterials zunächst verpresst und dann auf Sinteremperatur gebracht und dort bis zum Abschluss des Sintervorgangs gehalten.

3.4.2. Mechanisches Legieren

In einer Hochenergiekugelmühle werden die Legierungsbestandteile so lange gemahlen, bis sie ein homogenes Gemenge mit amorphem Gefüge bilden. Nach [17] weist eine derartige Kugelmühle einen wassergekühlten Tank 1 auf, in welchem mit einem Rührwerk 7, 8 unter Schutzgas das pulverförmige Rohmaterial 5 unter Verwendung von Edelstahlkörpern 6 gemahlen wird.



Figur 13: Kugelmühle für das mechanische Legieren, aus EP 1 295 958 A1 [17].

4. Anwendungen heute & morgen

Die Anwendungen von metallischen Gläsern sind heute – trotz des hohen Preises für den Werkstoff – etwa zehnmal höher wie der Preis von Aluminium und etwa 100 Mal höher wie der Preis von Edelstahl – bereits auf den folgenden Gebieten zu finden.

Weichmagnete: Als Sensorkomponente in Warensicherungsetiketten. Derartige Etiketten besitzen den entscheidenden Vorteil, dass sie durch Knicken nicht deaktiviert werden können, im Gegensatz zu den herkömmlichen klassischen Magnetstreifen auf Eisen-Nickel-Basis, welche bereits nach einmaligem Hin- und Herknicken so beschädigt sind, dass die Warensicherung nicht mehr anspricht.

Industrielle Beschichtungen: Beschichtungen für Maschinen und Werkzeuge aus den verschiedensten Bereichen mit höchster Verschleißfestigkeit bei gleichzeitiger Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit.

Gehäuse für elektronische Geräte: Metallische Gläser

ermöglichen das Design und die Herstellung dünnerer, leichter und dennoch stabilerer und kratzfester Gehäuse, die die innen liegenden Komponenten besser als herkömmliche Titanlegierungen schützen. Ein weiterer Vorteil ist die einfache Verarbeitung und Formgebung des metallischen Glases, welches – bei der Wahl der entsprechenden Legierung – ähnlich wie Kunststoff verarbeitet werden kann.

Schmuck: Diese Anwendung beruht vor allem auf der extremen Kratzunempfindlichkeit der metallischen Gläser, auf ihrer Korrosionsbeständigkeit sowie auf der Möglichkeit, metallische Gläser bis zum Hochglanz polieren zu können.

Scharniere: Speziell für die Elektronik-Industrie und insbesondere für Mobiltelefone mit aufklappbarem Deckel, wo neben dem ansprechenden Design sehr hohe Anforderungen an die Belastbarkeit gestellt werden. Scharniere aus metallischem Glas sind deutlich unempfindlicher gegenüber Stößen und haben eine deutlich längere Lebensdauer bei der durch das ständige Öffnen und Schließen verursachten Belastung als entsprechende Teile aus Zink oder Magnesium, Edelstahl oder auch Titan.

Medizintechnik: Sowohl Implantate als auch Werkzeuge werden aus metallischem Glas gefertigt. Bei den Implantaten ist es insbesondere die Bio-Kompatibilität, die Verschleißfestigkeit sowie die hohe Belastbarkeit bei niedrigem Gewicht, die denjenigen von Titan oder Edelstahl überlegen sind. Daneben bieten sich metallische Gläser insbesondere zur Herstellung (chirurgischer) Klingen an, da diese schärfer sind als Edelstahlklingen, weniger teuer als diamantbeschichtete Klingen und eine deutlich längere Lebensdauer aufweisen.

Sportgeräte: Wegen des niedrigen spezifischen Gewichts ist es vor allem das inhärente Vibrationsdämpfungsvermögen und die extrem hohe Elastizität, die metallische Gläser für Sportartikel im professionellen und semi-professionellen Bereich anderen Materialien überlegen macht: Hergestellt werden u.a. bereits Fahrräder, Skier und Snowboards, Golf- und Tennisschläger.

5. Ausblick

Bei den verwendeten metallischen Gläsern handelt es sich normalerweise nicht um reine metallische Gläser, sondern um eine besondere Form von Verbundwerkstoffen, bei denen die Matrix aus der amorphen Legierung und die Einlagerungen aus kristallisierten Bereichen der gleichen Legierung bestehen, um so das Problem der Sprödigkeit des metallischen Glases und der damit verbundenen Neigung zu Brüchen des gefertigten Werkstücks zu lösen. Der Hauptbestandteil bei den Legierungen für die o.g. Anwendungen ist bisher normalerweise Zirkon oder Titan oder Palladium. Wie und wann sich der neue Werkstoff großflächig durchsetzen kann oder ob er eine Speziallösung für Einzelanwendungen bleibt, wird wohl daran liegen, ob die Sprödbrechproblematik wirklich zufrieden stellend gelöst werden kann und ob es gelingt, für Alltagsanwendungen bezahlbare amorphe Legierungen - beispielsweise auf der Basis von Eisen oder Kupfer - zu entwickeln.

Literatur

- [1] SCHUMANN, H. Metallographie - VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983, 11. Aufl., S. 111, Bestell-Nr. 541 179 4.
- [2] HOLLEMANN-WIBERG. Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 91.-100. Aufl. - Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1985, S. 781, ISBN: 3-11-007511-3.
- [3] WEST, A. R. Grundlagen der Festkörperchemie. - VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1992, S. 144, ISBN: 3-527-28103-7.
- [4] EP 1 632 584 A1.
- [5] DE 696 739 A.
- [6] HERMAN, H. Treatise on Materials Science and Technology, Band 20: Ultrarapid Quenching of Liquid Alloys. - Academic Press, New York, London, 1981. ISBN: 0-12-341820-8.
- [7] LEMLEY, B. Glassy Metals. Harder, stronger, and better – the material of the future. - In: Discover, Band 25 (4), April 2004. (Im Internet: <URL: www.discover.com/issues/apr-04/features/glassy-metals/>).
- [8] US 3 297 436.
- [9] US 4 264 358.
- [10] DE 29 14 123 A1.
- [11] DE 23 66 415 C2.
- [12] DREHMAN, J. et al. Bulk formation of a metallic glass: Pd₄₀Ni₄₀P₂₀. - In: Appl. Phys. Lett., Vol. 41, No. 8, 1982. S. 716-717.
- [13] DE 29 52 621 A1.
- [14] DE 31 53 761 C2.
- [15] US 5 288 344.
- [16] DE 698 23 756 T2.
- [17] EP 1 295 958 A1.

Formgedächtnis-Polymere (Shape-Memory Polymers, SMP) als Materialien der Zukunft

Dr. Thomas J. Reitinger, Abt. 1.44

Polymere haben aufgrund ihres Aufbaus ein eingebautes Formgedächtnis. Wenn Polymere erhitzt werden, fallen sie aus einem kristalloiden Zustand wieder in ihren amorphen Ausgangszustand zurück. Bei einigen Polymeren kann dieser Zustand über bis zu zwei Stufen verlaufen. Formgedächtnis-Polymere sind maßgeschneiderte, intelligente und selbst reparierende Hochleistungskunststoffe, die sich an ihre frühere äußere Form trotz einer zwischenzeitlich starken Umformung scheinbar „erinnern“ können. Entsprechend ihrem breiten Eigenschaftsprofil ist das Anwendungspotenzial dieser Shape-Memory-Polymers (SMP) insbesondere im Bereich der Biowissenschaften sehr groß.

1. Einleitung

Stimuli-sensitive Materialien sind Werkstoffe, die auf einen äußeren Auslöseimpuls mit einer Änderung ihrer makroskopischen Eigenschaften reagieren. Ist von dieser Änderung auch die äußere Form betroffen, so spricht man von einem Formgedächtniseffekt. Erfolgt die äußere Verformung in Folge einer Temperaturänderung, spricht man von einem thermisch induzierten Formgedächtniseffekt [1]. Es sind aber auch mechanische, magnetische und elektrische Stimuli realisiert [4][5][7][39]. Ist das stimuli-sensitive Material ein Polymer handelt es sich um ein Formgedächtnis-Polymer. SMPs beschränken sich derzeit hauptsächlich auf den thermisch induzierten Formgedächtniseffekt [2][3].

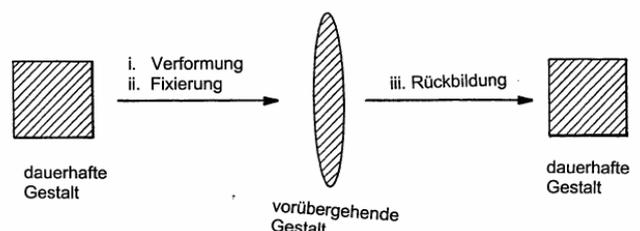
Formgedächtnis-Polymere können deformiert und wieder in vordefinierten Formen, wie z.B. gestreckten Filmen und Röhren, Bögen oder Spiralen fixiert werden. Bei einem Kotflügel beispielsweise liegt zunächst die unbeschädigte Ursprungsform vor. Durch einen Aufprall entsteht eine temporäre Form, die sich u.a. durch Erwärmen wieder in die ursprüngliche Form zurück verwandelt - der Kunststoff hat sich sozusagen selbst repariert.

Das Anwendungspotenzial dieser intelligenten Hochleistungspolymere ist aufgrund ihres breiten Eigenschaftsprofils enorm. Es umfasst die Bereiche Medizintechnik (stimuli-sensitive Implantate, Stents, Tissue Engineering) bzw. Medizin (minimal invasive Chirurgie)

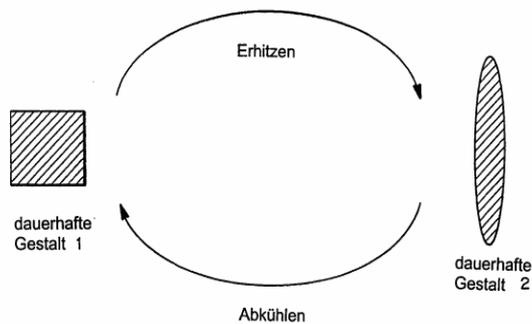
und Kosmetik bis hin zu Hochleistungstextilien und selbstreparierende Kunststoffbauteile in der Automobiltechnik.

2. Molekularer Mechanismus des Formgedächtnis-Effektes in Polymeren

Unter einem Formgedächtnis-Effekt ist die Fähigkeit eines Materials zu verstehen, in seine ursprüngliche Form entweder nach einer mechanischen Verformung, wobei es sich um einen Ein-Wege-Effekt handelt (Figur 1), oder durch Abkühlen und Erwärmen (Figur 2), wobei ein Zweiwege-Effekt vorliegt, zurückzukehren. Die Formgedächtnis-Kunststoffe erinnern sich also beispielsweise nach einer unerwünschten oder zufälligen Deformation („Delle“ in einem Kotflügel) an ihre ursprüngliche Form, welche z.B. durch einfaches Erwärmen wieder hergestellt werden kann. Dieses Phänomen basiert auf einem strukturellen Phasenübergang.



Figur 1: Prinzip des Einwege-Formgedächtnis-Effektes; aus [40].



Figur 2: Prinzip des Zweiwege-Formgedächtnis-Effektes; aus [40].

Der Formgedächtniseffekt wurde zunächst bei Metallegierungen gefunden [6], später auch bei Keramiken und Polymeren. Er ist keine spezifische Stoffeigenschaft einzelner Polymere und beruht darauf, dass eine bestimmte Polymerarchitektur mit einer speziellen Verarbeitungs- und Programmierungstechnologie kombiniert wird (Funktionalisierung des Polymers). Das Polymer wird dabei zunächst mit üblichen Verarbeitungsmethoden in seine permanente (dauerhafte) Form gebracht, anschließend deformiert und in der temporären (vorübergehenden) Form fixiert (z.B. durch Erwärmung der Probe, einer Deformation mit nachfolgendem Abkühlvorgang oder durch kaltes Verstrecken des Materials bzw. einer Deformation bei tiefer Temperatur). Dieser Vorgang wird als Programmierung bezeichnet.

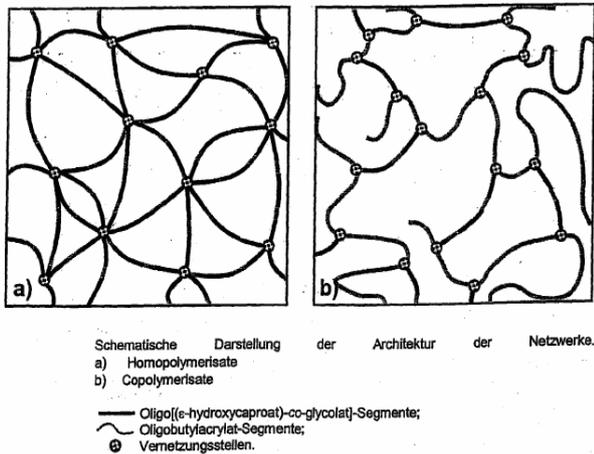
Durch Erwärmung des Materials (Polymers) über die sogenannte Schalttemperatur T_{trans} wird der thermisch induzierte Formgedächtniseffekt ausgelöst (Temperatur als Stimulus). Die gespeicherte permanente Form wird infolge seiner Entropieelastizität rückgebildet. Dieser Schritt wird als Wiederherstellung bezeichnet. Eine Verringerung der Temperatur führt zum Erhärten des Polymers, jedoch nicht zur Rückbildung der temporären Form („Einwege“-Formgedächtnis-Effekt). Durch erneutes Programmieren (z.B. durch eine mechanische Deformation) kann dem Polymer-Werkstück wieder eine temporäre Form aufgezwungen werden, welche jedoch nicht zwangsläufig mit der vorhergehenden temporären Form übereinstimmen muss [3].

Formgedächtnis-Polymere sind durch zwei grundlegende Eigenschaften gekennzeichnet. Sie besitzen Schaltsegmente, deren Phasenübergang (z.B. thermisch induziert) für den Formgedächtniseffekt ausgenutzt wird und Vernetzungspunkte, die die permanente Form bestimmen [9]. Je nach Art der Vernetzung liegen thermoplastische Elastomere (weitmaschig vernetzte Polymere) oder Thermosets bzw. Duroplaste (engmaschig vernetzte Polymere) vor. Die Polymernetzwerke der Elastomere bestehen aus amorphen Kettensegmenten, die durch Verknüpfungspunkte vernetzt sind. Die für Elastomere und damit für Formgedächtnispolymere weitmaschige Vernetzung kann irreversibel über kovalente (feste) chemische Bindungen oder reversibel physikalisch erfolgen. Diese physikalische Vernetzung erfolgt durch Verknäulung der Polymerketten oder durch intermolekulare Wechselwirkung zwischen den Ketten (z.B. Kristallisation einzelner Polymersegmente, Verglasung amorpher Bereiche, Wasserstoffbrückenbindungen). Ist die physikalische Vernetzung reversibel spaltbar (z.B. thermisch) und können die Materialien thermoplastisch verarbeitet werden, so bezeichnet man diese Polymere als thermoplastische Elastomere (Elastoplaste, Thermoplaste). Beispiele für physikalisch vernetzte Formgedächtnis-Polymere sind phasenseparierte lineare (Multi-) Blockcopolymere, beispielsweise Polyester-Urethane mit Hartsegmenten aus 4,4'-Methyl-bis-(phenyl-isocyanat) (MDI) und 1,4-Butandiol mit Weichsegmenten aus Poly(ϵ -hydroxy-caproat) bzw. Poly(2-methyl-2-oxazolin) (Hartsegment-bildende Phase) und Polytetrahydrofuran (Weichsegment-bildende Phase), aber auch reines amorphes Polynorbornen. Beim Letzteren erfolgt die Ausbildung des physikalischen Netzwerkes durch „Verschlaufen“ der hochmolekularen, linearen Ketten [3].

Die chemische Vernetzung erfolgt durch die Verwendung polyfunktioneller Monomerbausteine. Beispiele für chemisch vernetzte Formgedächtnispolymere sind thermisch vernetztes Poly(ethylen-co-vinylacetat), Copolymersysteme aus Stearylacrylat und Ester der Methacrylsäure, die durch N,N'-Methylenbisacrylamid kovalent vernetzt sind [3], vernetzte Copolymere aus Acrylat, Caprolacton und Glykolsäure [10] bzw. vernetzte

Triblockdimethacrylate aus Poly(rac-lactid) und/oder Polypropylenoxid [12].

In Figur 3 sind multifunktionelle Polymernetzwerke von Homo- (a) und Copolymerisaten (b) verschiedener Monomere mit den entsprechenden chemischen (kovalenten) Vernetzungsstellen schematisch skizziert.

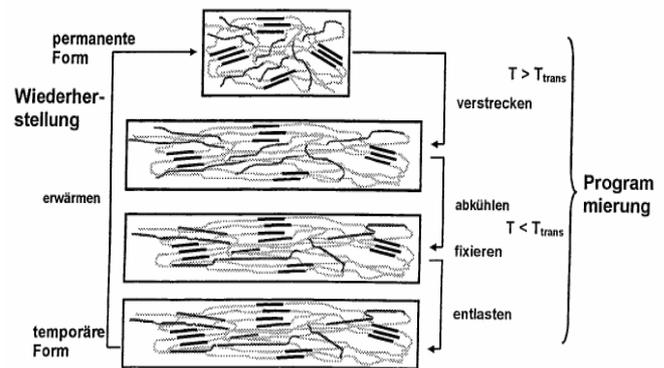


Figur 3: Schematischer Aufbau von kovalent vernetzten Polymeren; aus [41].

Die Verknüpfungspunkte eines Polymernetzwerkes legen ganz allgemein die permanente Form (dauerhafte Gestalt) der Elastomere fest. Die amorphen, nicht kristallinen „Weichsegmente“ zwischen diesen Netzpunkten bedingen das kautschukelastische Verhalten der Elastomere.

Im Falle eines thermoplastischen Formgedächtnis-Elastomers aus kristallinen Hartsegmenten (mit einem definierten Schmelzpunkt T_m) und bei der Anwendungstemperatur amorphen, kristallisierbaren Weichsegmenten (mit einer Glasübergangstemperatur T_g) dienen die Kristallite dieser Hartsegmente als Vernetzer des Polymernetzes. Der Schmelzpunkt T_m der Hartsegmente ist im Wesentlichen höher als die Glasübergangstemperatur T_g der weichen Segmente.

Figur 4 erläutert das Prinzip der molekularen Vorgänge bei einem thermosensitiven physikalisch vernetzten Formgedächtnis-Polymer (am Beispiel einer Polymermischung mit zwei unterschiedlichen Blockcopolymeren):



Figur 4: Schematischer Aufbau physikalisch vernetzter SM-Polymerer; aus [42].

Übergangstemperatur T_{trans} ist hier die Glasübergangstemperatur T_g der amorphen Schaltsegmente (hellgrau dargestellt). Ist die Temperatur höher als T_{trans} sind die Schaltsegmente amorph und flexibel. Das Material kann elastisch verformt werden. Wird die Temperatur unter T_{trans} reduziert, werden diese Segmente teilkristallin (dunkelgrau bzw. schwarz) und die temporäre Form des Formgedächtnispolymers wird fixiert. Bei der Verformung des Polymers (bzw. der Polymermischung), beispielsweise beim Strecken, werden die zuvor geknäulten Segmente geordnet. Beim Abkühlen des Materials unter die Glasübergangstemperatur der amorphen Segmente kristallisieren diese Segmente, was eine Versteifung der Struktur und damit der Form des Materials zur Folge hat. Beim Entlasten des Polymers bleibt die Verformung weitestgehend erhalten. Erhitzt man das entlastete Material wieder über die Glasübergangstemperatur der Weichsegmente, so erhält das Polymer wieder seine elastische Eigenschaft zurück und die amorphen Polymersegmente kehren wieder in die ungeordnete, geknäulte Konformation des Ausgangszustandes und damit in die Ausgangslänge der Probe zurück. Das Auslösen des Formgedächtniseffektes ist abhängig von den amorphen Weichsegmenten. Man bezeichnet diese deshalb als Schaltsegmente [2][9].

Shape-Memory-Polymerer zeigen gegenüber den Formgedächtnis-Legierungen wie z.B. Nitinol®, einer Nickel-Titan-Legierung [8], entscheidende Vorteile: Ihre Herstellung und Programmierung erfordert einen relativ geringen Aufwand, ihre Verarbeitbarkeit ist leichter und

ihre Herstellung ist wesentlich wirtschaftlicher. Formgedächtnis-Polymere sind in der Lage auch komplexere Formänderungen auszuführen. Auch bieten ihre physikalischen Eigenschaften wie gute Färbbarkeit, hohe Transparenz und eine geringere Dichte Vorteile gegenüber anorganischen Materialien [7].

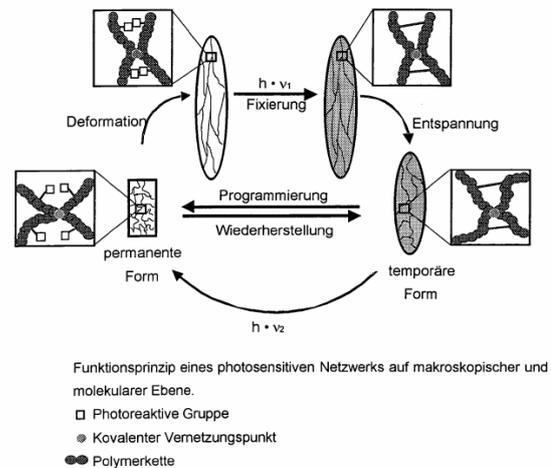
3. Lichtsensitive Formgedächtnis-Polymere

Die Mehrzahl der Formgedächtnispolymere beruht auf dem thermisch induzierten Formgedächtniseffekt. Die Limitierung auf thermische Übergänge schränkt jedoch die Anwendungsmöglichkeiten bei Polymeren ein, welche aus bestimmten Gründen ein Aufheizen des Materials nicht erlauben: Polymere mit hohen Übergangstemperaturen können bei thermischem Stress während des Programmierungsschrittes abgebaut werden. Ist das Material starken Temperaturschwankungen ausgesetzt (z.B. in extremen Klimazonen) wird unter Umständen die Übergangs- bzw. Schalttemperatur des Polymers überschritten, was zum Auslösen des Formgedächtniseffektes führt. Ferner erlaubt der Einsatz von Formgedächtnismaterialien im lebenden Gewebe nur kleinere Temperaturänderungen. Diese Gründe führten zur Entwicklung von Schalt-Mechanismen bei Shape-Memory-Polymeren, welche nicht thermisch, sondern photochemisch induziert sind [4][12][44].

Das Prinzip der Wirkungsweise der lichtsensitiven Formgedächtnispolymere basiert auf der Kontrolle der Netzwerkdicke durch einen Lichtstimulus. Die Netzwerkdicke, welche die Elastizität des Polymers definiert, ist wiederum eine Funktion der Art und Anzahl der amorphen Kettensegmente und der Vernetzungspunkte, welche, wie bereits vorstehend erwähnt, die Form des Materials festlegen.

Figur 5 zeigt das Prinzip des lichtinduzierten Formgedächtniseffektes am Beispiel eines amorphen, chemisch (kovalent) verknüpften Netzwerkes auf makroskopischer und molekularer Ebene: Dieses amorphe, chemisch verknüpfte Netzwerk ist mit photoreaktiven Gruppen ausgestattet (kovalent in das amorphe Netzwerk eingebunden oder physikalisch mit diesem vermischt), welche die lichtinduzierbaren Formgedächtniseigenschaften bewirken. Das Gerüst des

Polymers (Polymerkette) absorbiert dabei nicht die für die photochemische Reaktion erforderliche Wellenlänge. Das Netzwerk ist im Wesentlichen amorph, transparent und homogen.



Figur 5: Funktionsprinzip eines photosensitiven Formgedächtnis-Polymer-Netzwerkes; die Reaktionspfeile für „Programmierung“ und „Wiederherstellung“ sind vertauscht; aus [11].

Das Polymergerüst besteht in seiner Hauptkette aus Substituenten, die am Ende mit einer photoreaktiven Gruppe besetzt sind. Bei Bestrahlung mit UV-Licht sind diese Endgruppen in der Lage, untereinander chemische (kovalente) Bindungen auszubilden. Deformiert man das Polymer (die Knäuel der Kettensegmente des Polymers werden gestreckt und dadurch geordnet) und setzt es Licht einer geeigneten Wellenlänge λ_1 aus, wird das ursprüngliche Netzwerk zusätzlich quervernetzt, was eine temporäre Fixierung des Polymers im deformierten Zustand (Programmierung) zur Folge hat. In Figur 5 wird die Fixierung des Polymers durch den dunklen Hintergrund angedeutet. Aufgrund der Tatsache, dass die Photovernetzung reversibel ist, kann durch Bestrahlen mit einer anderen Wellenlänge λ_2 die Quervernetzung wieder gelöst und die ursprüngliche Form des Polymers wieder abgerufen werden (Wiederherstellung). Das Polymer gewinnt seine vollständige Elastizität wieder zurück. Dieser photomechanische Zyklus lässt sich beliebig oft wiederholen. Als optimale reversible Photovernetzer für photosensitive Shape-Memory-Polymere haben sich Zimtsäurederivate erwiesen [4][11].

Sind die Polymernetzwerke vollständig amorph, wie vorstehend beschrieben, kann der Aufbau der Netzwerke völlig homogen erfolgen, da keine Phasenseparation in

Weich- und Hartsegmente stattfinden muss, wie im Falle der thermoplastischen Elastomere. Diese amorphen Formgedächtnis-Polymere besitzen keinen Schmelzpunkt. Sie sind bis zu ihrer Zersetzung formstabil, was den Anwendungsbereich dieser Hochleistungspolymere bezüglich der Temperatur deutlich vergrößert.

Neben thermoplastischen Elastomeren und amorphen, kovalent verknüpften Polymernetzwerken spielen auch noch so genannte gemischt interpenetrierende (Durchdringungs-) Netzwerke (IPN) bei photosensitiven Formgedächtnis-Kunststoffen eine bedeutende Rolle. Die Formgedächtniseigenschaft wird hier durch das Mischen (Beladen) eines elastomeren Multiblockcopolymers, welches kristalline Hartsegmente und amorphe Weichsegmente ohne Photovernetzer in der Seitenkette enthält, mit einem zweiten photoreaktiven Polymer erreicht. Löst sich das photoaktive Polymer gut im phasenseparierten elastomeren Multiblockcopolymer, führt dies zur selektiven Einlagerung in die Weichsegmente des Elastomers und ermöglicht so eine photochemische, reversible Vernetzung innerhalb dieser Bereiche. Dabei muss ausgeschlossen sein, dass sich die Kristallite der Hartsegmente der Elastomere nicht mit dem photoreaktiven Polymer lösen, da dadurch die Zerstörung der Struktur und somit der Verlust der permanenten Form des Formgedächtnis-Polymers resultiert. Mischt sich die photoreaktive Polymerkomponente des Formgedächtnis-Polymers homogen mit den amorphen (weichen) Segmenten des phasenseparierten Elastomers, handelt es sich um ein semi-interpenetrierendes Netzwerk (sIPN), im Falle einer chemischen Vernetzung um ein interpenetrierendes Netzwerk [11][13]. Durch zusätzliche chemische Vernetzung (Bildung des IPN) in den Bereichen der amorphen Segmente des elastomeren Multiblockcopolymeren (Komponente 1) mit einem verzweigten und polyfunktionalen photoreaktiven Polymer (Komponente 2) nach einer mechanischen Deformierung wird die Beweglichkeit der amorphen Segmente und damit die Elastizität dieser Bereiche bis hin zu einer Fixierung vermindert (Programmierung des Formgedächtnis-Polymers; temporäre Form).

Als Beispiel einer photoaktiven Komponente innerhalb eines IPN-Formgedächtnis-Polymers sind insbesondere

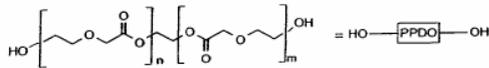
sternförmige und verzweigte Polyester-makromonomere mit mehreren photovernetzbaaren Gruppen an jedem Kettenarm auf der Basis von Poly(propylenglycol)-dimethacrylaten oder Zimtsäurederivaten zu nennen. Als elastische Multiblockcopolymere in IPNs werden Polyurethane auf der Basis von Caprolacton und Pentadecalacton und zusätzliche Esterkomponenten u.a. auf der Basis von p-Dioxanon verwendet [11][13].

4. Bioabbaubare Formgedächtnis-Polymer-systeme

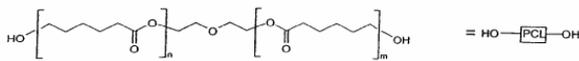
Für die biomedizinische Anwendung von Formgedächtnispolymeren ist es notwendig, dass diese biokompatibel und in den meisten Fällen biologisch abbaubar sind (z.B. durch Einwirken lassen von Wasser oder von Enzymen unter physiologischen Bedingungen). Darüber hinaus ist ein thermischer Übergang der jeweiligen Schaltsegmente im Bereich Raumtemperatur und Körpertemperatur von entscheidender Bedeutung. Ferner ist es erwünscht, dass sich im Gegensatz zu den bisher bekannten abbaubaren polymeren Materialien auch die mechanischen Eigenschaften nahezu uneingeschränkt variieren lassen. Als geeignete Polymersysteme, die diese Voraussetzungen erfüllen, haben sich phasensegregierte Multiblockcopolymere mit harten und weichen Polymersegmenten herausgestellt, wobei die Abbaugeschwindigkeit durch den Einbau leicht hydrolysierbarer Ester-, Amid-, Anhydrid-, Carbonat- oder Orthoester-Bindungen zwischen den Polymersegmenten gesteuert wird [14][15]. Dies wird im Speziellen realisiert durch Multiblock-Copolyester von Makrodiolen aus cyclischen Diestern und Lactonen (Dilactid, Glykolid, p-Dioxanone) mit einem niedermolekularen Diol. Als ein Beispiel für ein bioabbaubares thermoplastisches Elastomer mit Formgedächtniseigenschaften ist ein Multiblock-Copolymer mit kristallisierbaren Hartsegmenten aus Poly(p-dioxanon) und einem amorphen Schaltsegment aus einem Copolymer aus L-Milchsäure und Glykolsäure (Poly[(L-lactid)-co-glycolid]) zu nennen.

Ein bioabbaubares AB-Polymernetzwerk mit Formgedächtnis auf der Grundlage von Oligo-(ϵ -caprolacton)diolen als kristallisierbares Schaltsegment ist ebenfalls Stand der Technik. In diesem Fall werden Oligo(ϵ -caprolacton)diole mit polymerisierbaren Methacrylat-

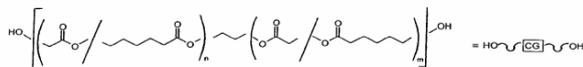
Endgruppen funktionalisiert und mit n-Butylacrylat (Weichsegment) vernetzt [3][9][14]. In den Figuren 6 bis 8 sind die molekularen Strukturen von möglichen Hart- und Weichsegmenten von bioabbaubaren Formgedächtnispolymeren dargestellt.



Figur 6: Struktur von Poly(p-Dioxanon) als mögliches Hartsegment in bioabbaubaren SMPs; aus [42].



Figur 7: Struktur von Poly(ε-caprolacton) als mögliches Hartsegment in bioabbaubaren SMPs; aus [42].



Figur 8: Struktur von Poly(ε-caprolacton-glykolid) als mögliches Weichsegment in bioabbaubaren SMPs; aus [42].

5. Anwendungsgebiete von Shape-Memory-Polymeren

Formgedächtnispolymere zeigen ein breit gefächertes Anwendungsgebiet in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens, insbesondere im Bereich Biowissenschaften und stellen eine Schlüsseltechnologie für zukünftige Anwendungen dar.

5.1. SMPs in der Medizintechnik

Der Hauptanwendungsbereich von Formgedächtnispolymeren liegt derzeit in der Medizintechnik, insbesondere auf dem Gebiet der Implantatmaterialien. Abbaubare Implantate auf der Basis von Formgedächtnispolymersystemen können in ihrer komprimierten (temporären) Form durch einen kleinen Schnitt (Inzision) in den Körper eingeführt werden. Dort können sie ihre permanente (gespeicherte), für die jeweilige Anwendung relevante Form nach Erwärmen auf Körpertemperatur annehmen. Das Implantat wird entsprechend der Polymerzusammensetzung nach einer bestimmten Zeit abgebaut. Eine zweite Operation zur Entfernung dieses Implantats ist dadurch nicht mehr erforderlich. Im Bereich der minimal invasiven Chirurgie sind besonders Nahtmaterialien bzw. resorbierbare Klemmen (Clips) und Heftklammern (Staples) von

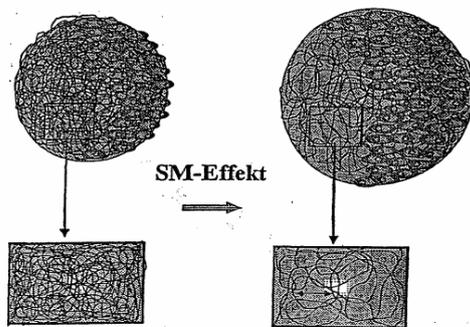
Interesse, die steif genug sind, um die Einführung in das Gewebe zu erleichtern, bei Erreichen der Körpertemperatur jedoch weich werden und eine zweite Form annehmen, die für den Patienten wesentlich angenehmer ist und ein Ausheilen trotzdem ermöglicht [16][46].

Eine weitere medizintechnische Anwendung von Shape-memory-Polymeren liegt auf dem Gebiet der Katheter, die im festen Zustand in den Körper eingeführt werden, dort erweichen, flexibel und somit für den Patienten angenehmer werden [15][25].

Tubuläre Gewebestützen bzw. endoluminale Gefäßprothesen (Stents) auf der Basis eines SMP-Materials werden zur Behandlung verstopfter oder verengter Hohlgänge oder nach operativen Eingriffen verwendet. Diese Stents dienen dazu, eine verengte Stelle aufzuhalten oder die Funktion des verletzten Hohlorgans zu übernehmen, sodass wieder ein normaler Durch- oder Abfluss von Körperflüssigkeiten möglich ist. Stents werden in komprimierter (temporärer) Form in den Körper eingesetzt (z.B. via Ballon-Katheter) und an der gewünschten Stelle wieder aufgespannt. Stents mit SMP-Eigenschaften ermöglichen es im Gegensatz zu metallischen Formgedächtnismaterialien, wie z. B. Nitinol®, dass nach der minimal-invasiven Implantierung auch eine schonende Entfernung möglich ist [17][18][19][20][47][48][49].

Als weitere viel versprechende Anwendungsmöglichkeit für Formgedächtnispolymere ist das Tissue Engineering (Gebetetechnik) zu nennen [21]. Hier werden SMPs zum Gerüstbau von skelettartigen Muskeln, Knorpeln oder Nerven verwendet. Die für die Gewebezüchtung verwendeten Zellen werden zusammen mit eventuell für das Gewebewachstum erforderlichen bioaktiven Substanzen wie z.B. Wachstumsfaktoren, Haft-Proteinen und zell-differenzierenden Faktoren auf einem geeigneten SMP-Gerüst „ausgesät“ und in einen „Bioreaktor“ für die Zellvermehrung (Proliferation) gegeben. Anschließend wird durch einen äußeren Stimulus (Temperatur, Licht) der Formgedächtniseffekt des Polymers ausgelöst. Dabei wird die äußere Form und/oder das Volumen des SMP-Gerüsts verändert, wodurch auf das aufgewachsene Gewebe mechanische Kräfte wirken, die eine Orientierung und/oder Differenzierung der heranwachsenden Zellen

induzieren und/oder bioaktive Substanzen, die innerhalb des SMP-Gerüsts enthalten sind, freisetzt. Dies wiederum ermöglicht in-vivo u.a. die Orientierung von Knorpel- und/oder Muskel-Gewebe, das auf das SMP-Gerüst gewachsen ist, ohne die Notwendigkeit der invasiven Chirurgie. Die Form des SMP-Gerüsts kann hierbei je nach Anwendung eine Kugel, ein Pellet, ein Stab, ein Film oder ein Röhrchen sein. Bevorzugte Zelltypen sind u.a. mesenchymale adulte Stammzellen, Muskel-Stammzellen sowie bereits differenzierte Zellen wie Epithel-Zellen und Herzmuskelzellen. Figur 9 zeigt, dass eine Trennung von gewachsenen Zellen und/oder Gewebe von SMP-Teilchen (Gerüst) durch Induzieren eines Formgedächtnis-Effekts und/oder eines Abbau-Effekts erreicht werden kann



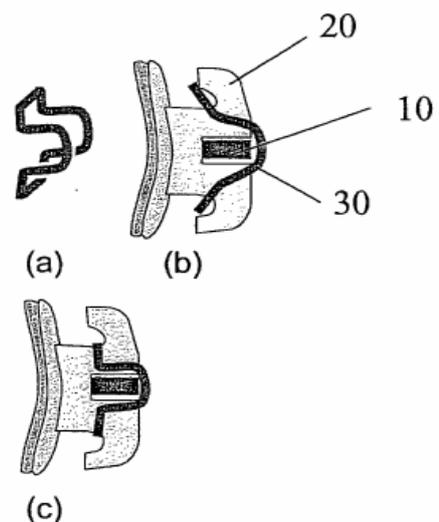
[22].

Figur 9: Formgedächtnis-Polymer Kugelchen mit aufgewachsenen Zellen und/oder Gewebe beim Tissue-Engineering vor und nach dem Auslösen des Formgedächtnis-effektes; aus [22].

Ähnlich wie beim Tissue Engineering können Arzneimittelzuführungs- bzw. Freisetzung-Einrichtungen auf thermosensitiver SMP-Basis zur kontrollierten Wirkstofffreisetzung eingesetzt werden, beispielsweise bei Erkrankungen, die chronisch schubweise verlaufen und mit Fieberschüben verbunden sind (Malaria, Autoimmunerkrankungen). Vorteil gegenüber den konventionellen polymeren Wirkstofffreisetzungssystemen ist hier, dass durch Ausnützung des Formgedächtniseffektes sperrige Wirkstofffreisetzung-Implantate minimalinvasiv eingeführt werden können und darüber hinaus eine Wirkstofffreisetzung bei Bedarf möglich ist. Letztere kann erreicht werden, wenn durch einen externen Stimulus (Temperatur, Licht) das Diffusionsverhalten des SMP-Materials innerhalb des

Wirkungsfreisetzungssystems geändert wird (z. B. Zerstörung der SMP-Membran oder des SMP-Wirkstoffüberzugs oder Änderung der Durchlässigkeit derselben durch Veränderung der Porengröße oder der Kristallinität) [23].

Weitere medizinische Anwendungen von Formgedächtnispolymeren sind orthodontische Vorrichtungen, wie Ligaturen und kieferorthopädische Drähte. Auch hier wird der Effekt ausgenutzt, dass diese Materialien im festen, stabilen Zustand in den Körper eingebracht werden, dort „erweichen“, flexibel werden und wieder in den permanenten, stabilen Ausgangszustand gebracht werden können [24]. Figur 10 zeigt die Ligatur einer Zahnsperre bestehend aus einem SMP-Material (30). Ligaturen werden verwendet, um die Drähte der Zahnbrücken (10) in den Brackets (20), die an den jeweiligen Zähnen befestigt sind, aufzunehmen. Als permanente Form der SMP-Ligatur ist hier eine geschlossene Schleifenform „Ω“ dargestellt. Wird die Ligatur (30) in ihrer programmierten temporären Form (b) eingesetzt und auf die Übergangstemperatur des Shape-Memory-Polymers erhitzt, wird der Formgedächtniseffekt ausgelöst, sodass sich wieder die gewünschte permanente Form (c) bzw. (a) einstellt. Die Ligatur ist damit optimal fixiert.

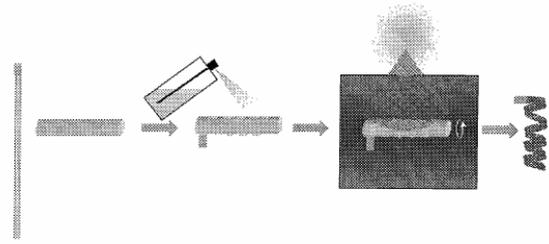


Figur 10: Der Formgedächtniseffekt am Beispiel einer SMP-Ligatur bei Zahnsperren; aus [24].

Eine weitere medizinische Anwendung von SMP-Werkstoffen ist im Bereich der Herstellung von Gießformen für Kontaktlinsen gegeben. Polymere Formmaterialien mit Shape-Memory-Effekt zur Herstellung von ophthalmischen Linsen ermöglichen eine Reduktion des Linsenformenvorrats, da diese SMP-Gießformen zur Herstellung von verschiedenen ophthalmischen Linsen umgestaltet und wieder verwendet werden können. Darüber hinaus kann durch Aufwärmen der SMP-enthaltenden Form zur Herstellung ophthalmischer Linsen über dessen Übergangstemperatur T_g die Form wieder freigelegt werden, so dass das ophthalmische Produkt ohne den üblichen mechanischen Entformschritt freigelegt werden kann [26].

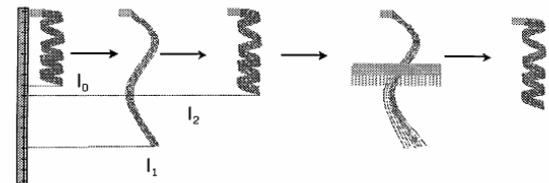
5.2. Nicht medizinische Anwendungen von SMPs

Auch im Bereich Kosmetik bieten sich für Formgedächtnis-Polymere vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, da auch bei der Formgebung von Haaren zwischen temporärer und dauerhafter Haarverformung differenziert wird. Konventionelle Haar festigende Polymere haben den Nachteil, dass die gewünschten Effekte (Elastizität, Volumenvergrößerung, Sprungkraft, Glanz etc.) nur von relativ kurzer Dauer sind und durch äußere Einflüsse (Wetter, darauf schlafen) schnell wieder verloren gehen. Eine erneute Anwendung des Styling-Produktes (Polymerlösung bzw. -dispersion) ist erforderlich. Darüber hinaus ist es bei einer gewünschten Dauerwellbehandlung erforderlich, mit Reduktions- und Oxidationsmitteln Disulfidbindungen zu spalten bzw. anschließend die gewünschte neue Haarform zu fixieren, was mit einer Beeinträchtigung der natürlichen Haarstruktur einhergeht. Eine Umformung von einer Frisurenform in eine andere ist ohne größeren Aufwand nicht möglich. Haarsprays, Schaumfestiger bzw. Aerosol-Föhn-Lotionen auf der Basis eines SMP-Materials können diese Nachteile weitestgehend vermeiden [27] bis [31]. Figur 11 zeigt schematisch ein mögliches Verfahren zur Herstellung einer abrufbaren permanenten Frisurenform mit einer SMP-Zusammensetzung. Eine Haarsträhne wird auf einen Drehkörper gewickelt und mit einer SMP-enthaltenden Lösung besprüht. Durch Bestrahlung mit einer geeigneten Energiequelle, z.B. einer UV-Lampe wird die gewünschte permanente Form fixiert. Abschließend wird der Wickelkörper entfernt.



Figur 11: Verfahren zur Herstellung einer abrufbaren, aufgeprägten, permanenten Frisurenform mit einer SMP-Zusammensetzung, aus [31].

Figur 12 zeigt die Deformation einer permanenten Frisurenform und Wiederherstellung der permanenten Form aus der temporären Form (z.B. glatt). Die Haarlocke in der permanenten Form hat die Länge l_0 . Die Locke in der deformierten, temporären Form hat die Länge l_1 . Die Locke in der wiederhergestellten, permanenten Form hat die Länge l_2 . Zur wiederholten Herstellung einer temporären Form, wird die gelockte Strähne erneut erwärmt, auf ihre volle Länge gestreckt (deformiert) und auf Raumtemperatur abgekühlt.



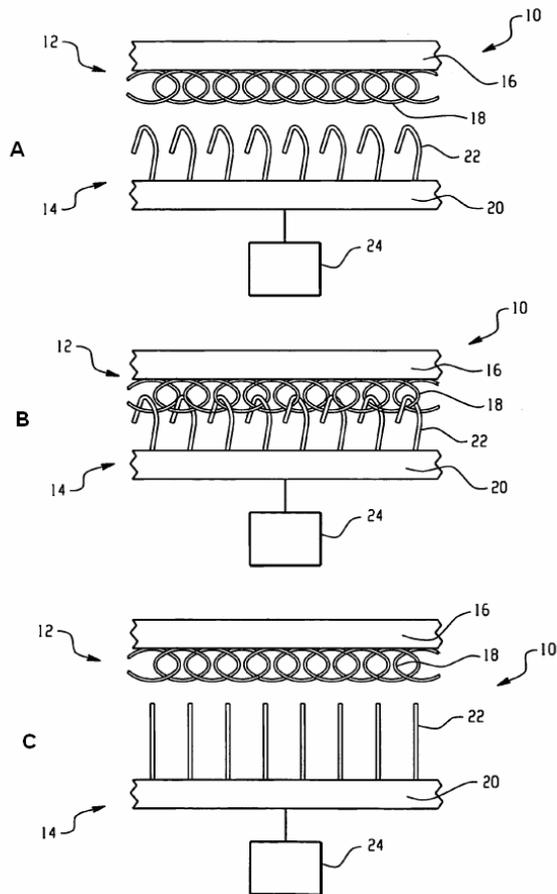
Figur 12: Deformation einer permanenten Frisurenform (Länge l_0) und Wiederherstellung der permanenten Form (Länge l_2) aus der temporären Form (Länge l_1) unter Anwendung einer SMP-Zusammensetzung; aus [31].

Da nicht nur die äußere Form, sondern auch Eigenschaften wie Wasserdampfpermeabilität und mechanische Dämpfung beim Formgedächtnisübergang großen Änderungen ausgesetzt sind, eignen sich SMP-Materialien auch in der Textilindustrie, z.B. für Wasser abweisende und Feuchtigkeit transportierende Textilien bei Sportkleidung und Sanitärwäsche [32][33] bzw. bei Schuhsohlen für Sportschuhe [45].

Auch als Aktuatoren zur Steuerung der Elastizität von Autositzen [34], zur Regulierung von Öldruckverminderungsventilen [37], Verriegelungs- bzw. Öffnungsvorrichtungen bei Fahrzeugen (z.B. Autotüren, Motor-

hauben, Heckklappen und Sonnendächer) [39], Flüssigkeitskreisläufen [35][36] und Schnellverschlüssen sind SMP-Werkstoffe geeignet [38].

Figur 13, Teil A, zeigt schematisch den strukturellen Aufbau einer reversiblen Fahrzeug-Schließvorrichtung 10 welche aus einem Schlaufenelement 18 und „Hakenelementen“ 22 (Verriegelungs- bzw. Öffnungselemente) besteht, wobei die „Hakenelemente“ aus einem SMP-Material bestehen.



Figur 13: Steuerung einer Verschluss- bzw. Öffnungsvorrichtung durch reversible Aktivierung/-Deaktivierung der SMP-Elemente 22; aus [39].

Der reversible Verriegelungsmechanismus dieser SMP-basierten Schließvorrichtungen beruht auf der Änderung der Form, Größe und Elastizität des jeweiligen Formgedächtnispolymers. Der Formgedächtniseffekt wird mittels eines Steuerungsgeräts 24 (externer Stimulus) ausgelöst, welcher eine Temperaturänderung, ein elektrisches oder magnetisches Feld oder einen mechanischen Stress erzeugen kann. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden: In Figur 13, Teil B, ist das

SMP Material 22 in seiner temporären Form J-förmig als Haken ausgestaltet und in das Schlaufenelement 18 eingehängt. Der Gegenstand befindet sich in einem geschlossenen Zustand. Mittels Steuergerät 24 wird eine Temperaturerhöhung ausgelöst, was dazu führt, dass sich die Gestalt des SMP-Elementes 22 von einer J-Form zu einer linearen Form (Figur 13, Teil C) ändert, was zur Folge hat, dass die Verknüpfung zum Schlaufenelement aufgehoben ist. Der Gegenstand ist nun im geöffneten Zustand.

Literatur

- [1] OTSUKA, K., WAYMANN, C.M. [Hrsg.]. Shape Memory Materials. - Cambridge University Press, Cambridge, 1998. ISBN 0-521-44487-X.
- [2] LENDLEIN A., KELCH, S. Shape-Memory Polymers. - Kroschwitz, J. I. [Hrsg.], Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Wiley-VCH, New York, 2001, 3. Aufl., 125-136.
- [3] LENDLEIN, A., KELCH, S. Formgedächtnispolymere. - In: Angew. Chem., 2002, Band 114, 2138-2162.
- [4] LENDLEIN, A., JIANG, H., JÜNGER, O., LANGER, R. Light-induced shape-memory polymers. - In: Nature, 2005, Band 434, 879-882.
- [5] YU, Y., IKEDA, T. Photodeformable polymers: A new kind of promising smart material for micro- and nano-applications. - In: Macromol. Chem. Phys. 2005, Band 206 (17), 1705-1708.
- [6] MANTOVANI, D. Shape Memory Alloys: Properties and Biomedical Applications. - In: JOM, Okt. 2000, 36-44.
- [7] WIE, Z.G., SANDSTRÖM, R., MIYAZAKI, S. Shape-memory materials and hybrid composites for smart systems. - In: J. Mater. Sci., 1998, Band 33, 3743-3783.
- [8] US 31 74 851.
- [9] LENDLEIN, A., SCHMIDT, A.M., LANGER R. AB-polymer networks based on oligo(ϵ -caprolactone) segments showing shape-memory properties. - In: Proc. Natl. Acad. Sci., 2001, Band 98, 842- 847.
- [10] DE 102 08 211 A1.
- [11] DE 103 00 271 A1.
- [12] DE 102 53 391 A1.
- [13] DE 102 17 351 B3.
- [14] LENDLEIN, A. Polymere als Implantatwerkstoffe.

– In: Chem. Unserer Zeit, 1999, Band 33, 279-295.

- [15] DE 699 17 224 T2.
- [16] WO 2003/088818 A2.
- [17] DE 103 57 742 A1.
- [18] DE 103 57 743 A1.
- [19] DE 103 57 744 A1.
- [20] DE 103 57 747 A1.
- [21] WO 01/91822 A1.
- [22] DE 601 05 593 T2.
- [23] WO 2004/006885 A2.
- [24] WO 2006/071520 A2.
- [25] WO 02/051488 A2.
- [26] DE 602 06 739 T2.
- [27] DE 102 15 858 A1.
- [28] DE 102 28 120 B4.
- [29] DE 103 34 823 A1.
- [30] DE 103 34 784 A1.
- [31] DE 103 34 788 A1.
- [32] US 2005/0172378 A1.
- [33] DE 697 09 919 T2.
- [34] US 2005/0218710 A1.
- [35] US 2005/0202194 A1.
- [36] US 2005/0199055 A1.
- [37] US 2005/0199845 A1.
- [38] US 2005/0246873 A1.
- [39] US 2005/0275253 A1.
- [40] DE 699 17 224 T2.
- [41] EP 1 338 613 A1.
- [42] DE 103 16 573 A1.
- [43] EP 1 284 756 B1.
- [44] HELFMANN, J., BROZINSKI, T. Thermische Wirkungen. – In: BERLIEN, H.P., MÜLLER, G. [Hrsg.], Angewandte Lasermedizin, Lehr- und Handbuch für Praxis und Klinik, ecomed Verlagsgesellschaft ,1989; ISBN 3-609-70510-8.
- [45] WO 02/083767 A1.
- [46] LENDLEIN, A., LANGER, R. Biodegradable, Elastic Shape Memory Polymers for Potential Biomedical Applications. – In: Science, 2002, Band 296, 1673-1676 (online veröffentlicht 25. April 2002 [DOI: 10.1126/science.1066102 (in Reports)]).
- [47] EP 1 527 753 A2.
- [48] WO 2006/044396 A2.
- [49] US 5 330 483 A.

Elektronische Schaltvorrichtungen für Kraftfahrzeuggetriebe

Thomas Schäfer, Abt. 1.14

Der Beitrag befasst sich mit der Entwicklung von elektronischen Schaltvorrichtungen für Kraftfahrzeuggetriebe, sogenannten Shift-by-Wire-Schaltvorrichtungen.

1. Einführung

Automobile werden zunehmend mit elektronischen Steuereinrichtungen ausgestattet. Dies betrifft auch Fahrbefehle wie Lenken, Gasgeben, Bremsen, Kuppeln und Schalten. Als Oberbegriff für diese genannten Teilaufgaben steht der Begriff Drive-by-Wire, gelegentlich auch als X-by-Wire bezeichnet, wobei das X stellvertretend für die verschiedenen Fahrbefehle steht.

Mit Drive-by-Wire wird also zusammenfassend die Elektronik, Sensorik, Aktuatorik sowie die Mess-, Steuerungs-, und Regelungs-Technik im Kraftfahrzeug für die verschiedenen Teilaufgaben bezeichnet:

- Steer-by-Wire (Elektronisches Lenken),
- Cruise-by-Wire (Elektronisches Gaspedal),
- Brake-by-Wire (Elektronisches Bremsen),
- Shift-by-Wire (Elektronisches Schalten/Kuppeln).

Während sich die Entwicklung in den Bereichen Steer-by-Wire und Brake-by-Wire noch in der Erprobungsphase befindet, sind Shift-by-Wire-Schaltvorrichtungen bereits in zahlreichen Ausführungsvarianten zur Serienreife gelangt. Sie weisen gegenüber den herkömmlichen Schaltvorrichtungen, bei denen eine mechanische Verbindung in Form einer Schaltstange oder in Form von einem oder mehreren Seilzügen zwischen Schalthebel und dem Getriebe besteht, einige wesentliche Vorteile auf:

- Frei wählbare Platzierung der Schaltvorrichtung im Fahrzeuginnenraum,
- Freie Festlegung von Schaltschemata,
- Realisierung einer Vielzahl von Funktionen auf engstem Raum,
- Erzeugung von Schaltkräften ohne Rückwirkung auf den Schalthebel,

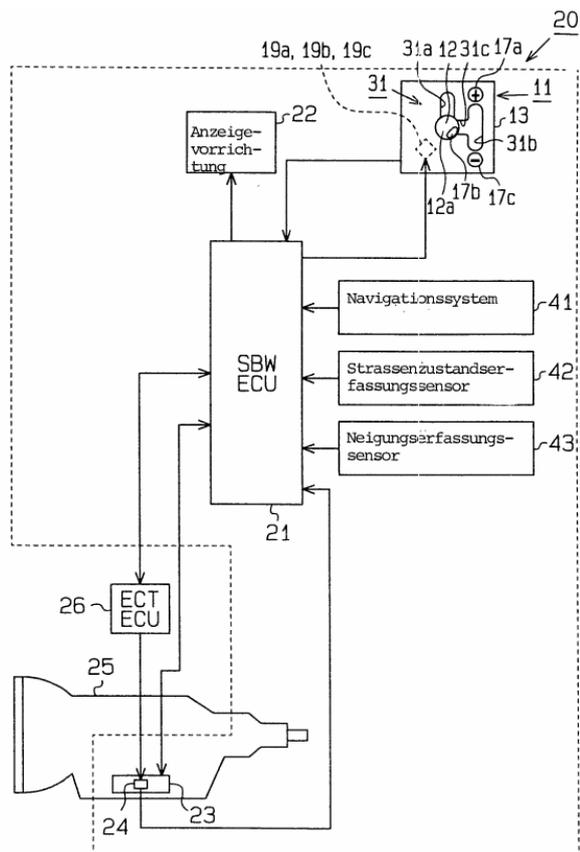
- Entkopplung von lästigen Vibrationen des Antriebsstranges.

2. Aufbau des Gesamtsystems

Ein Getriebesystem mit elektronischer Schaltungssteuerung für ein Kraftfahrzeug besteht aus den folgenden Funktionselementen (Figur 1), [1], [5]:

- Getriebe (25) und Anfahr-/Schaltkupplung(en),
- Aktuatoren (23) zur Betätigung der Anfahr-/Schaltkupplung(en),
- Elektronischen Steuergerät(en) (21, 26) zur Ansteuerung der Aktuatoren,
- Schaltvorrichtung (11), die den Schaltwunsch des Fahrers an das elektronische Steuergerät übermittelt.

Die Signalerzeugung für das Schalten erfolgt in der Schaltvorrichtung (Bedien- oder Betätigungsverrichtung) mittels Betätigung beispielsweise eines Schalthebels durch den Fahrzeugbediener. Die Betätigungsbewegung wird mittels verschiedener Prinzipien berührungslos oder mit Kontakten (induktive, kapazitive, resistive oder optische Sensoren, Mikroschalter, Schleifkontakte) in ein elektrisches Signal gewandelt. Diese Ausgangssignale können von analoger oder digitaler Art sein. Sie werden in dem elektronischen Getriebesteuergerät verarbeitet und als Ansteuersignale an die Aktuatoren aufbereitet. Die Aktuatoren können elektro-mechanisch, elektro-hydraulisch oder elektro-pneumatisch ausgeführt sein. Das zu schaltende Getriebe kann beispielsweise ein konventioneller Getriebeautomat (Planetenge triebe) ein Doppelkupplungsgetriebe (Direktschaltgetriebe) oder ein stufenloses Getriebe (CVT) sein.



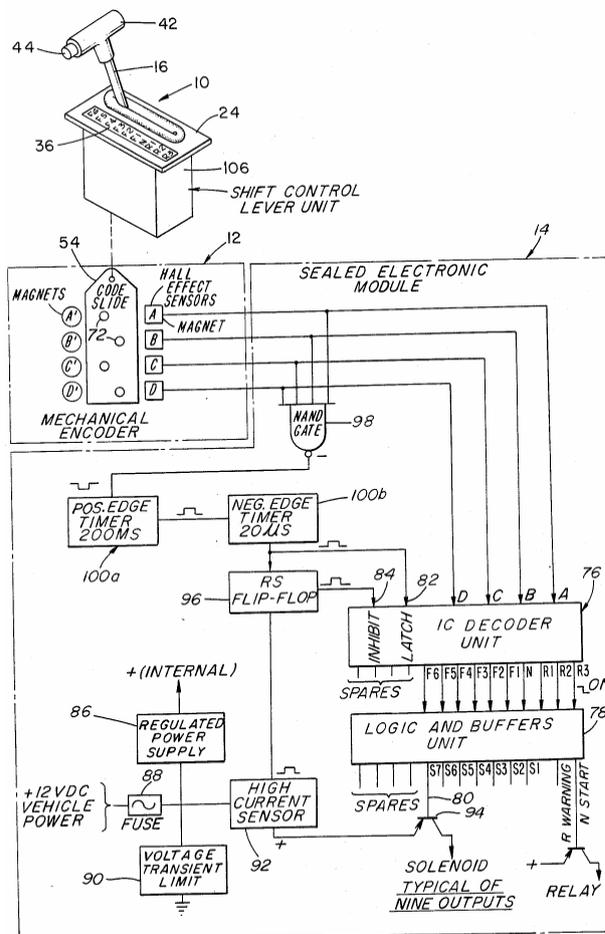
Figur 1: Übersicht Getriebesteuerung mit Shift-by-Wire (DE 102 09 546 A1).

2.1. Schaltvorrichtungen: Mechanik und Sensorik

Die Gestaltungsmöglichkeiten bei den Schaltvorrichtungen sind vielfältig in jeder Hinsicht (Mechanik, Sensorik, Haptik, Kinematik). Zum Einsatz kommen Schaltvorrichtungen mit kardanischer Schalthebeleragerung oder Linearführung, Drehschalter, Lenkstockschalter, Kulissenschaltvorrichtungen mit Schrittschaltmodus (Tiptronic®), auch in Verbindung mit Tastern oder Paddeln am Lenkrad.

Die Signalerzeugung mittels des Hallprinzips hat weite Verbreitung gefunden (Figur 2). Durch die Betätigung des Schalthebels (16) wird eine codierte Schieberplatte (54) bewegt, deren Codierung (72) es ermöglicht, dass das jeweilige Schaltsignal durch am Schalthebelgehäuse fest angeordnete Hallensoren (A-D) und Magneten (A'-D') generiert wird. Durch entsprechende Codierung der Schieberplatte können verschiedene Schaltfunktionen (Anzahl der Schaltpositionen) und Plausibilitätsprüfungen realisiert werden. Die damit erzeugten Binär-Signale werden in einer Dekodiereinrichtung (76) verarbeitet und

über die elektronische Steuereinheit (78) für eine Ansteuerung der Schaltaktuatoren des Getriebes aufbereitet.

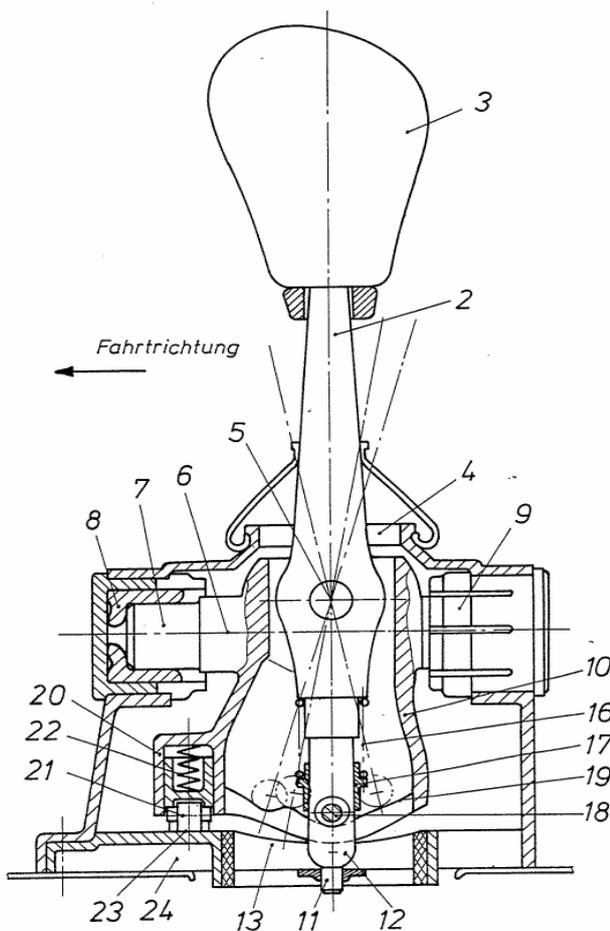


Figur 2: Signalerzeugung und -aufbereitung (US 4 610 179 A).

Ein Beispiel für die Schaltsignalerzeugung mittels Mikroschaltern wird in DE 196 37 533 A1 gezeigt. Bei dieser Schaltvorrichtung für Arbeitsmaschinen mit mehrstufigen Schaltgetrieben sind am Schalthebel zwei Schaltnocken angebracht, die Mikroschalter betätigen, deren Signal ein Hoch- oder Rückschalten bewirkt. Zum Schalten in die Vorwärts-, Neutral- und Rückwärts-Stellung wird über ein Rastenblech jeweils ein weiterer Mikroschalter aktiviert.

Zum Schalten eines halbautomatischen Getriebes kann eine Schaltvorrichtung benutzt werden, die einen kardanisch gelagerten Schalthebel aufweist (Figur 3). Das als Stift (11) ausgebildete untere Ende des Schalthebels (2) führt eine Steuerfahne, die mit Signalfächern (Reflexionsflächen) versehen ist. Zur Schaltsignalerzeugung wirken die Signalfächern mit

optischen Sensoren zusammen. Die Signalaufbereitung wird über eine Binärmatrix realisiert, wobei jeder Schaltstufe eine Binärcodierung entspricht. Durch Rastierungsvorrichtungen in beiden Bewegungsrichtungen des Schalthebels wird dem Fahrzeugführer das von mechanischen Schaltvorrichtungen vertraute „Schaltgefühl“ vermittelt. Die Rastierungsvorrichtungen bestehen aus Rollen (21) oder Kugeln, die mittels Druckfedern (16, 22) auf eine definiert profilierte Oberfläche (19, 23) wirken.



Figur 3: Shift-by-Wire-Schaltvorrichtung mit Rastierung (DE 196 08 981 A1).

Eine Schaltvorrichtung für ein Automatikgetriebe mit Zusatzfunktionen wie z. B. Tiptronic® (optionale Schrittschaltgasse) oder der Schaltung von Hochschaltbegrenzungsstufen besteht aus einer Kulissenschalteinheit mit einer in Längsrichtung geführten Schieberplatte mit einem Schleifer und einem Schaltsegment. An der Schieberplatte ist ein Querschleifer angeordnet. Der Schleifer kontaktiert bei Bewegungen der Schieberplatte in der Längsrichtung Schleifbahnen auf

einer Leiterplatte. Das Schaltsegment kontaktiert bei Bewegungen des Querschleifers in Querrichtung die entsprechenden Schleifbahnen. Die erzeugten Signale werden an eine Auswerteelektronik weitergeleitet, die ebenfalls auf der Leiterplatte angeordnet sein kann (DE 101 13 534 B9).

2.2. Redundanz

Aufgrund der fehlenden mechanischen Kopplung von Schaltvorrichtung und Getriebe ist bei Shift-by-Wire-Schaltvorrichtungen eine hohe Funktionssicherheit erforderlich, um Fehlfunktionen zu vermeiden und zumindest die wichtigsten sicherheitsrelevanten Schaltfunktionen in jedem Fall sicher aktivieren zu können. Hierzu ist auch eine Diagnosemöglichkeit der Sensoren und der zugeordneten Bauteile wünschenswert, so dass ein Defekt frühzeitig erkannt und der Fahrer über den Defekt und über eine möglicherweise damit verbundene Funktionseinschränkung der Schaltvorrichtung informiert werden kann.

Bei einer Tiptronic®-Schaltung kann dies dadurch erreicht werden, dass eine „statische Diagnose“ der einzelnen Positionsgeber (hier Hallsensoren) im Ruhezustand des Fahrzeugs erfolgt. Bei Aktivierung der Elektronik durch den Fahrer findet eine Überprüfung aller Positionsgeber in der Tiptronic® mithilfe der Signale eines zusätzlichen, geometrisch speziell ausgebildeten Dauermagneten statt. Zur Überprüfung der Sensoren ist somit keine Schalthebelbewegung mehr erforderlich („dynamische Diagnose“), so dass Fehler frühzeitig erkannt werden. Eine Fehlermeldung löst dann ein akustisches und/oder optisches Warnsignal aus (EP 1 240 446 B1).

Eine andere Möglichkeit der Realisierung einer redundanten Schaltstellungserfassung wird in DE 197 48 131 C2 beschrieben (Figur 4). Wesentlicher Bestandteil dieser Schaltvorrichtung ist eine am Schalthebel befestigte Geberscheibe (4). Unterhalb der Geberscheibe ist eine nach oben abstrahlende Beleuchtungseinrichtung (5) angeordnet. Oberhalb der Geberscheibe ist eine als Sensorarray vorgesehene optische Sensorzeile (6) zur Abtastung des von der Beleuchtungseinrichtung emittierten, durch die Geberscheibe tretenden Lichtes, angeordnet. In die Geberscheibe sind Ausnehmungen (8)

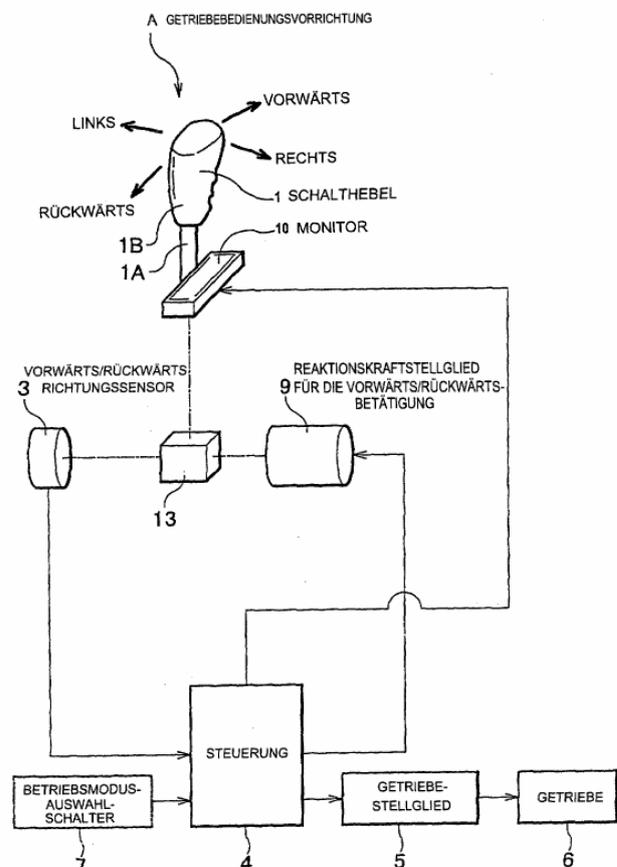
Um den Montage- und Wartungsaufwand sowie die Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Bedienbarkeit zu verbessern, wird bei einer Tiptronic®-Schaltung ein Tippschaltmodul in Form einer kompakten modularen Baueinheit ausgebildet, welches zur Aufnahme und Fixierung der darin angeordneten mechanischen und elektronischen Baugruppen vorgesehen ist. Mittels einer Rollenführung, einer Rolle und einer Andruckfeder kann ein Druckpunkt und eine Kraft-Weg-Kennlinie des Wählhebels realisiert werden. Die Signalerzeugung wird über einen mehrspurig codierten Magneten in Verbindung mit den auf einer Platine angeordneten Hallensensoren realisiert (DE 10 2004 006 150 B3).

Die Integration von Zusatzfunktionen in die Schaltvorrichtung wird vorangetrieben, um die Vielzahl von Schaltern und anderen Bedienelementen in einem Kraftfahrzeug zu reduzieren. Durch eine solche Reduzierung soll der Fahrer eine bessere Übersicht über die Fahrzeugfunktionen erhalten. Darüber hinaus erschließen sich neue Design-Varianten sowie die Möglichkeit, Kostenreduzierungen zu erzielen. So wird eine Betriebsarten-Wähleinrichtung für ein Automatikgetriebe vorgeschlagen, bei der ein zusätzlicher Sensor zur Erkennung eines Fahrberechtigungs-Codes in der Handhabe vorgesehen ist. Der Sensor erkennt die berechtigte Person anhand eines Codes oder von charakteristischen Handmerkmalen. Nur bei Übereinstimmung des Codes oder der charakteristischen Handmerkmale schaltet das Steuergerät die Schaltvorrichtung in einen betriebsbereiten Zustand (DE 100 03 140 C1). Eine andere Möglichkeit ist ein kombinierter Motor- und Getriebeschalter, mit dem sowohl der Fahrzeugmotor angelassen und ausgeschaltet als auch die Betriebszustände des Getriebes aktiviert werden können. Das Bedienelement ist hierzu als kombinierter Dreh-Tasterknopf ausgebildet (DE 197 47 269 A1).

Ein neuartiges Bedienkonzept, bei dem die Vorteile der Mechatronik und die Möglichkeiten der Miniaturisierung genutzt werden können, wird in DE 198 21 403 B4 vorgestellt. Die gesamte Sensorik ist in einem kugelförmigen Schaltknopf angeordnet. An dem Schaltknopf ist ein Oberteil über ein Kreuzgelenk schwenkbar gelagert, durch dessen Betätigung die

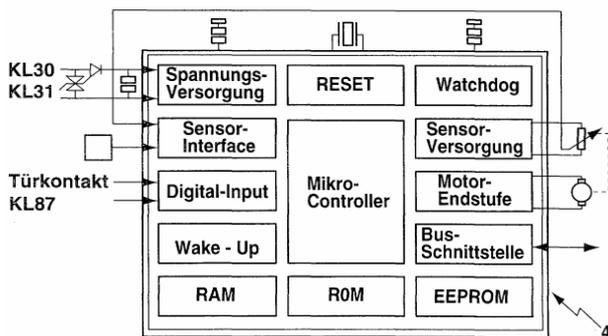
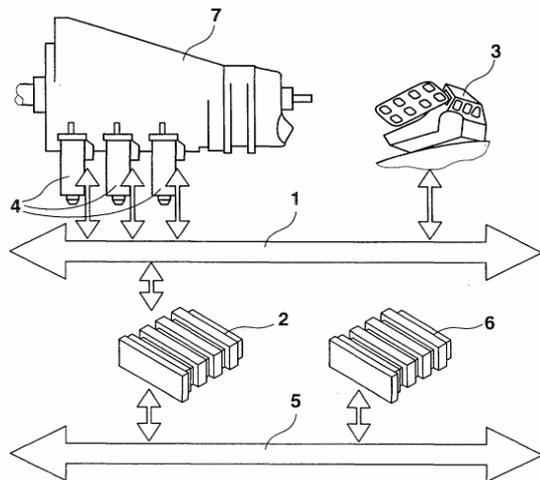
Schaltsignale generiert werden. Durch die Anbringung des Schaltknopfes an einem flexiblen Tragarm kann die Schaltvorrichtung überall in Reichweite des Fahrers positioniert werden; es ergeben sich ergonomische Vorteile und mehr Gestaltungsfreiheit im Fahrzeuginnenraum für andere Systeme.

Üblicherweise wird das „Schaltgefühl“ bei Shift-by-Wire-Schaltvorrichtungen auf mechanischem Weg mittels Rastierungsvorrichtungen realisiert. Die Sperrung von Schaltbereichen (Parksperre) wird durch separate Vorrichtungen (Elektromagnet) erreicht. In DE 103 07 508 A1 wird ein anderer Weg zur Lösung dieser Problematik aufgezeigt (Figur 6). Je nach vorhandener oder gewünschter Stellung des Schalthebels wird über eine Steuerung (4) auf der Grundlage der Signale von Richtungssensoren (3) ein Reaktionskraftstellglied (9) angesteuert, welches die Betätigungsbelastung entsprechend der aktuellen Situation einstellt. Eine mechanische Rastierungsvorrichtung und ein zusätzlicher Parksperrenmechanismus können entfallen.



Figur 6: Erzeugung von „Schaltgefühl“ mit Reaktionskraftstellgliedern (DE 103 07 508 A1).

Zur Realisierung eines hohen Sicherheitsniveaus einer elektronischen Getriebesteuerung wird in DE 100 36 601 A1 vorgeschlagen, dass die Schaltvorrichtung (3) „intelligent“ ausgelegt ist und dafür eingerichtet ist, bei Ausfall des Getriebesteuergeräts (2) dessen Grundfunktionalität zu übernehmen (Figur 7).



Figur 7: Datenbus-Struktur mit mechatronischen Getriebeaktuatoren und Schaltvorrichtung (DE 100 36 601 A1).

Auch die Getriebe-Aktuatoren (4) sind durch Integration der Elektronik und Sensorik („mechatronische Aktuatoren“) „intelligent“ ausgelegt. Jeder mechatronische Aktuator besteht aus einem Mikrocontroller mit Signalaufbereitung, der Spannungsversorgung, diversen Speichern, einer Leistungsendstufe, serieller Bus-Schnittstelle, der eigentlichen elektromechanischen Aktuatoreinheit, optionalen Sensorikkomponenten und peripheren Komponenten wie Watchdog, Wake-Up und Reset.

Die Verteilung der Getriebesteuerungsmotoren zum Teil auf die Aktuatoren ermöglicht weitergehende Vorteile, wie eine Ermittlung und Abspeicherung von Getriebe-

adaptionenparametern, z. B. von Greifpunkten der Kupplungen, Synchronisationspunkten der Schaltelemente sowie Nullpunkt und Offset von Getriebe-sensoren vor Ort, so dass nach Austausch des Getriebes oder einzelner Komponenten nicht das gesamte Getriebesystem neu adaptiert zu werden braucht, sondern nur die betreffende Komponente.

Die Schaltvorrichtung (3), das Getriebesteuergerät (2) und die Aktuatoren (4) stehen über einen eigenständigen Getriebe-Datenbus (1) miteinander in Verbindung, der als Gateway zu wenigstens einem weiteren fahrzeugeitigen Datenbus (5) fungiert (z. B. Motor-Datenbus). Die Datenbusse können von beliebiger Art sein, wie CAN (Controller Area Network), VAN (Vehicle Area Network) oder TTP (Time-Triggered Protocol).

4. Ausblick

Aus der Flugzeugtechnik ist der sog. Autopilot bereits Stand der Technik („Fly-by-Wire“). Ähnliches bahnt sich mit Drive-by-Wire für zukünftige Automobil-Generationen an. Dies wird über verschiedene Zwischenstufen in einem Zeitraum von voraussichtlich 20 bis 30 Jahren geschehen. Für den Bereich Shift-by-Wire ist bereits ein gutes Stück auf diesem Weg zurückgelegt.

Literatur

- [1] BÜCHS, H.P. et al.: Shift-by-Wire Schaltung. Vereinfachtes Schaltungskonzept mit elektronischer Realisierung von Sicherheitsfunktionen. – In: VDI-Berichte Nr. 1610 (Getriebe in Fahrzeugen), 2001, S. 481-495.
- [2] GIEFER, A: Jedem Getriebe die passende Schaltung. - In: Automobil Industrie 5/2004, S. 70/71.
- [3] ERSOY, M.& MEYER, J.: Mechatronik am Beispiel von Shift-by-Wire Schaltungen. In: Mechatronik im Automobil II (Aktuelle Trends in der Systementwicklung für Automobile); 2003, Expert-Verlag, ISBN: 3-8169-2139-6.
- [4] DE 102 09 546 A1.
- [5] US 4 610 179.
- [6] DE 199 37 533 A1.
- [7] DE 196 08 981 A1.
- [8] DE 101 13 534 B9.
- [9] EP 1 240 446 B1.

- [10] DE 197 48 131 C2.
- [11] DE 102 13 763 A1.
- [12] DE 10 2004 006 150 B3.
- [13] DE 100 03 140 C1.
- [14] DE 197 47 269 A1.
- [15] DE 198 21 403 B4.
- [16] DE 103 07 508 A1.
- [17] DE 100 36 601 A1.

Bioterroristische Gefährdung und Patente betreffend Nachweisverfahren für Bakterien

Dr. Reiner Spieker, Abt. 1.41

Verfahren zum Nachweis von Bakterien werden in Zeiten bioterroristischer Gefährdung verstärkt wahrgenommen. Es werden drei Patente vorgestellt, die Nachweisverfahren für bakterielle Nukleinsäuren, Analyse-Träger mit immobilisierten Bakteriophagen, sowie Cantilever (Federbalken) mit einer aufgebrachtten Nährboden-Schicht betreffen. Die Erfindungen bringen über Jahrzehnte ausgebautes biologisches Grundlagenwissen in technische Verfahren ein.

1. Einleitung

Der 11. September 2001 markiert nicht nur eine weltpolitische Zeitenwende, sondern die Ereignisse dieses Tages führten auch zur Beschleunigung der Forschung auf dem Gebiet der Nachweisverfahren für Bakterien im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Abwehr des Bioterrorismus. Entsprechende Nachweisverfahren sollen nicht nur der bloßen Feststellung dienen, dass ein bioterroristischer Vorfall überhaupt eingetreten ist, sondern sie sollen auch Auskunft geben über das weitere Vorgehen der staatlichen Stellen zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung ([1]). Die Staatengemeinschaft wurde vom UN-Generalsekretär bereits zu vermehrten Koordinationsanstrengungen bei der Abwehr der bioterroristischen Gefährdung aufgefordert.

An erster Stelle unter den Detektionsverfahren für Bakterien ist die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) zur Vervielfältigung von Nukleinsäuren im Reagenzglas zu nennen. Auf die Bedeutung der PCR für die Nukleinsäure-Analyse wurde bereits in den DPMA Erfinderaktivitäten 2001 ([2]) hingewiesen. Bioterrorismus-Organismen, zu deren Nachweis PCR-Verfahren entwickelt wurden, sind nach [1] u.a. *Bacillus anthracis* (Erreger des Milzbrands), *Yersinia pestis* (Erreger der Pest) und *Francisella tularensis* (Erreger der Tularämie oder Hasenpest).

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit drei innovativen, in den vergangenen Jahren patentierten Nachweisverfahren für Bakterien, die prinzipiell auch zur Detektion von Bioterrorismus-Organismen einsetzbar sind und die den Fortschritt auf diesem Gebiet gut illustrieren.

2. Patente

2.1. DE 103 38 123 B3: Verfahren zum Nachweis von Bakterien der Gattung *Legionella*

Die DE 103 38 123 B3 der Scanbec GmbH in Halle/Saale setzt sich den Nachweis von Nukleinsäuren zum Ziel, die für bestimmte Bakterien, die Legionellen, charakteristisch sind. Bakterien der Gattung *Legionella* verursachen die sogenannte Legionärs-Krankheit, eine Art Lungenentzündung. Die seltsame Benennung dieser Krankheit rührt von ihrem erstmaligen Auftreten im Jahr 1976 bei Teilnehmern eines Treffens von Veteranen der „American Legion“ her, das in einem Hotel in Philadelphia stattfand, in dessen Klimaanlage optimale Wachstumsbedingungen für Legionellen herrschten. Nach Schätzungen des Robert-Koch-Instituts erkranken in Deutschland jährlich 6.000 bis 10.000 Menschen an der Legionärskrankheit.

Zum Nachweis der Legionellen setzen die Erfinder der DE 103 38 123 B3 eine Nukleinsäure-Sandwich-Hybridisierung ein, mittels derer Arten der Gattung *Legionella* im Allgemeinen und die Arten *Legionella pneumophila*, *Legionella feeleii* und *Legionella jordanis* im Speziellen detektiert werden können.

Welchen Nukleinsäure-Typ wählen die Erfinder nun aus den tausenden verschiedenen, in einer Bakterienzelle vorhandenen Nukleinsäuren-Typen als Nachweis-„Zielmolekül“ aus?

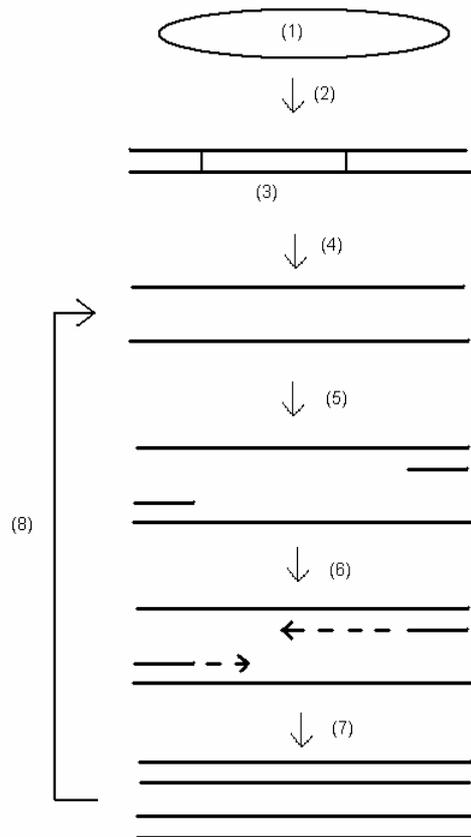
Alle zellulären Organismen weisen Ribosomen auf, die Orte der Protein-Biosynthese. Hier wird die Erbinformation, die in den Basensequenzen der Nukleinsäuren

gespeichert ist, in Aminosäuresequenzen von Proteinen übersetzt (translatiert). Ein Ribosom besteht aus einer großen und einer kleinen Untereinheit, die sich aus einer Vielzahl von Protein-Molekülen und aus ribosomalen RNA-Molekülen (rRNAs), zwei in der großen und einem in der kleinen Untereinheit, zusammensetzen. Das rRNA-Molekül der kleinen ribosomalen Untereinheit wird nach seinem relativen Gewicht in Svedberg-Einheiten („S“) als 16S rRNA bezeichnet. Die Basensequenz der 16S rRNA ist nun für eine bestimmte Organismenart sehr charakteristisch. Da Ribosomen in großer Zahl in den Zellen vorkommen, ist auch die Menge an 16S rRNA, die man aus jeder Zelle gewinnen kann, sehr hoch im Vergleich zu anderen Nucleinsäure-Typen, was vor der Erfindung der PCR analytisch von Vorteil war. Dies war der Grund für die bevorzugte Verwendung von 16S rRNA bei der Erstellung der molekularen Stammbäume der Bakterien (früher „Eubakterien“, siehe Figur 1) und der Archaeen (früher „Archaeobakterien“).



Figur 1: Klassischer 16S rRNA/rDNA-Stammbaum der Bakterien (damals „Eubakterien“); Legionellen gehören u.a. mit *E. coli*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium* und *Rhizobium* zur Großgruppe „Purpurbakterien“ (ganz rechts unten), heute umbenannt in „Proteobakterien“ (aus DE 690 22 180 T2).

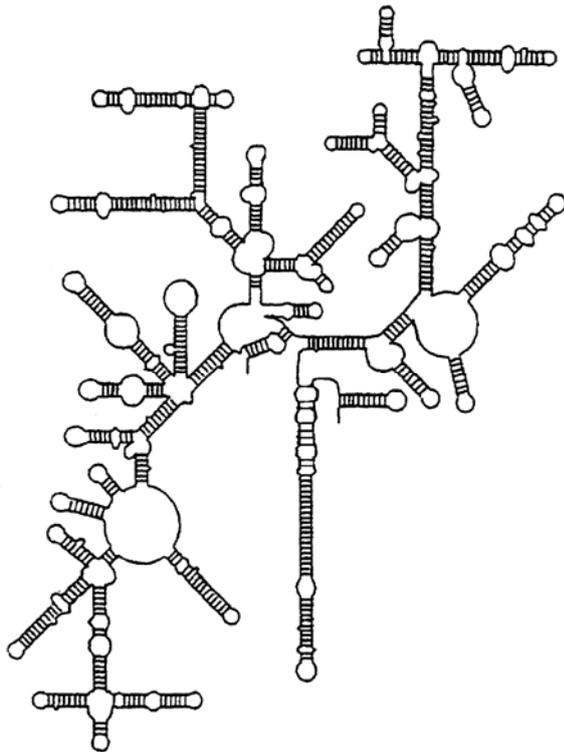
Besonders Carl Woese von der Universität von Illinois gebührt das Verdienst, diese Bedeutung der 16S rRNA erkannt zu haben ([3], [4]). Die Abschnitte auf der bakteriellen Erbsubstanz, die die Information für die rRNA-Moleküle tragen, werden rRNA-Gene genannt, man kann aber auch die Begriffe rDNA-Gene oder rDNA finden; diese Gene codieren ausnahmsweise einmal nicht für Proteine. Da die genetische Information in RNA und DNA gleich ist, ist sowohl die Bezeichnung „16S rRNA-Stammbaum“, als auch „16S rDNA-Stammbaum“ korrekt.



Figur 2: Vervielfältigung von rDNA-Abschnitten durch PCR; Bakterienzelle (1), DNA-Isolierung (2), rRNA-Gen-Abschnitt auf einem Bruchstück des Erbmaterials (3), PCR (4)-(8): Trennung der DNA-Doppelstränge in Einzelstränge bei 95°C (4), Anlagerung kurzer Primer bei 55°C (5), Verlängerung der Primer und Synthese neuer Zweitstränge (gestrichelt) durch das hitzestabile Enzym Taq-DNA-Polymerase bei 72°C (6), fertiggestellte DNA-Doppelstränge (7), Trennung der neuen Doppelstränge wiederum bei 95°C (8).

Heute isolieren Bakterien-Stammbaumforscher meist keine rRNA-Moleküle aus Bakterien der Laborkulturen mehr, wie noch Carl Woese um 1980, sondern sie entnehmen eine Gesamt-Probe, die eine Vielzahl von Bakterien-Arten enthält, aus der Umwelt, z.B. aus dem Erdboden ([5]), isolieren direkt die gesamte DNA, die stofflich stabiler ist als RNA, und vervielfältigen die 16S rDNA-Gene durch PCR im Reagenzglas (siehe Figur 2), bis so viel DNA vorliegt, dass die Basensequenzen der in der Probe vorkommenden Bakterien-Arten bestimmt werden können (siehe S. 964 von [5]). Auf diese Weise gewonnene Basensequenzen bezeichnet man als „environmental sequences“; man gewinnt durch sie auch über solche Bakterien Erkenntnisse, die noch nicht im Labor kultiviert werden konnten.

Die Erfinder wählen demzufolge mit der 16S rRNA ein Nachweis-Zielmolekül, das sehr gut erforscht ist.

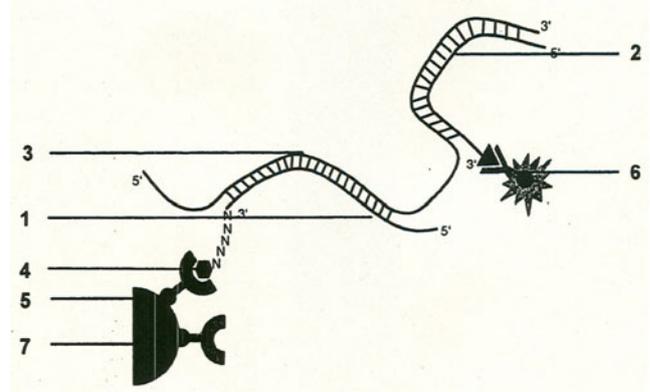


Figur 3: Verknäuelte Struktur („Sekundärstruktur“) eines 16S rRNA-Moleküls; Querstriche zeigen Basenpaarungen innerhalb des Moleküls an.

Das Verfahren der Nukleinsäure-Sandwich-Hybridisierung der DE 103 38 123 B3 sieht vor, an ein gegebenes Nukleinsäure-Zielmolekül über die Watson-Crick-Basenpaarungen zwei komplementäre Nukleinsäure-Moleküle oder kurz „Sonden“ anzulagern, d.h. diese Moleküle miteinander zu „hybridisieren“. Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz der Sonden ist deren Fähigkeit, stabile Hybride mit dem Zielmolekül zu bilden. Bei allen RNA-Molekülen und besonders beim 16S rRNA-Molekül besteht nämlich das Problem, dass auch unterschiedliche Bereiche innerhalb desselben Moleküls miteinander Basenpaarungen ausbilden können und dadurch ganz verknäuelte Strukturen entstehen, wie in Figur 3 zu sehen ist. Die Sonden müssen sich gleichsam in diese RNA-Knäuel hineindrängen und diese teilweise auflösen. Die Struktur geeigneter Sonden anzugeben, die die Knäuel der 16S rRNA-Moleküle der Legionellen teilweise auflösen können, war die technische Aufgabe der Erfinder.

Wie Figur 4 zeigt, dient in dem patentierten Verfahren eine erste Sonde (1) als Fänger-Sonde: Sie kann über

Kopplungsstrukturen (4,5) an eine Festphase (7) gebunden werden, so dass man auf einfache Weise aus einer Lösung, in der sich 16S rRNA-Moleküle (3) befinden, diese herausfischen und von den übrigen tausenden anderen Nukleinsäure-Typen abtrennen kann.



Figur 4: Sandwich-Hybridisierung; 16S rRNA-Molekül als „Ziel-Molekül“ (3), Fänger-Sonde (1), Kopplungsbereich von (1) mit Oligonukleotid-Spacer (N_5), Biotin (Sechseck, 4) und Streptavidin (Halbring, 5) auf Magnetkügelchen (7), Nachweis-Sonde (2), Enzym (6) gekoppelt an (2) über Antikörper (Y-Symbol) gegen Digoxigenin (Dreieck); Querstriche zeigen Basenpaarungen zwischen den Molekülen an (aus DE 103 38 123 B3).

Die Festphase (7) besteht aus magnetischen Kügelchen, die man mit einem Magneten, der an das Reaktionsgefäß gehalten wird, an der Gefäßwand festhalten und mit ihrer gebundenen Nukleinsäure-Fracht (3) von nicht-gebundenen Nukleinsäuren und Zelltrümmern reinigen kann. Eine zweite Sonde (2) dient als Nachweis-Sonde: Sie ist mit dem Enzym Alkalische Phosphatase (6) koppelbar, das ein farbloses Substrat zu einem unlöslichen Farbstoff umsetzen kann. Die Bildung von Farbstoff am Ort der Magnetkügelchen (7) zeigt an, dass die Nachweis-Sonde (2) mit einem 16S rRNA-Molekül (3) aus Legionellen über die in Figur 4 mit Querstrichen markierten Bereiche hybridisiert hat.

Eine Verfahrensvariante besteht darin, nicht die in der Zelle vorkommenden 16S rRNA-Moleküle nachzuweisen, sondern noch größere Mengen an 16S rRNAs vor dem Sandwich-Nachweis über eine Kombination von PCR und *In-vitro*-RNA-Synthese selbst herzustellen. Hierzu kann man, wie die modernen Bakterien-Stammbaumforscher gemäß obiger Figur 2, die Gesamt-DNA der Probe isolieren und PCR-Primer einsetzen, die spezifisch an die 16S rRNA/rDNA-Gene der Legionellen binden. Trägt einer der verwendeten PCR-Primer einen synthetischen Promotor, wird dieser Promotor mittels der PCR Teil der

DNA-Endprodukte und erscheint in Produkt (7) in obiger Figur 2. Von solchen Promotoren aus kann das Enzym RNA-Polymerase unter Verwendung von Ribonukleosid-Triphosphaten 16S rRNA-Moleküle in großer Menge *in vitro* synthetisieren oder transkribieren. *In-vitro*-transkribierte 16S rRNA-Moleküle einer vorgegebenen Legionellen-Art können im Nachweisverfahren auch als Positivkontrollen dienen.

Die DE 103 38 123 B3 vereint somit die Techniken PCR, RNA-Synthese, Sonden-Hybridisierung und Enzym-Farbstoff-Umsetzung mit dem Wissen über rRNA-Moleküle und zieht damit praktisch alle Register aus Theorie und Praxis der Molekularbiologie.

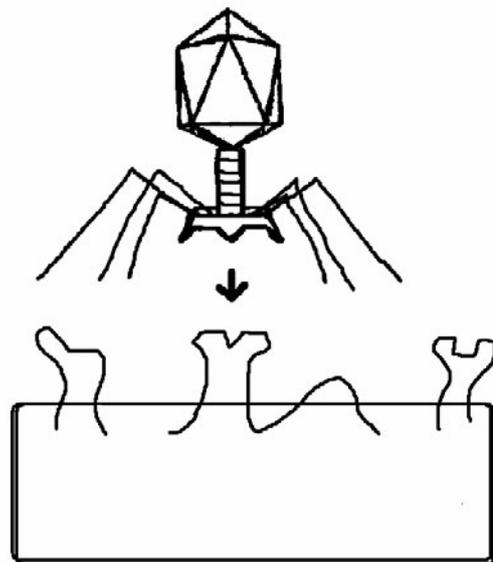
2.2. DE 100 36 931 B4: Nachweis und Identifikation von Bakterienstämmen

Ein weiteres Nachweisverfahren für Bakterien beschreibt die DE 100 36 931 B4 der PROFOS AG in Regensburg. Dieses Patent macht sich das biologische Wissen über die Wechselwirkung von Bakterien und Bakteriophagen zu Nutze.

Mensch, Tier und Pflanze befallende Viren sind allgemein bekannt. Viren sind keine Zell-Lebewesen, sie benötigen zu ihrer Vermehrung daher lebende Zellen, in die sie ihre Virus-Nukleinsäuren einschleusen müssen. In den Basensequenzen der Virus-Nukleinsäuren ist der gesamte Virus-Bauplan gespeichert (so wie in den Basensequenzen der menschlichen DNA der Gesamt-Bauplan des Menschen aufbewahrt wird), und dieser Virus-Bauplan wird von der Zelle verwendet, um neue Viruspartikel herzustellen. Man unterscheidet Viren nach den Nukleinsäuren, die sie in RNA- oder DNA-Viren einschleusen, wobei das Vorliegen von Einzelstrang-RNA, Doppelstrang-RNA, Einzelstrang-DNA oder Doppelstrang-DNA weitere Unterteilungen bietet ([6]).

Viren, die Bakterien befallen und sich in diesen vermehren, nennt man Bakteriophagen. Aus den Anfängen der Molekularbiologie in den 1950er und 1960er Jahren ist die Bakteriophagen-Genetik nicht wegzudenken. Bakteriophagen-Produkte finden sich heute im Gen-Labor allenthalben: Die oben genannte RNA-Polymerase, die in der DE 103 38 123 B3 zur *In-vitro*-RNA-Synthese eingesetzt wird, stammt von einem Bakteriophagen mit der

Bezeichnung „T7“; das im Labor für den Zusammenbau von Gen-Material unersetzliche Enzym DNA-Ligase liefert der Bakteriophage „T4“. Bakteriophagen können eine auch ästhetischen Ansprüchen genügende geometrische Form vorweisen, es sind z.B. Ikosaeder (siehe Figur 5) kombiniert mit Mondlandefähren-ähnlichen Anhangsstrukturen, die die Anhaftung an der bakteriellen Wirtszelle und die Injektion der Virus-Nukleinsäure aus ihrem Aufbewahrungsort, dem Hohlraum des Ikosaeder-Kopfes, in die Zelle vollbringen.



Figur 5: Bakteriophage (oben) beim Andocken an ein passendes Oberflächen-Protein (Pfeil) innerhalb der Zelloberfläche einer Bakterien-Wirtszelle (unten).

Viren sind wirtsspezifisch und erkennen den für ihre Vermehrung geeigneten Wirt sehr genau, daher konnte z.B. das Vogelgrippe-Virus H5N1, ein RNA-Virus, bisher nur vergleichsweise begrenzt von Vögeln auf den Menschen überspringen. Grundlage für die Erkennung des Wirtes ist eine spezifische Wechselwirkung zwischen Proteinen des Virus und Proteinen auf der Oberfläche des Wirtsorganismus (siehe Figur 5), die im Prinzip wie Schlüssel und Schloß zueinander passen.

Diese hochspezifische Protein-Protein-Wechselwirkung nutzen die Erfinder der DE 100 36 931 B4, indem sie Andock-Proteine eines bestimmten Bakteriophagen oder ganze Bakteriophagen an einen festen Träger binden. Gibt man eine Probe, die Wirtsbakterien und Nicht-Wirtsbakterien des gewählten Bakteriophagen enthält, zu

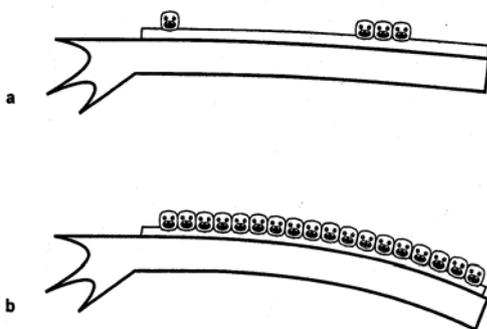
diesem Träger hinzu, so bleiben nur die Wirtsbakterien haften, da nur sie die zum Bakteriophagen passenden Bakterien-Proteine präsentieren. Die angehefteten Wirtsbakterien müssen dann noch detektiert werden, was wiederum über den Nachweis der Nukleinsäuren, die in den Bakterienzellen enthalten sind, erfolgen kann (z.B. über das oben beschriebene Zielmolekül 16S rRNA oder sein Gen).

Auch für die Anreicherung von Bakterien aus einer stark verdünnten Probe ist das Verfahren der DE 100 36 931 B4 gut geeignet.

2.3. DE 102 09 245 B4: Vorrichtung und Verfahren zur Detektion von Mikroorganismen

Die DE 102 09 245 B4 der Concentris GmbH, Basel, kombiniert einen klassischen mikrobiologischen Ansatz, die Verwendung eines Nährbodens, mit einem mikro-mechanischen Meßinstrument, einem Cantilever oder Federbalken.

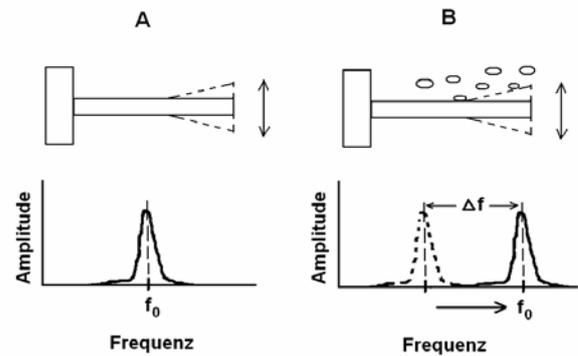
Die Oberseite des Cantilevers oder Federbalkens wird mit einem Nährmedium beschichtet. Gelangt ein Bakterium auf den Nährboden, nimmt es nur dann Nährstoffe auf und startet die Vermehrung, wenn die Nährboden-Zusammensetzung dies gestattet. Hierbei ändern sich Eigenschaften des Federbalkens messbar, wie Figur 6 vom Prinzip her veranschaulicht. Als Messverfahren werden in der DE 102 09 245 B4 optische Auslesemethoden („beam deflection method“, Laserstrahldeflektion), interferometrische oder piezoelektrische Signaldetektion genannt.



Figur 6: Federbalken oder Cantilever mit von a nach b zunehmender Zahl von Bakterien auf einem Nährboden (Prinzipskizze aus DE 102 09 245 B4, ausführliche Untersuchung in [7]).

Allgemein gilt, dass eine Massenänderung Δm eines

Federbalkens zu einer Veränderung Δf seiner Resonanzfrequenz (siehe Figur 7) führt.



Figur 7: Massenänderung und Verschiebung der Resonanzfrequenz bei einem Cantilever. A: Oszillation des Cantilevers ohne Analyten, Resonanzfrequenz f_0 ; B: Kontakt des Cantilevers mit Analyten, Massenzunahme bewirkt Verschiebung Δf der Resonanzfrequenz f_0 .

Forschungsergebnisse der Universität Basel zeigen ([7]), dass die patentierte Anordnung der DE 102 09 245 B4 zur Detektion des Wachstums von antibiotikaresistenten Bakterien auf einem antibiotikahaltigen Nährboden von 200 nm Schichtdicke (!) geeignet ist. Die Untersuchungen ergeben nach Figur 6, Seite 2630 von [7], dass zur Massenänderung Δm des Federbalkens eine Wasseraufnahme des Nährbodens aus der Umgebungsluft beiträgt, ausgelöst durch die Entnahme von Wasser aus dem Nährboden durch die sich vermehrenden Bakterien. Der dem Detektionsverfahren der DE 102 09 245 B4 zu Grunde liegende Zusammenhang zwischen Δf und Δm ist nach Seite 2628 von [7]

$$\Delta f = (1,875)^2/4\pi \cdot (m_{\text{load}}/m_c^{1,5}) \cdot \sqrt{(E \cdot I/12)}$$

mit E: Elastizitäts- oder Young-Modul, I: Trägheitsmoment, m_{load} : Massenzunahme Δm , m_c : Masse des Cantilevers am Beginn der Messung.

2.4. Exkurs: Vergleich des Wesens der drei Patente

Aus einem Vergleich der drei Patente ergeben sich lehrreiche Hinweise zu den besonderen strukturellen Merkmalen biotechnologischer Anmeldungen. Die DE 103 38 123 B3 und die DE 100 36 931 B4 verwenden technisch einfache chemische Kopplungen von Molekülen an Festphasen und gängige biochemische Markierungen, die so in tausenden von Gen-Labors schon seit über 10 Jahren unter Verwendung vorgefertigter Reagenz-

Zusammenstellungen eingesetzt werden. Diese technischen Merkmale machen aber nur einen Bruchteil des innovativen Gehalts der betrachteten Patente aus. Der Hauptanteil des innovativen Gehalts ist dem Bereich speziellen biologischen Wissens über Bakterien-Stammbäume und rRNA-Strukturen bzw. über Virus-Wirtszelle-Wechselwirkungen entnommen. Den in diesen Patenten verarbeiteten Informationsgehalt darf man grob jeweils auf 95% spezielle Biologie und 5% allgemeine chemische Technik schätzen. Nicht-trivial sind diese Lehren aufgrund des verarbeiteten biologischen Wissens, das seit einem halben Jahrhundert ausgebaut wird. In der DE 102 09 245 B4 dagegen ist der Gehalt an innovativer physikalischer Technik, die in [7] weiter ausgelotet wird, bedeutender als das biologische Know-how der Verwendung eines Nährbodens, das beginnend mit Robert Koch schon seit über einem Jahrhundert praktiziert wird.

Der Vergleich führt zu einem Kernmerkmal einer Vielzahl biotechnologischer Anmeldungen: Der Hauptgehalt steckt in verarbeitetem Wissen über biologische Sachverhalte. Physikalisch-chemisch-technische Grundprobleme stellen sich bei der Lösung der Aufgabe praktisch nicht mehr.

3. Ausblick

Mikromechanische Detektionsansätze, wie die der letztgenannten DE 102 09 245 B4, sind nach [8] gerade aufgrund ihrer großen Schnelligkeit und leichten Handhabung interessant für die Bioterrorismus-Abwehr; zudem scheint ein Nachweis von wenigen Zellen pro Probe im Bereich des Möglichen. Wünschenswert sind zukünftig Detektionsverfahren, die sich zur Dauerüberwachung der Atemluft in Gebäuden mit starkem Publikumsverkehr eignen, einem „weichen Ziel“ für Terroristen. Denkbar ist auch eine Kombination schneller, physikalischer Verfahren für die Alarmdetektion mit langsameren, biologischen Verfahren zur späteren detaillierten Auskunft. Der Druck zur Verbesserung der Nachweisverfahren für Bakterien wird aufgrund des beträchtlichen Gefahrenpotentials fortwähren.

Nicht-Patent-Literatur

[1] LIM, D.V. et al. Current and developing technologies for monitoring agents of bioterrorism and biowarfare. - In: Clin. Microbiol. Rev., 2005, Vol. 18, Nr. 4, S. 583-

607.

- [2] SPIEKER, R. Polymerase-Kettenreaktion, PCR. In: Erfinderaktivitäten 2001, Deutsches Patent- und Markenamt, S. 12-15.
- [3] WOESE, C.R. & FOX, G.E. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. - In: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1977, Vol. 74, Nr. 11, S. 5088-90.
- [4] WOESE, C.R. et al. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. - In: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1990, Vol. 87, Nr. 12, S. 4576-4579.
- [5] GROSSKOPF, R. et al. Diversity and structure of the methanogenic community in anoxic rice paddy soil microcosms as examined by cultivation and direct 16S rRNA gene sequence retrieval. - In: Appl. Environ. Microbiol., 1998, Vol. 64, Nr. 3, S. 960-9.
- [6] SCHLEGEL, H.G. Allgemeine Mikrobiologie, 7. Aufl., Thieme Verlag Stuttgart, 1992, ISBN 3-13-444607-3.
- [7] GFELLER, K.Y. et al. Rapid biosensor for detection of antibiotic-selective growth of Escherichia coli. - In: Appl. Environ. Microbiol., 2005, Vol. 71, Nr. 5, S. 2626-31.
- [8] JI, H.F. et al. Molecular recognition of biowarfare agents using micromechanical sensors. - In: Expert. Rev. Mol. Diagn., 2004, Vol. 4, Nr. 6, S. 859-66.

Ionenstrahlen in der Tumorthherapie

Dr. Bernhard Steinbauer, Abt. 1.54

Mit dem Bau des ersten rein klinischen Protonentherapiezentrum Europas in München rückte eine neuartige Therapiemethode für Krebserkrankungen, die Hadronentherapie, in das öffentliche Interesse. Aufgrund ihres außerordentlich hohen finanziellen und apparativen Aufwands mag sie manchen auf den ersten Blick als technische Spielerei erscheinen; sie kann jedoch schon in wenigen Jahren bisherige Therapien mit vertretbarem Aufwand sinnvoll ergänzen.

1. Kurzdarstellung

„Hadronentherapie“ bezeichnet den Einsatz von atomaren, meist ionisierten Teilchen (Hadronen) in der kurativen oder palliativen Tumorthherapie, wobei das Tumorgewebe durch Beschuss mit den auf relativistische Geschwindigkeiten beschleunigten Teilchen entweder vollständig vernichtet oder zumindest vorübergehend in Schach gehalten wird.

Neben überwiegend experimentell betriebenen Anlagen mit Pionen oder Neutronen haben sich vor allem Protonen und leichte Ionen ($Z = 2 - 6$), insbesondere vollständig ionisierter Kohlenstoff, $^{12}\text{C}^{6+}$, als Teilchenarten durch-gesetzt [20]. Hierbei ist der prinzipielle Wirkmechanismus der verschiedenen Teilchenstrahlen zwar ähnlich, es gibt jedoch deutliche Unterschiede bei der biologischen Wirksamkeit der deponierten Energie, bei der Strahlführung sowie bei der maximal erreichbaren Schärfe der Strahlen, d.h. bei der möglichen Genauigkeit einer Behandlung [14].

„Ionenentherapie“ bezieht sich in der Literatur meist nur auf Ionen mit $Z = 2 - 6$; für Protonen hat sich „Protonentherapie“ als eigenständiger Begriff etabliert. Die folgende Darstellung schließt sich dieser Terminologie an, wobei im gesamten Artikel nur auf Therapiesysteme auf Basis von Protonen und Kohlenstoffionen eingegangen wird.

Der wesentliche Unterschied zwischen Protonen- und Ionenentherapie liegt in der technischen Komplexität der Erzeugung, Führung und Lenkung der hochenergetischen Teilchenstrahlen. Während für Protonenstrahlen (typische Energie: 200 MeV) herkömmliche Zyklotrons (\varnothing 6-7 m) ausreichen, erfordern geeignete Kohlenstoffstrahlen eine Energie von 400 MeV/u, d.h. insgesamt 4800 MeV. Eine derartige Beschleunigung können nur die technisch

wesentlich komplexeren und größeren Synchrotrons erbringen ($\varnothing \approx 20$ m für nicht-supraleitende Synchrotrons, [2]). Zur Lenkung eines Kohlenstoffionen-Strahls werden zudem Magnete mit deutlich größerem Radius benötigt, da aufgrund des höheren Impulses pro Ladungseinheit die magnetische Steifigkeit $B \cdot r$ höher ist.

1.1. Geschichte und aktueller Stand

Der Bau des ersten rein klinischen Protonentherapiezentrum Europas in München unter der Federführung von Prof. Rinecker stellt nur einen ersten Schritt in der klinischen Umsetzung dieser neuen Methode in Deutschland dar; trotz der sehr hohen Investitionskosten von ca. 100 Mio. € sind Protonentherapiezentren in Köln, Leipzig, Berlin und Kiel im Bau oder geplant; eine kombinierte Anlage für Protonen und leichte Ionen entsteht derzeit in Heidelberg [11].

Gegenwärtig ist erst die Münchner Anlage fertig und wird für den stabilen Dauerbetrieb justiert; die Heidelberger Anlage soll Ende 2007 teilweise betriebsbereit sein.

Aufgrund des hohen apparativen Aufwands blieb die Ionenentherapie, obwohl bereits 1946 vorgeschlagen [23] und 1954 in Berkeley zum ersten Mal durchgeführt, mehrere Jahrzehnte lang auf große Teilchenbeschleunigerzentren beschränkt [20]. Diese konnten jedoch nur die prinzipielle Eignung der Methode zeigen, da sie bloß beschränkt Strahlzeit für diese Anwendungen bereitstellen konnten und ihnen der nötige Rahmen für eine professionelle Behandlung großer Patientenzahlen fehlte. Das erste rein klinische Protonentherapiezentrum entstand schließlich 1990 im kalifornischen Loma Linda [16].

Angeregt durch das gestiegene weltweite Interesse wurde seit etwa 1997 auch in Deutschland die Weiterentwicklung der Hadronentherapie forciert; Vorreiter waren hierbei die Großforschungseinrichtung GSI in Darmstadt (Gesellschaft für Schwerionenforschung) sowie das Berliner Hahn-Meitner-Institut. Die GSI konnte zwischenzeitlich ihren umfangreichen Bestand an grundlegenden Patenten auf diesem Gebiet in ein Lizenzabkommen mit einem deutschen Industriepartner einbringen.

1.2. Abgrenzung zu anderen Methoden: Brachy- und Teletherapie

In der Behandlung von Tumoren durch energiereiche Strahlung unterscheidet man Brachytherapie (griech. „brachys“ = kurz), die direkte Einbringung von Quellen ionisierender Strahlung (radioaktive Materialien oder miniaturisierte Röntgenquellen) in die Nähe des zu bestrahlenden Objekts, und Teletherapie, also die Bestrahlung aus größerem Abstand.

In der Teletherapie werden hochenergetische Strahlen von Röntgenlicht („Strahlentherapie“, „Radiotherapie“), Elektronen, Protonen, Neutronen, Pionen oder leichten Ionen von einer externen Quelle so auf einen Patienten gelenkt, dass im Tumervolumen der höchste Dosisbeitrag stattfindet und gesundes Gewebe nach Möglichkeit verschont bleibt.

Teletherapie findet bisher fast ausschließlich in Form von Radiotherapie statt; sie wird bei ca. 12% aller Tumoren bzw. bei 19% aller heilbaren Tumoren angewendet [21]. Darüber hinaus wird sie in zunehmendem Maße zur Unterstützung der Chemotherapie sowie in der palliativen Therapie, d.h. zur Schmerzlinderung bei Tumoren ohne Heilungschancen, herangezogen.

Die mikroskopische Wirkung einer bestimmten Strahldosis auf menschliches Gewebe ist noch nicht im Detail verstanden; man geht davon aus, dass sie für Röntgen-, Protonen- oder Ionenstrahlen prinzipiell ähnlich ist und die entscheidende Größe in erster Näherung ein bestimmter Gesamtstrahlungseintrag in das Tumorgewebe ist (60 Gy pro Behandlungsserie; 1 Gy = 1 Gray = 1 Joule/kg) [21]. Es konnte jedoch auch gezeigt werden, dass Ionen im Bereich von $Z = 3 - 6$ (Lithium - Kohlenstoff) etwas andere Prozesse im Tumor auslösen und ihn dadurch stärker

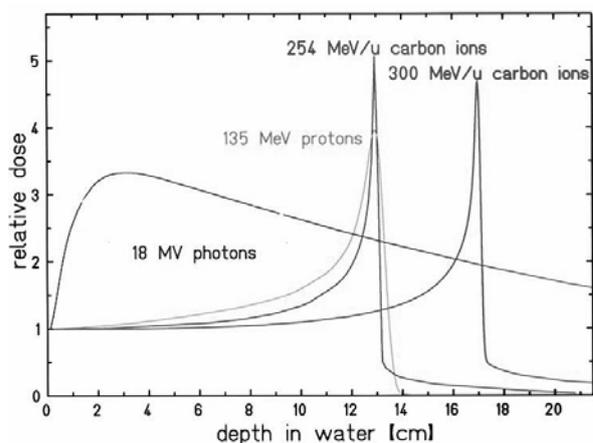
schädigen, wodurch in manchen Fällen eine geringere Gesamtdosis und/oder eine geringere Zahl von Bestrahlungssitzungen erforderlich ist [1].

Die Rechtfertigung für eine Therapie mit Protonen- oder Ionenstrahlen gegenüber der Radiotherapie stützt sich vor allem darauf, dass in etwa 15 % der Fälle, in denen bisher eine Radiotherapie verordnet wurde, eine Therapie mit Protonen- oder Ionenstrahlen wahrscheinlich bessere Ergebnisse liefert ([7], [2]). In 10% der Fälle ist der besser lokalisierbare Dosisbeitrag von Hadronenstrahlen, d.h. die geringere Bestrahlung des angrenzenden gesunden Gewebes, entscheidend, etwa dann, wenn sich der Tumor in der Nähe von Risikoorganen (Wirbelsäule, Lunge, Nerven) befindet. Vor allem bei jungen Patienten sollte eine hohe Strahlenbelastung prinzipiell vermieden werden, da sich die Gewebe noch in der Entwicklung befinden und Strahlenschäden daher schlimmere Folgen haben können. Viele der mittels Radiotherapie behandelten Tumoren werden im Verlauf der Bestrahlung teilweise radioresistent, d.h. sie wechselwirken aufgrund eines geringen Sauerstoffgehalts nicht optimal mit den einfallenden Röntgenstrahlen, sodass auch hier eine Bestrahlung mit Protonen oder Ionen vorteilhaft wäre [1].

2. Funktionsweise der Teilchenbestrahlung

2.1. Dosisbeitrag bei Hadronen und Photonen

Figur 1 zeigt die Tiefenprofile des Dosisbeitrags verschiedener Strahlenarten in Wasser, das bezüglich der Strahlungsabsorption menschlichem Gewebe sehr ähnlich ist.

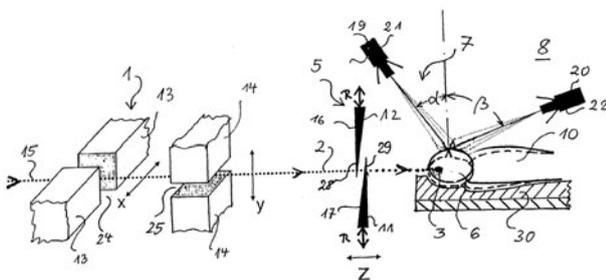


Figur 1: Tiefenabhängiger Dosisbeitrag verschiedener Strahlenarten in Wasser (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Prof. G. Kraft, Darmstadt).

Die Absorption hochenergetischer Röntgenstrahlung ist in Oberflächennähe am höchsten und fällt dann exponentiell mit der Tiefe im Gewebe ab; bei einer Bestrahlung von Tumoren mit Röntgenstrahlen ist es somit unvermeidlich, sowohl in das darüber- wie auch in das darunterliegende Gewebe ebenfalls hohe Strahlungsdosen einzubringen. Dieser Effekt wird dadurch abgemildert, dass der Tumor aus verschiedenen Richtungen bestrahlt wird, wobei ein Kollimator jeweils auf die aktuelle, aus einer früheren 3D-Aufnahme bekannte Querschnittsprojektion eingestellt wird (IMRT, „intensity modulated radiation therapy“). Auf diese Weise wird der Strahleneintrag in gesundes Gewebe möglichst gleichmäßig verteilt, während er sich im Tumor addiert.

Im Gegensatz dazu läuft der Abbremsprozess geladener Ionen bei Unterschreiten einer bestimmten Grenzgeschwindigkeit fast schlagartig ab; die dabei auftretende Singularität am Ende der Bremsstrecke wird als „Bragg-Peak“ und das Dosisprofil als „invertiert“ bezeichnet. Eine Herleitung und Diskussion der Abbremsformel (Bethe-Bloch-Formel) findet sich in [9], [4] und [21].

Wird nun die Energie des Hadronenstrahls bereits vor dem Eintritt in den Körper reduziert, entweder direkt durch Anpassung des Synchrotrons oder indirekt durch ein zusätzliches Absorberelement im Strahlpfad, so verschiebt sich die Position des Bragg-Peaks entsprechend nach links, näher zur Eintrittsstelle. Zusammen mit der mittels Magneten leicht zu bewerkstelligen lateralen Lenkung lässt sich der Bragg-Peak auf diese Weise gezielt auf jede Stelle des Tumorumfanges richten.



Figur 2: Raster-scanning-Methode (aus DE 100 31 074 A1).

Figur 2 fasst das Prinzip des sogenannten Raster-scannings zusammen: ein Ionenstrahl fester Energie wird über die Magneten 13, 14 in die Richtung des anvisierten Tumorumfanges lateral (d.h. in x- und y-Richtung) abge-

lenkt, während die verschiebbare Keilanordnung 5 die Eintrittsenergie in den Körper genau so verringert, dass der Bragg-Peak an der berechneten z-Koordinate im Körperinneren des Patienten auftritt. Die dabei erreichbare Positioniergenauigkeit des Bragg-Peaks von Seiten der Strahlableitung liegt bei $\Delta z = \pm 0,1 \text{ mm}$; in lateraler Richtung ist sie aufgrund der endlichen Breite des Strahls von ca. 2 mm (FWHM) auf $\Delta x = \Delta y \approx 1 \text{ mm}$ beschränkt [9].

Die Ansteuerung der Magnete und der Keilanordnung erfolgt dabei ausgehend von einem Bestrahlungsplan, in dem auf Basis eines dreidimensionalen Bildes die Position des Tumors relativ zum Körper erfasst ist und die Bestrahlungsdosis für jeden Punkt des Tumors so optimiert wurde, dass sein Volumen möglichst homogen bestrahlt wird und dabei das gesunde Gewebe möglichst ausgespart bleibt ([14], [22]). Im Falle der GSI-Anordnung wird die Partikelenergie direkt im Synchrotron angepasst, wofür über eine Parameter-Bibliothek 252 verschiedene Energiestufen, 7 Strahlgrößen sowie 15 Intensitätsstufen zur Verfügung stehen [9].

Das eigentliche Problem einer möglichst genauen Tumorbestrahlung liegt somit nicht bei der Strahlerzeugung und -lenkung. Vielmehr ist es die Beherrschung möglicher Positionsveränderungen des Patienten gegenüber dem der Behandlungsplanung zugrunde liegenden 3D-Bild, die verursacht werden können durch

- generelle Ungenauigkeiten in der Positionierung, z.B. der Patientenliege,
- Verschiebungen des Ionenstrahls bei einer beweglichen Strahlzuführung (Gantry),
- Bewegungen des Patienten (Positionsänderung des Patienten relativ zur Unterlage),
- periodische Bewegungen von an das Tumorumfange angrenzenden Bereichen, z.B. im Oberleib,
- Änderungen der Tumorumlage gegenüber dem zugrunde liegenden 3D-Bild sowie
- unterschiedliche Bremskraft einzelner (atypischer) Gewebe, die zu einer von der berechneten Lage abweichenden „effektiven“ Lage des Bragg-Peaks führen (z.B. sauerstoffarme Gewebe im Eintrittskanal vor dem Tumor, [21]).

Wie aus der obenstehenden Aufzählung ersichtlich, stellt die reproduzierbare Positionierung des Patienten und des Tumorumfanges die größte Herausforderung für eine möglichst präzise Bestrahlung dar; einzelne Punkte sollen daher im Folgenden überblicksartig anhand der vorhandenen Patent- und Nichtpatentliteratur diskutiert werden.

2.2. Positionierung

2.2.1. Generelle Positionierung des Patienten

Der Patient kann, beispielsweise für Bestrahlungen im Kopfbereich, auf einer Unterlage fixiert werden, wobei die Unterlage ganz oder teilweise der Körperform des Patienten angepaßt ist (US 2005/0284490 A1, WO 2005/018735 A2), so dass die äußere Position während der Bestrahlung sowie von einer Sitzung zur nächsten weitgehend konstant bleibt. Für eine sitzende Bestrahlungsposition, etwa bei Kopf- oder Augentumoren, kann der Patient an einem steuerbaren Stuhl befestigt werden (DE 100 25 913 A1, WO 1999/053998 A1, EP 1 479 411 A1, JP 08266650 A).

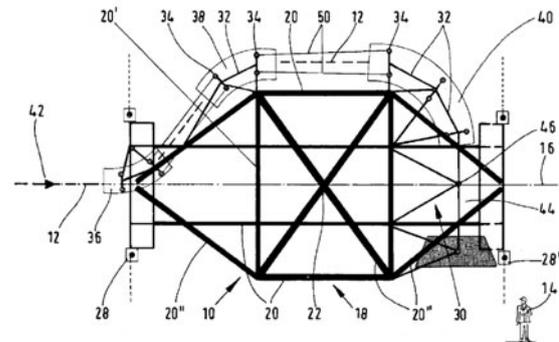
Eine möglichst genaue und zugleich relativ zum Behandlungsstrahl flexible Lokalisierung des Patienten wird durch Robotersysteme erreicht; dabei positioniert ein Industrieroboter den auf einer Liege oder einem Behandlungsstuhl immobilisierten Patienten vor dem Strahlaustrittsfenster oder für Kontrollzwecke vor einer bildgebenden Einrichtung (DE 10 2004 062 473 A1, WO 2005/018735 A2, DE 10 2004 013 174 A1).

2.2.2. Veränderung der Bestrahlungsrichtung

Zur Begrenzung von Strahlenschäden im Eingangskanal vor dem Tumor sowie für eine möglichst flexible Behandlungsplanung wäre es wünschenswert, den Ionenstrahl aus möglichst vielen unterschiedlichen Richtungen auf das Ziel lenken zu können. Dies kann über eine zusätzliche Ablenkheit (DE 100 10 523 A1) oder über eine Vielzahl ortsfester Strahlkanäle geschehen (EP 1 358 908 A1, US 2002/0030164 A1, DE 10 2004 025 502 A1, US 5 349 198 A); der flexibelste Ansatz scheint jedoch in der Verwendung einer sogenannten Gantry zu liegen, d.h. eines um den Patienten rotierenden Ablenkensystems [18]. Die hohe Teilchenenergie legt für klassische (d.h. nicht supraleitende) Systeme den Mindestradius der

Ablenkmagneten und somit die Größe der Anordnung fest, wobei die Gantry so ausgelegt sein muss, dass sie mögliche Verformungen aufgrund ihres Eigengewichts kompensiert (isokinetische Anordnung; Figur 3).

Das Gesamtgewicht einer derartigen Gantry für Kohlenstoffionen beläuft sich auf 600 t, wovon 420 t drehbar angeordnet sind [11].



Figur 3: Isokinetische Ionenstrahl-Gantry (aus EP 1 396 278 B1).

Reine Protonengantries können aufgrund der kleineren magnetischen Steifigkeit der Teilchenstrahlen deutlich kleiner ausgelegt werden (Gesamtgewicht ca. 100 t); eine zusätzliche Verdrehung der Patientenliege erlaubt eine weitere Kompaktierung (WO 2004/026401 A1, WO 2001/000276 A1, DE 102 48 476 A1), führt aber neue Freiheitsgrade in das Gesamtsystem ein.

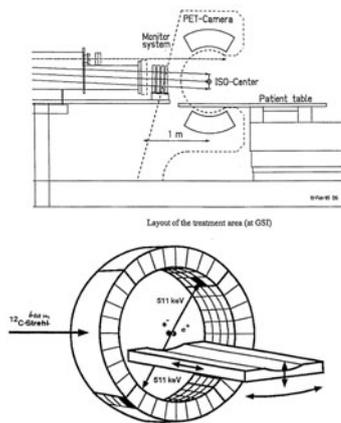
2.2.3. Relative Lage des Patienten zur Unterlage

Zur Kontrolle der Genauigkeit und Stabilität der relativen Lage des Patienten bezüglich der Unterlage sowie der Unterlage im Raum können aus der Radiotherapie bekannte Verfahren herangezogen werden, etwa eine optische Erfassung der Patientenkonturen (vgl. Figur 2; DE 198 05 917 A1), eventuell unterstützt durch an der Körperoberfläche positionsfest angebrachte Markierungen (US 2005/0281374 A1) oder durch fest installierte (DE 10 2004 048 212 A1, EP 1 454 653 A1) oder mobile Röntengeräte (DE 10 2004 062 473 A1), mit denen zugleich die Lage des Tumors kontrolliert werden kann. Auch hierbei können im Röntgenbild deutlich sichtbare Marker in Tumornähe angebracht werden (WO 1999/035966 A1).

2.2.4. Kontrolle der statischen Tumorposition

Eine Besonderheit der Hadronentherapie liegt im Vorhandensein eines internen Markers, der ausschließlich am Ort des Dosisetrags, also vor allem im Tumor, auftritt. Der

einfallende Teilchenstrahl (Figur 4, oben) hinterlässt bei der Durchquerung von Materie eine Spur von angeregten Atomkernen, die sich unter Abgabe jeweils eines Positrons in stabile Kerne umwandeln [5]. Positronen sind nicht stabil, sondern zerstrahlen zusammen mit je einem Elektron mit einer Halbwertszeit von etwa 1-10 Minuten, wobei je zwei korrelierte Gammaquanten in entgegengesetzten Richtungen austreten. Mit einem Ring von Szintillationsdetektoren um den Patienten herum (Figur 4, unten) können diese korrelierten Ereignisse in einem begrenzten Raumwinkelbereich erfasst werden.



Figur 4: PET-System (Positronen-Emissions-Tomographie aus WO 2002/063638 A); oben: der von links einfallende Ionenstrahl wird vor allem im Tumor („Isozentrum“) abgebremst und erzeugt dabei durch Stoßprozesse Kernumwandlungen. unten: Die entstehenden Positronen zerstrahlen und senden je ein Paar korrelierter Gammaquanten aus.

Dieses System ist prinzipiell geeignet für eine Echtzeit-Verfolgung des Bestrahlungsfortschritts [5], wobei noch intensiv an besseren Detektormaterialien und Auswertelgorithmen geforscht wird [6].

2.2.5. Kontrolle der dynamischen Tumorposition

Die Position von Tumoren im Oberleib (z.B. Lunge, Prostata, Gebärmutterhals) folgt der relativ regelmäßigen und langsamen Verschiebung des gesamten Bauchraums bei der Atmung. Dazu treten schnelle Änderungen im Herzbereich sowie spontane und schwer vermeidbare Umlagerungen des Darmbereichs [9].

Eine Berücksichtigung der Atmung kann durch Synchronisation mit einer bestimmten Atemlage erfolgen (US 5 949 080 A, JP 08276024 A, JP 2002143328 A); dies führt jedoch zu einer schlechteren Nutzung der Strahlzeit und somit zu längeren Bestrahlungen, die wiederum das Risiko

einer Positionsverschiebung des Tumors erhöhen [9].

EP 0 890 117 B1 zeigt einen internen Positionsmarker: Eine Anordnung von sechs winzigen Sensorspulen wird durch einen endoskopischen Eingriff am Tumor befestigt und liefert über die Richtungsabhängigkeit der Induktionsströme 50 Mal pro Sekunde Orts- und Winkelinformationen mit einer Auflösung von 1-2 mm bzw. 0,5-1° (vgl. [9]).

Ausgehend von einer zeitaufgelösten Ortserfassung lässt sich eine unterbrechungslose Bestrahlung durchführen, bei der die Verschiebungen des Tumors in Echtzeit in die Anpassung der Strahlablenkung eingehen [9].

2.2.6. Berücksichtigung von Gewebeeigenschaften

In DE 10 2004 028 035 A1 wird der unterschiedlichen Bremskraft der verschiedenen Gewebesorten Rechnung getragen, indem im Vorfeld der Bestrahlung entsprechende patientenspezifische Modelldaten erzeugt und in einer Tabelle abgelegt werden. Zur Kontrolle der Gewebeeigenschaften während der Bestrahlung kann ein gewebeabhängiges Kontrastmittel eingebracht werden, das während der Bestrahlung Signale im IR-, UV- oder sichtbaren Bereich abgibt (US 2005/0272967 A1).

3. Welche Methode, und zu welchem Preis?

3.1. Protonen oder Kohlenstoff, oder beides?

Figur 1 zeigt, dass für entsprechende Strahlenergien der formale Dosisertrag für Protonen und $^{12}\text{C}^{6+}$ -Ionen ähnlich ist. Hierbei ist jedoch nicht berücksichtigt, dass die relative biologische Wirksamkeit (RBE) von Kohlenstoffionen bei gleicher Dosis um einen Faktor 3 größer ist als bei Protonen und Photonen, da sie andere, effizientere Schädigungen an der DNS der Tumorzellen verursachen [1], die einige („radioresistente“) Tumorarten überhaupt erst behandelbar machen und in anderen Fällen eine deutlich kleinere Zahl von Behandlungen (3 - 4 statt 20 - 30) ausreichend erscheinen lassen ([1], [2]).

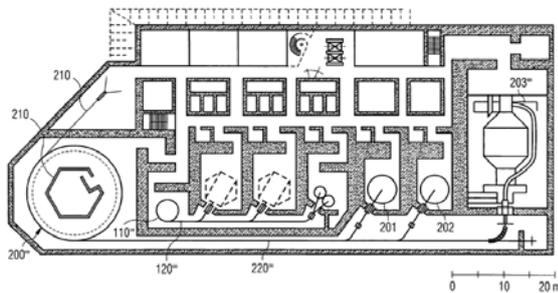
Ein weiterer Nachteil von Protonenstrahlen liegt in der deutlich größeren Strahlaufweitung im Gewebe, die zudem für größere Eindringtiefen stark zunimmt [9]; somit sind Kohlenstoffstrahlen dann besser geeignet, wenn die Tumoren tief sitzen oder extrem präzise Bestrahlungen entlang von Risikoorganen (Lunge, Nerven, ...) erforderlich sind.

Von 10 Millionen Europäern müssen sich pro Jahr 20.000 Personen einer Röntgenbestrahlung zur Tumorthherapie unterziehen ([2], [7]). Für über 15% von diesen, also für über 3.000 Patienten, wäre eine Hadronentherapie wahrscheinlich die bessere Behandlung, wobei hier in 30% der Fälle Kohlenstoffionen besser wären als Protonen [2].

Da die den Wirtschaftlichkeitsrechnungen zugrunde liegende Patientenzahl bei 1.000 - 2.000 pro Jahr und Therapieanlage liegt, ergibt sich ein rechnerischer Bedarf von etwa einem (zentralisierten) Protonenzentrum pro 10 Mio. Einwohner, wobei es in jedem dritten Fall sinnvoll erscheint, auch über Kohlenstoff-Strahlen zu verfügen.

3.2. Ionen oder Röntgen – die Frage der Finanzierung

Figur 5 zeigt die Prinzipskizze einer kombinierten Anlage für Protonen und Kohlenstoffionen, wie sie dem aktuell im Bau befindlichen Heidelberger Projekt zugrunde liegt. Neben der Größe des Synchrotrons 200 und der Gantry 203" fallen die massiven Betonwände auf, die zur Abschirmung der Sekundärteilchen erforderlich sind.



Figur 5: Kombinierte Bestrahlungsanlage für Protonen Kohlenstoffionen (aus DE 102 61 099 A1).

Aufgrund des großen baulichen und apparativen Aufwands liegen die Investitionskosten zwischen etwa 63 Mio. € und 100 Mio. € für eine reine Protonen- bzw. eine kombinierte Proton-/Kohlenstoff-Anlage ([8], [2], [16]). Da dieser Summe lediglich 17 Mio. € für eine Röntgentherapieanlage gegenüberstehen [8], stellt sich die Frage nach der Rentabilität der neuen Therapiemethode sowie nach den durchschnittlichen Behandlungskosten. Die Schätzungen hierfür liegen derzeit bei dem 2,4-fachen für eine komplette Tumorthherapie (20-30 Bestrahlungstermine), wobei jedoch in dieser Kalkulation die wesentlich höheren, weitgehend kreditfinanzierten Investitionskosten voll berücksichtigt sind und mit 42% der laufenden Kosten zu Buche schlagen.

Abgesehen von der Fragwürdigkeit einer rein betriebswirtschaftlichen Kalkulation gerade bei der Einführung neuer Technologien trägt diese Betrachtung der Tatsache nicht Rechnung, dass mit Protonen- und Ionenstrahlen nicht andere Therapien ersetzt werden sollen, sondern bisher nicht oder schwer zu behandelnde Tumoren anvisiert sind, die auch ohne Behandlung neben dem schwer zu rechtfertigenden menschlichen Leid hohe Kosten verursachen.

Die obige Kalkulation berücksichtigt auch nicht, dass Hadronentherapien teilweise deutlich schneller, d.h. mit weniger Bestrahlungen in kürzeren Abständen, verlaufen, wodurch der Patient eher wieder ins Berufsleben zurückkehren kann; bisherige Erfahrungen lassen auch auf eine geringere stationäre Nachsorge nach jeder Bestrahlung hoffen [10]. Daneben wurden, allerdings auf einer derzeit noch unbefriedigenden statistischen Basis, deutlich geringere langfristige Nebenwirkungen und Rückfallraten beobachtet, was wiederum in einer Gesamtkostenbilanz zu berücksichtigen wäre ([3], [15], [17]).

Bezüglich der Kostenübernahme liegen bereits positive Zusagen einiger Krankenkassen vor, die sich allerdings eine fallbezogene Beurteilung vorbehalten [19].

4. Ausblick und Plädoyer: Hadronentherapie als Technologieträger

Nach mehreren Jahrzehnten Grundlagenforschung steht die Hadronentherapie an der Schwelle zur Routineanwendung. Der plötzliche Bedarf an hochpräzisen, stabilen und auch preiswerten Lösungen löste einen wahren Entwicklungsschub bei Forschungsinstituten und Lieferanten aus, der bereits jetzt zu bemerkenswerten neuen Ansätzen für Beschleunigersysteme (Zyklotrons und Synchrotrons mit supraleitenden Magneten, Beschleunigung mit Lasern), neuen Materialien mit hohem Querschnittsnutzen (z.B. für PET-Detektoren) und komplexen Softwarelösungen geführt hat ([6], [12]).

Das für eine optimale Bestrahlung notwendige Verständnis der Wechselwirkungen von ionisierender Strahlung mit biologischem Gewebe vereint beispielhaft unterschiedlichste Disziplinen von der Medizin über die Strahlenphysik bis hin zur Weltraumforschung, und man verspricht sich von den apparativen Verbesserungen auch

interessante *spin-offs* für andere Bereiche wie die Materialbearbeitung mit Ionenstrahlen in der Halbleiterindustrie [13].

Literatur

- [1] AMALDI, U. Hadrontherapy in the World. - In: Proceedings of NUPECC, 2001. <http://www.nupecc.org/iai2001/report/B32.pdf>.
- [2] AMALDI, U., KRAFT, G. Recent Applications of Synchrotrons in Cancer Therapy with carbon ions. - In: *europhysics news*, 2005, Band 7, S. 114-118.
- [3] BLAKELY, E.A., CHANG, P.Y. Late Effects from Hadron Therapy. - In: *Radiotherapy and Oncology*, 2004, Band 73 (Suppl. 2), S. 134-140.
- [4] BOON, S.N. Dosimetry and Quality Control of Scanning Proton Beams. - Dissertation, Universität Groningen, 1998; <http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/science/1998/s.n.boon>.
- [5] ENGHARDT, W. et al. Ionenstrahlen werden sichtbar. Tumortherapie-Kontrolle mit PET - vom Kohlenstoff zu den Protonen. - In: *Mensch und Umwelt* 2001/2002, S. 47-52.
- [6] ENLIGHT++ network; <http://enlight.web.cern.ch>.
- [7] GLIMELIUS, B. et al. Number of Patients Potentially Eligible for Proton Therapy. - In: *Acta Oncologica*, 2005, Band 44, S. 836-849.
- [8] GOITEIN, M., JERMANN, M. The Relative Costs of Proton and X-Ray Radiation Therapy. - In: *Clinical Oncology*, 2003, Band 15 (Suppl.), S. 37-50.
- [9] GRÖZINGER, S. Volume Conformal Irradiation of Moving Target Volumes with Scanned Ion Beams. - Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2004; <http://elib.tu-darmstadt.de/diss/000407>.
- [10] Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH (GSI), persönliche Mitteilung Dr. I. Peter, 2005.
- [11] HABERER, T. Advances in Charged Particle Therapy - From a National Lab to the Clinical Environment. - In: FIAS Seminar, Frankfurt a.M., 2006; http://fias.uni-frankfurt.de/iship2006/talks/haberer_iship.pdf.
- [12] JONES, B. HCPBM and ENLIGHT Meetings, Oropa (Italy), June 2005. - In: *British Journal of Radiology*, 2006, Band 79, S. 278-284.
- [13] JU, G. 50 MeV Proton Beam Test Facility for Low Flux Beam Utilization Studies of PEEP. - In: http://www.kaeri.re.kr/npet/proton/cgi/news/data/apac/APAC_02.pdf.
- [14] KRAFT, G. Physics of Carbon Ions and Principles of Beam Scanning. - PTCOG Meeting, Darmstadt, 2005; http://www-aix.gsi.de/~bioguest/ptcog/Kraft_GSI_Carbon_Sattelite_Dec_9_05.ppt.
- [15] LIEVENS, Y., BOGAERT, W. Proton Beam Therapy: Too Expensive to Become True? - In: *Radiotherapy and Oncology*, 2005, Band 75, S. 131-133.
- [16] PAGANETTI, H., BORTFELD, T. Proton Beam Radiotherapy - the State of the Art. - AAPM 47th meeting, Seattle, 2005; <http://www.aapm.org/meetings/05AM/PRAbs.asp?mid=18&aid=4016>.
- [17] POMMIER, P. Light Ion Facility Projects in Europe: Medico-Economic Features; <http://www.estroweb.org/ESTRO/upload/ENLIGHT/WP6-HCPBMAbstractLyonOct2003.pdf>.
- [18] REIMOSER, S. Development and Engineering Design of a Novel Exocentric Carbon-Ion Gantry for Cancer Therapy. - Dissertation, Technische Universität Wien, 2000; <http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/preprints/thesis/thesis-2000-015.pdf>.
- [19] RINECKER, H. Protonentherapie, Herbig-Verlag, München, 2005, ISBN: 3-7766-2422-1.
- [20] SISTERSON, J. (Hrsg.), *Particles Newsletter #35*, 2005; <http://www.ptcog.com/particles/Particles%2035%20Jan%202005.pdf>.
- [21] TELES, P.R. Hadronterapia. - Dissertation, Universität São Paulo, 2006; <http://fma.if.usp.br/~patrebel/tesepat.pdf>.
- [22] WEBER, U. et al. Depth Scanning for a Conformal Ion Beam Treatment of Deep Seated Tumours. - In: *Physics in Medicine and Biology*, 2000, Band 45, S. 3627-3641.
- [23] WILSON, R.R. Radiological Use of Fast Protons. - In: *Radiology*, 1946, Band 47, S. 487-491.

Fahrdynamik-Regelsysteme

Dr.-Ing. Jan-Friedrich Süßmuth, Abt. 1.21

Dieser Beitrag befasst sich mit Fahrdynamik-Regelsystemen für Kraftfahrzeuge und stellt an Hand von Beispielen aus der Patentliteratur die Giergeschwindigkeits- und Schwimmwinkelregelung, die Wankstabilisierung, Entwicklungen zur automatischen Fahrertyperkennung und Regelparameteranpassung sowie zur Gespannstabilisierung vor.

1. Einleitung

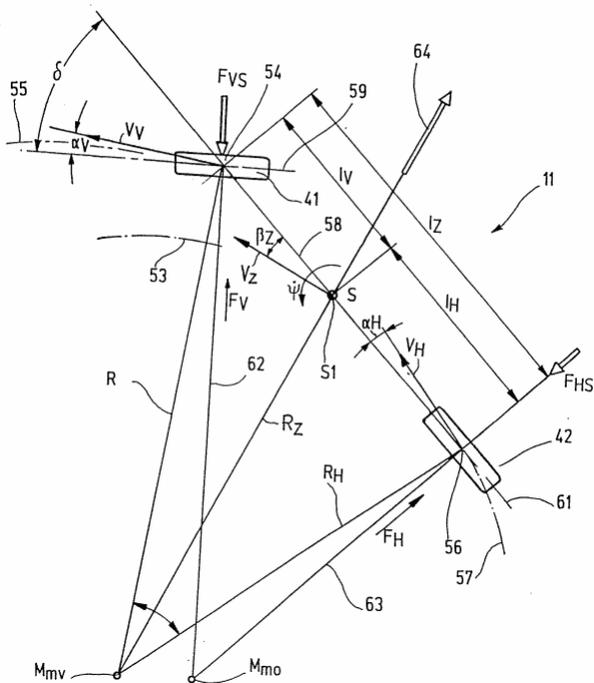
Fahrdynamik-Regelsysteme erfreuen sich stetig wachsender Beliebtheit. Ihre Technologie basiert im Kern auf den altbewährten Sicherheitssystemen Antiblockiersystem (ABS) und Antriebsschlupfregelung (ASR). Diese können durch Regelung des Radschlupfes mittels Steuerung des Bremsdrucks und des Motormoments die Lenkfähigkeit des Fahrzeugs beim Bremsen weitgehend erhalten und Traktionsverlust bzw. Ausbrechen beim Beschleunigen verhindern. Weicht jedoch die tatsächliche Fahrtrichtung des Fahrzeugs vom Fahrerwunsch ab, tritt also Übersteuern oder Untersteuern z.B. beim Durchfahren einer Kurve oder bei einem Spurwechsel auf, entsteht schnell ein fahrdynamisch kritischer Zustand, der mit ABS/ASR allein nicht beherrscht werden kann. Wenn die Grenze der Haftreibung bzw. des der maximalen Haftreibung zugeordneten Radschlupfs an einem oder mehreren Reifen des Fahrzeugs überschritten ist bzw. Räder beginnen abzuheben, kann der betroffene Reifen kaum noch seitliche Führungskräfte übertragen. Das Fahrzeug folgt dann nicht mehr dem vom Fahrer durch den Lenkwinkel vorgegebenen Kurs. Ein Fahrdynamik-Regelsystem kann hier unter Ausnutzung der bereits im Fahrzeug vorhandenen Funktionalitäten von ABS/ASR zur Bremsdrucksteuerung eingreifen und durch gezieltes Abbremsen einzelner Räder die tatsächliche Fahrzeugbewegung soweit physikalisch möglich an das vom Fahrer erwartete Fahrverhalten anpassen. Fahrdynamik-Regelsysteme bedeuten somit nicht die von manchen Kraftfahrern befürchtete „Bevormundung“ durch einen Automaten, sondern machen vielmehr Fahrzeuge bis in fahrphysikalische Grenzbereiche hinein auch für durchschnittliche Fahrer beherrschbar.

Zahlreiche herstellerspezifische Bezeichnungen für

Fahrdynamik-Regelsysteme oder Fahrstabilitäts-Regelungen wie ESP, DSC, ESC und VSC sind bekannt. Im Folgenden werden beispielhaft Patentanmeldungen aus den IPC-Klassen B60T 8/60, B60T 8/24 und B62D 37/00 vorgestellt, die sich im Bereich der Fahrdynamik-Regelsysteme mit der Giergeschwindigkeits- und Schwimmwinkelregelung, der Wank- bzw. Kippstabilisierung, der Fahrertyperkennung und Anpassung der Regelungsparameter sowie der Gespannstabilisierung befassen.

2. Giergeschwindigkeits- und Schwimmwinkelregelung

Wesentliche Kenngrößen, die das Fahrverhalten charakterisieren, sind die Giergeschwindigkeit und der Schwimmwinkel sowie deren zeitliche Ableitungen. Unter Giergeschwindigkeit wird die Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung des Fahrzeugs um seine Hochachse verstanden. Bei jeder Kurvenfahrt, insbesondere aber beim Schleudern, führt ein Fahrzeug Bewegungen mit einer Gier(winkel)geschwindigkeit ($\dot{\psi}$ in Figur 1) aus. Der Schwimmwinkel (β_z in Figur 1) beschreibt den Winkel zwischen der Fahrzeuglängsachse und der Richtung der Fahrzeug-Schwerpunktsgeschwindigkeit (v_z in Figur 1). Anschaulich ist der Schwimmwinkel somit ein Maß für das seitliche Rutschen des Fahrzeugs im Verhältnis zu seiner Längsbewegung. Um die Ist-Größen des Fahrzustands und den Richtungswunsch des Fahrers (Lenkwinkel δ in Figur 1) zuverlässig bestimmen zu können, verfügt ein Fahrdynamik-Regelsystem über eine gegenüber ABS/ASR erweiterte Sensorik, mit z.B. einem Giergeschwindigkeitssensor, einem oder mehreren Querbeschleunigungssensoren und einem Lenkwinkelsensor.

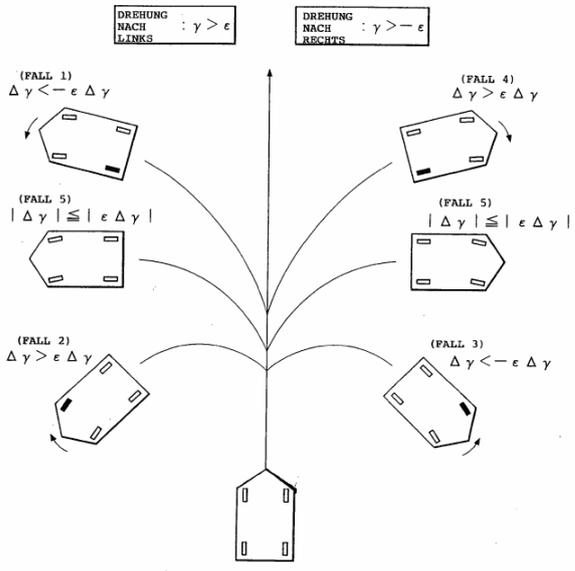


Figur 1: Einspurmodell (aus DE 198 12 237 C1).

Ausgehend hiervon ist die Struktur der Fahrdynamik-Regelsysteme im Grundsatz stets ähnlich: Zunächst wird das Fahrzeug auf ein vereinfachtes theoretisches Fahrzeugmodell abgebildet, z.B. auf ein Einspurmodell (vgl. Figur 1). Beim Einspurmodell ist das Fahrzeug auf ein einspuriges Fahrzeug mit je einem Vorder- und Hinterrad reduziert und hat die zwei Freiheitsgrade Gieren und Schwimmen. Zweispurmodelle finden ebenfalls Verwendung, allerdings ist der Rechenaufwand dabei erheblich höher. Basierend auf dem Fahrzeugmodell wird dann unter Berücksichtigung der Fahrervorgaben Lenkwinkel δ , Brems-Vordruck und Gaspedalstellung sowie konstruktiver Kenngrößen und ggf. Rahmenbedingungen wie dem geschätzten Straßenreibwert ein Soll- oder Referenz-Fahrverhalten ermittelt, das durch Soll-Größen für Giergeschwindigkeit $\dot{\gamma}$ und/oder Querbeschleunigung a_y und/oder Schwimmwinkel β repräsentiert wird.

Aus der Abweichung zwischen Soll- und Istgrößen wird schließlich ermittelt, welche Kräfte bzw. Momente auf das Fahrzeug aufgebracht werden müssen, um das Ist-Fahrverhalten so weit wie möglich an das Soll-Fahrverhalten anzugleichen. Figur 2 zeigt schematisch am Beispiel einer Giergeschwindigkeitsregelung, welche Maßnahmen sich aus obigen Betrachtungen ergeben

können: Tritt beispielsweise ein untersteuerndes Fahrverhalten in einer Linkskurve auf, weil die Vorderräder nicht in ausreichendem Maße Seitenkräfte aufbringen können, wird durch Abbremsen des kurveninneren Hinterrades an diesem zunächst eine Längskraft aufgebaut. Infolge der Trägheitskräfte des Fahrzeugs entsteht dadurch ein Giermoment nach links. Das Fahrzeug wird somit durch ein zusätzliches Giermoment in Richtung auf neutrales Fahrverhalten hin beeinflusst (vgl. Figur 2, Fall 1). Gleichzeitig führt die am kurveninneren Hinterrad erzeugte Längskraft zu einer Reduzierung der Seitenführungskraft dieses Rades, was den Lenkvorgang zusätzlich unterstützt.



Figur 2: Bremseneingriffe zur Giergeschwindigkeitsregelung (aus DE 196 43 197 B4).

Vergleichbare Verfahren für derartige Giergeschwindigkeits- und/oder Schwimmwinkel-Regelungen durch Bremseneingriffe bei Unter- und Übersteuern finden sich u.a. in den Druckschriften DE 198 54 633 C2, DE 199 52 308 C2, DE 100 54 647 A1, DE 100 61 075 A1, DE 101 19 907 A1, DE 101 22 654 A1, DE 102 22 231 A1, DE 102 39 254 A1 und DE 103 25 486 A1.

3. Wankstabilisierung

Während die Grundfunktion der Giergeschwindigkeits- und Schwimmwinkelregelung für klassische Limousinen bereits ein hohes Maß an Sicherheit bietet, gilt dies für viele Nutzfahrzeuge, Vans sowie die sog. Sports-Utility-Vehicles (SUV) nur eingeschränkt. Diese Fahrzeuge weisen häufig eine in Bezug zur Radbasis hohe Schwerpunktlage auf,

kurvenäußeren Vorderrad durch Öffnen des Auslassventils rasch zurückgenommen, könnte infolge der dann plötzlich hohen Seitenführungskraft des Rades ein kippkritischer Zustand entstehen. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken, erfolgt während der Regelung eine Beobachtung mehrerer querdynamischer Kenngrößen wie Giergeschwindigkeit und Querbeschleunigung. Überschreiten diese gewisse Schwellenwerte, wird das Taktverhältnis der Auslassventil-Steuerung so modifiziert, dass ein sanftes Absenken des Bremsdruckes und damit ein „weicher“ Übergang des Fahrdynamik-Eingriffs in den Normalbetrieb realisiert wird. Zur gleichzeitigen Verhinderung von Untersteuern und Kippen werden vorzugsweise beide Hinterräder abgebremst, was zu einer stabilisierenden Verringerung der Fahrzeuggeschwindigkeit führt. Ist die tatsächliche Kippneigung des Fahrzeugs beim Untersteuern gering, wird die Bremskraftverteilung zwischen den Hinterrädern so geändert, dass das kurveninnere Hinterrad stärker gebremst wird als das kurvenäußere. Es liegen dann annähernd die Verhältnisse einer reinen Giergeschwindigkeitssteuerung vor.

Den Übergang einer Kippstabilisierungsregelung in den normalen Fahrbetrieb hat die DE 103 56 827 A1 zum Thema. Diese Anmeldung geht von einem Kippstabilisierungssystem aus, das als Kenngröße für die Kippgefahr eine Querdynamikgröße benutzt. Gelangt diese Kenngröße durch einen Bremseneingriff unter einen Abschalt-Schwellenwert und wird daraufhin die Regelung abgeschaltet, kann das Fahrzeug kippen, wenn der Lenkwinkel und die Fahrgeschwindigkeit nach wie vor hoch sind. Indem die Aktivierung des Bremseneingriffs nicht nur von der Querdynamik, sondern auch von Lenkwinkel und Fahrgeschwindigkeit abhängig gemacht wird, kann diese Gefahr vermieden werden. Dies bedeutet insgesamt eine Verfeinerung des Eingriffs durch die Hinzunahme weiterer Meßgrößen.

In die gleiche Richtung zielt das Kippstabilisierungssystem gemäß der DE 10 2004 006 696 A1, das Größen wie Fahrzeugmasse und Schwerpunkthöhe ermittelt, um mit diesen Daten das Reglerverhalten optimal abzustimmen.

Die Anpassung der Regelung an den aktuellen Beladungszustand des Fahrzeugs hat auch das in der DE 103 59 216 A1 angegebene Verfahren zum Ziel. Hier wird

das Kippverhalten nach jedem Start des Fahrbetriebs neu „gelernt“, indem bei stationären und dynamischen Fahrsituationen die Zusammenhänge zwischen Lenkwinkel und Seitenneigung bzw. Lenkwinkelgeschwindigkeit und Rollrate ausgewertet werden. Weitere Beispiele für die Berücksichtigung auch unsymmetrisch verteilter Ladung im Fahrzeug liefern die DE 199 58 221 A1 und die DE 198 30 189 A1. Die Verschiebung von flüssiger Ladung durch Seitenkräfte, z.B. in einem Tanklastzug, wird durch ein Fahrzeugstabilisierungs-Verfahren gemäß der DE 198 27 882 A1 berücksichtigt.

Ein Verfahren, die Kipptendenz eines Fahrzeugs besonders frühzeitig, noch vor dem Abheben eines kurveninneren Rades, zu erkennen, ist in der DE 103 31 726 A1 beschrieben. Dazu werden nicht die Radaufstandskräfte selbst zur Erkennung der Kipptendenz betrachtet, sondern die Summen der Rad-Seitenkräfte an Vorder- und Hinterachse, die erfahrungsgemäß jeweils ein Maximum erreichen, bevor ein Abheben des kurveninneren Rades eintritt. Durch diesen zeitlichen Vorteil lassen sich besonders früh stabilisierende Maßnahmen, z.B. Bremseneingriffe, veranlassen bzw. eine Fahrerwarnung ausgeben.

Das in der DE 101 49 190 A1 vorgeschlagene Verfahren beschränkt sich demgegenüber nicht darauf, eine erkannte Kippgefahr durch einen stabilisierenden Eingriff zu beseitigen, sondern es wird dort der Wankwinkel des Fahrzeugs auf einen fahrsituationsabhängig gebildeten Soll-Wankwinkel eingeregelt.

Ein besonderes Stabilitätsproblem von Fahrzeugen mit kurzem Radstand und hohem Schwerpunkt behandelt schließlich die DE 100 65 590 A1. Hier wird der Überschlag nach hinten, wie er beim Bremsen aus der Rückwärtsfahrt auf einer geneigten Fahrbahn auftreten kann, durch gezieltes Herabsetzen der Bremskraft, in diesem Fall vorzugsweise an den Hinterrädern, vermieden.

4. Fahrertyperkennung und Parameteranpassung

Für viele Menschen bedeutet Autofahren auch das Ausleben von Emotionen und so empfindet mancher Fahrer ein Fahrdynamik-Regelsystem als „Spaßbremse“, wenn z.B. die gewollte schwungvolle Drift auf einem

vereisten Parkplatz infolge der Regelungseingriffe zu einer sanften Kurvenfahrt verkommt. Natürlich besteht meist die Möglichkeit, die Regelung ganz abzuschalten, allerdings ist damit zunächst die Gefahr verbunden, das Wiedereinschalten zu vergessen und schließlich ist es auch für den sportlichen Fahrer wünschenswert, dass im Extremfall mögliche Fahrfehler durch ein Sicherheitssystem abgefangen und schwere Folgen vermieden werden.

Ein sportlicher, mit seinem Fahrzeug vertrauter Fahrer möchte z.B. sein auf glatter Fahrbahn in der Kurve übersteuerndes Fahrzeug durch Gasgeben und Zurücklenken am Kurvenausgang wieder gerade stellen. Dieses Manöver gelingt jedoch nur, wenn bereits während der Kurvenfahrt das Übersteuern von der Fahrdynamikregelung toleriert wurde. Die DE 101 54 028 A1 beschäftigt sich mit einer derartigen Anpassung eines Fahrdynamikreglers an sportlich abgestimmte Fahrzeuge. Dazu wird die Empfindlichkeit des Reglers dahingehend verändert, dass größere Regelabweichungen zwischen Soll- und Ist-Giergeschwindigkeit zugelassen und in diesem erweiterten Bereich keine Regeleingriffe durchgeführt werden.

Die Vorrichtung gemäß DE 101 30 659 A1 ermöglicht dem Fahrer, selbst über ein Potentiometer oder einen Schalter einzustellen, in welchem Maß er sich dem fahrdynamischen Grenzbereich annähern bzw. in ihn hineinfahren will. Ausgangspunkt ist eine Grundeinstellung von einem bei Kurvenfahrt tolerierten Schwimmwinkel des Fahrzeugs von 8°. Um eine automatische Anpassung der Regelparameter an den Fahrertyp durchführen zu können, muss dieser hinreichend sicher erkannt werden. Dies ist mit den üblichen Messsignalen nicht einfach: Während bei trockener Straße die Höhe der Querbeschleunigung bereits ein hinreichendes Maß für die „Sportlichkeit“ des Fahrers ist, genügt diese Kenngröße bei winterglatter Straße nicht mehr, da sich dann keine hohen Querbeschleunigungen erzielen lassen. Zusätzlich werden daher gemäß dieser Anmeldung die Radschlüpfе sowie die Art der Betätigung von Brems- und Fahrpedal und Lenkrad zur Beurteilung herangezogen.

In der DE 196 51 760 A1 wird vorgeschlagen, in Abhängigkeit vom Drosselklappenwinkel bzw. der

Fahrpedalbetätigung die auf dem Lenkwinkel und der Fahrzeuggeschwindigkeit basierende Soll-Giergeschwindigkeit zu einem größeren Wert hin zu korrigieren. Dadurch soll der Absicht des Fahrers Rechnung getragen werden, eine scharfe Drehung des Fahrzeugs durch starkes Gasgeben auszulösen. Zusätzlich wird der Bremskraftwert am kurveninneren Hinterrad (bei Untersteuern) gegenüber einem Normalbetrieb erhöht und der Bremskraftwert (bei Übersteuern) am kurvenäußeren Vorderrad verringert. Mit einem Moduswahlschalter kann zwischen Normalmodus, der eine Fahrdynamikregelung auf neutral steuerndes Fahrverhalten umsetzt, und Sportmodus umgeschaltet werden.

Bei dem aus der DE 199 64 032 A1 bekannten Verfahren erfolgt nicht allein durch Betätigung eines Schalters die Veränderung der Reglercharakteristik, sondern es wird zusätzlich eine Fahrertyperkennung durchgeführt. Je schneller und enger Kurven befahren werden, desto sportlicher wird der Fahrer eingestuft. In Abhängigkeit von dieser Einstufung erfolgt eine variable Erhöhung der zulässigen Schwimmwinkel des Fahrzeugs ausgehend von beispielsweise 15°, die dem maximalen Schwimmwinkel einer konventionellen Fahrstabilitätsregelung entsprechen. Durch diese Einrichtung wird es dem Fahrer u.a. ermöglicht, einen „Powerslide“ durchzuführen.

Um mit einem Fahrzeug, das gefährdete Personen oder Wertgegenstände transportiert, eine so genannte Fluchtwende, also eine Drehung um 180° zum Beispiel vor einer Straßensperre, durchzuführen, sind besondere Maßnahmen nötig. Ausgehend von Geradeausfahrt erfolgt das Einleiten einer Gierbewegung durch Betätigen des Lenkrads und insbesondere das Blockieren der Hinterräder mit der manuell betätigten Feststellbremse, um ein Ausbrechen der Hinterachse zu ermöglichen. Ein Fahrdynamikregelsystem würde in dieser Situation versuchen, durch Abbau der Seitenkräfte am kurvenäußeren Vorderrad die starke Gierbewegung zu unterdrücken, was die Absicht des Fahrers, die Fahrtrichtung rasch zu wechseln, vereiteln würde. Das in der DE 198 13 019 A1 vorgeschlagene System prüft deshalb, ob eine auf die Hinterräder wirkende Feststellbremse oberhalb eines bestimmten Geschwindigkeitsschwellwertes betätigt wird und

unterbindet daraufhin Regelungseingriffe. Der geübte Fahrer kann das Fahrzeug in dieser Situation folglich so bedienen, als hätte es keine Fahrdynamikregelung.

Die Fahrzeugcharakteristik kann neben der Variation von Schwellenwerten bzw. Reglerempfindlichkeiten auch durch die Auswahl verschiedener Referenzmodelle, z.B. für sportliches oder komfortables Fahrverhalten, an das Fahrerverhalten angepasst werden. Da die Referenzmodelle für die Sollwertbildung von Giergeschwindigkeit bzw. Schwimmwinkel herangezogen werden, können jedoch beim Übergang von einem Referenzmodell zum andern Sprünge in den Sollwerten auftreten, die vom Fahrer als unangenehm empfunden werden oder sogar zu Fahrinstabilitäten führen können. Hierzu ist in der DE 103 29 279 A1 die Idee veröffentlicht, einen gleitenden Übergang zwischen zwei Modellen dadurch zu erzielen, dass Zwischen-Sollwerte so aus den Sollwerten beider Modelle gebildet werden, dass sich der gewünschte kontinuierliche Übergang ergibt.

Aus der DE 10 2004 019 832 B3 ist der Vorschlag zu entnehmen, das Fahrzeugumfeld mit bildgebender Technik zu beobachten und so den Schwimmwinkel zu messen. Der bei konventioneller Sensorik üblicherweise auf Schätzungen auf der Basis von Giergeschwindigkeit, Raddrehzahlen, Querschleunigung u.a. beruhende Schwimmwinkel kann so besonders genau gemessen werden. Dies insbesondere auch bei speziellen Fahrsituationen, wie etwa einer gleichförmigen Drift auf eisglatter Fahrbahn. Da die vorgesehenen Bildaufnahmesysteme auch den Straßenzustand und Verkehrsbedingungen erkennen, können entsprechende Regelungsmodi für sportliches oder sicherheitsbetontes Fahren automatisch ausgewählt werden. Alternativ gibt das Fahrdynamik-Regelsystem dem Fahrer lediglich eine Empfehlung für die Modus-Auswahl.

Das in der DE 10 2004 035 039 A1 beschriebene Fahrdynamikregelsystem erkennt allgemein erschwerte Bedingungen, wie erhöhte Zuladung, Anhängerbetrieb oder auch Regen, und veranlasst bereits bei niedrigeren Schwellenwerten als im Normalbetrieb stabilisierende Eingriffe.

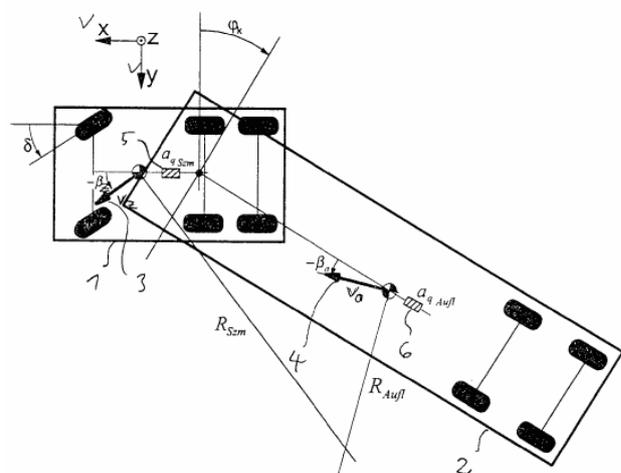
Zusätzlich zu einem per Wahlschalter einschaltbaren

Sportmodus sieht das Stabilisierungssystem gemäß der DE 10 2004 015 311 A1 auch die Auswahl von Untergrundmodi vor, um für so verschiedene Anwendungsfälle wie Straßenfahrt und Bachbettklettern eine optimale Reglerabstimmung einzustellen oder um vortriebshemmende Bremsengriffe bei weichem Untergrund wie Sand oder Schlamm zu unterdrücken.

5. Gespannstabilisierung

Fahrzeuggespanne (vgl. Figur 4), die aus einem Zugfahrzeug und einem Sattelaufleger bzw. Deichselanhänger bestehen, oder allgemein mehrgliedrige Fahrzeuge, weisen besondere fahrdynamische Eigenschaften wie die Neigung zum Schlingern, Einknicken und Kippen auf.

Der Einsatz von Fahrdynamik-Regelsystemen steht hierbei im Bereich der Nutzfahrzeuge vor der Herausforderung, dass Zugmaschinen auf Grund der Eigenart des Güterverkehrs mit ständig wechselnden Anhängern verbunden werden, die sehr unterschiedliche technische Ausstattungen aufweisen können. Bei den für Sport- und Freizeit Zwecke genutzten Anhängern stellt sich dagegen das Problem, dass diese in der Regel nur mit einfachen und kostengünstigen Auflaufbremsen ausgestattet sind. Die für die Anhängerstabilisierung vorgesehenen Fahrdynamik-Regelsysteme lassen sich vor diesem Hintergrund in zwei Gruppen gliedern, deren Unterschied darin liegt, ob im Anhänger selbst Sensorik erforderlich ist, oder ob fahrdynamisch kritische Zustände allein über Sensorik im Zugfahrzeug erkannt werden.



Figur 4: Gespann gemäß DE 103 38 879 A1.

Das in der DE 198 59 953 A1 veröffentlichte Gespann-Stabilisierungssystem beruht auf der Messung einer Knickwinkelgröße, die den Winkel zwischen Zugfahrzeug- und Anhängerlängsachse beschreibt. Diese Größe wird mit einer geschwindigkeitsabhängig gebildeten Referenzgröße verglichen. Im Sinne einer Schwellwertüberwachung erfolgen Eingriffe in die Radbremsen des Anhängers bzw. Sattelauflegers. Alternativ kann, da der Knickwinkel als gemessener Ist-Wert vorliegt, auch eine echte Knickwinkel-Regelung durchgeführt werden, wobei dann die Referenzgröße den Knickwinkel-Sollwert darstellt. Den gemessenen Ist-Knickwinkel benützt auch der Vorschlag gemäß DE 199 53 413 A1, um im Falle einer Instabilität Steuersignale an die Anhängerbremsen auszugeben. Zusätzlich ist vorgesehen, beim Rückwärts-Rangieren des Gespanns die Bremsen des Anhängers einseitig zu betätigen, um dessen Bewegung in die jeweils gewünschte Richtung zu unterstützen. Weitere Beispiele für derartige Gespann-Stabilisierungssysteme sind der DE 199 64 164 A1, DE 100 07 526 A1, DE 100 19 817 A1, DE 10 2004 033 474 A1, DE 198 02 041 A1 und der DE 198 12 237 C1 zu entnehmen.

Um mit so wenig Sensorik wie möglich auszukommen, soll gemäß DE 101 28 692 A1 die Querb beschleunigung der Zugmaschine aus deren Raddrehzahlen geschätzt werden. Überschreitet der Querb beschleunigungswert für eine gewisse Zeit einen Schwellenwert bei gleichzeitig hoher Geschwindigkeit wird der Anhänger abgebremst, um ein Schlingern und Kippen zu vermeiden. Sollte der Anhänger kein ABS aufweisen, wird intermittierendes Bremsen veranlasst. Ein vergleichbares Vorgehen offenbart die DE 10 2004 036 089 A1.

Die Aufgabe, ein Maß für eine geschätzte Querb beschleunigung eines Sattelauflegers zu ermitteln, löst das aus der DE 103 46 434 A1 bekannte Verfahren dadurch, dass eine Kenngröße aus der gemessenen Zugmaschinen-Querb beschleunigung und der gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeit verwendet wird.

Die Betätigung der Anhängerbremsen, entweder durch den Fahrer oder durch ein Fahrdynamik-Regelsystem, kann durch den Abbau von Rad-Seitenkräften selbst ein Ausschwingen des Anhängers oder Sattelauflegers hervorrufen, wenn die Bremsbetätigung bei Kurvenfahrt

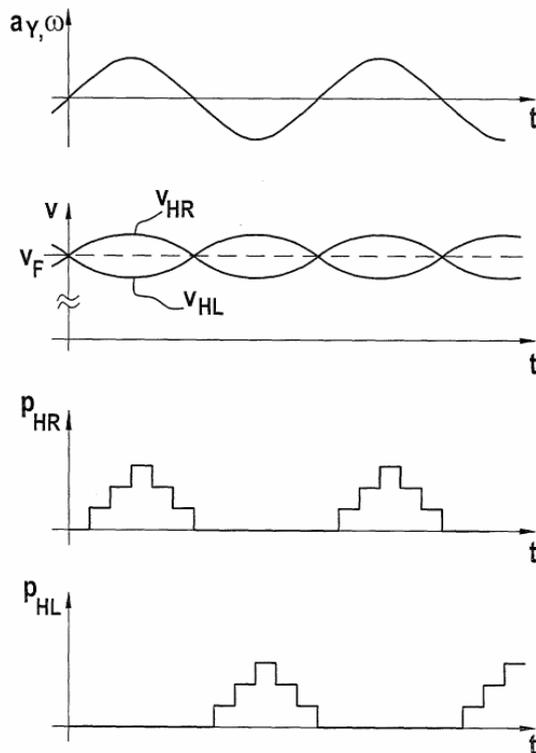
und glatter Fahrbahn geschieht. Die Einrichtung gemäß der DE 101 44 299 A1 erkennt eine solche Situation und senkt die Radbremsmomente am Anhänger taktweise für kurze Phasen ab, so dass weiterhin Seitenkräfte übertragen werden.

Die Anforderungen an die Stabilisierung von Sattelaufleger-Gespannen und Deichselanhänger-Gespannen sind unterschiedlich. Bei einem Deichselanhänger, der bei einem Regeleingriff nach den Strategien einer Sattelauflegerregelung gebremst wird, kann das Gespann einknicken, wenn durch hohe Bremskräfte an der vorderen Deichselachse Seitenkräfte abgebaut werden. Daher wird gemäß der DE 100 30 128 A1 durch Verlagern der Bremskraft nach hinten der Zug gestreckt und ein Einknicken verhindert.

Eine frühzeitige Information über bevorstehende Kipptendenz bei Nutzfahrzeugen mit Anhängern wird gemäß der DE 103 38 879 A1 durch Auswertung von Lenkwinkel und Fahrgeschwindigkeit im Hinblick auf die zu erwartende Querb beschleunigung gewonnen. Diese abgeschätzte, zu erwartende Querb beschleunigung eilt der tatsächlich am Fahrzeug messbaren Querb beschleunigung voraus. Dies gilt insbesondere dann, wenn bei Nutzfahrzeugen ein Querb beschleunigungsaufnehmer verhältnismäßig weit hinten, bei Sattelauflegern etwa in der Nähe der Hinterachse (vgl. Figur 4), angeordnet ist.

Die Ermittlung des Knickwinkels ist bei PKW-Anhängern für Sport und Freizeit aus Kostengründen nicht praktikabel. Darüber hinaus gestatten die üblichen Auflaufbremsen nicht die Ansteuerung einzelner Radbremsen des Anhängers. Die Stabilisierung eines derartigen Gespanns erfolgt daher zweckmäßig nur durch Eingriffe am Zugfahrzeug. Hierzu wird in der DE 199 64 048 A1 vorgeschlagen, aus der Messung der Querb beschleunigung a_y (vgl. Figur 5) des Zugfahrzeugs zu ermitteln, ob eine Schlingerbewegung des Anhängers vorliegt. Derartiges Anhängerschlingern tritt je nach konstruktiven Eigenheiten und der Beladung erfahrungsgemäß im Geschwindigkeitsbereich von 90 – 130 km/h mit einer Frequenz von etwa 0,5 bis 1,5 Hz auf. Durch Auswertung von Frequenz und Amplitude des Querb beschleunigungssignals kann Schlingern festgestellt werden, wobei auf die Unterscheidung von vom Fahrer

gewollten Lenkbewegungen zu achten ist.



Figur 5: Gespannstabilisierung gemäß DE 199 64 048 A1.

Die Phasenlage der Schlingerbewegung ergibt sich aus den Abweichungen der Radgeschwindigkeiten v_{HR} und v_{HL} des rechten und linken Hinterrades vom Verlauf ihres zeitlichen Mittelwerts v_F (vgl. Figur 5). Durch Einprägen eines zur analysierten Schlingerbewegung gegenphasigen Giermoments durch unterschiedliche Bremskräfte an den Hinterrädern (vgl. Figur 5, Bremsdrücke p_{HR} und p_{HL}) des Zugfahrzeugs wird eine Gespann-Stabilisierung erzielt, ohne dass aufwändige Aktorik oder Sensorik im Anhänger erforderlich ist.

Für auflaufgebremste Anhänger stellt die DE 102 27 616 A1 ein alternatives System vor, bei dem der Anhänger mit einer eigenen Sensorik und zusätzlicher Bremsaktorik ausgestattet ist und beim Erkennen von Schlingern Bremsmomente an den linken und rechten Rädern des Anhängers einsteuert. Zusätzlich soll durch hydraulische Erhöhung der Zuspannkraft der Kugelkopfkupplung eine erhöhte Dämpfung der Schlingerbewegung bewirkt werden.

In den Bereich der sich an den Fahrertyp anpassenden Fahrdynamik-Regelsysteme gehört schließlich noch die

Vorrichtung zur Dämpfung von Anhänger-Schlingern gemäß der DE 10 2004 005 074 A1. Diese verfügt über Lenkwinkel-Analyseeinrichtungen, die anhand des zeitlichen Verlaufs des Lenkwinkels beim Schlingern erkennen können, ob ein geübter Fahrer am Steuer sitzt, der durch seine Lenkbewegungen die Stabilisierung noch selbst herbeiführen kann oder ob in Panik am Lenkrad gedreht wird. In Abhängigkeit davon wird der Schwellenwert für einen automatischen Eingriff in die Bremsen festgelegt und es somit dem geübten Fahrer bis zu einer gewissen Grenze selbst überlassen, mit seinem Gespann Fahrmanöver im Grenzbereich durchzuführen.

Weitere Beispiele für Gespann-Stabilisierungssysteme finden sich in der DE 100 31 849 A1, der DE 102 44 376 A1, der DE 199 64 058 A1 und der DE 102 25 120 A1.

6. Ausblick

Beim derzeitigen Stand der Technik muss jedes Fahrdynamik-Regelsystem an Ort und Stelle aus der vorhandenen Sensorik möglichst viele Informationen über die Umgebungsbedingungen, den Fahrer und das Fahrzeug gewinnen, wobei es in vielen Fällen auf Schätzungen angewiesen ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass künftig einige Informationen auch von außen zum Fahrzeug gelangen. Teilweise sind für die Fahrdynamikregelung interessante Informationen, z.B. der befahrene Kurvenradius, implizit schon in den digitalisierten Straßenkarten der Fahrzeug-Navigationssysteme enthalten und warten nur darauf, vom Fahrdynamik-Regelsystem ausgewertet zu werden. Ebenso können Wetterdaten oder Gefahrenhinweise von anderen vernetzten Fahrzeugen, die z.B. gerade eine Gefahrenstelle identifiziert haben, in die Fahrdynamikregelung einfließen. Darüber hinaus werden die vom Fahrdynamik-Regelsystem aufbereiteten Daten über den Fahrzustand bereits jetzt z.B. im Bereich der Pre-Crash-Systeme weiterverwendet. Vielfältigste weitere Möglichkeiten für solche verknüpften Anwendungen sind gegeben.

Die in diesem Beitrag behandelten Fahrdynamik-Regelsysteme, die sich überwiegend auf Bremsen- und Motoreingriffe beschränken, stellen nur eine von vielen Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Fahrverhalten

dar. Die erfinderischen Anstrengungen richten sich auch auf kombinierte Anwendungen mit aktiven Lenkungen und Fahrwerken. Bei all diesen guten Aussichten auf sicheres und komfortables Fahren bleibt jedoch angesichts der zu Grunde liegenden Gesetze der Mechanik abschließend festzuhalten: Auch in Zukunft wird man bei Schnee- und Eisglätte Kurven langsam durchfahren müssen.

Eisstationen, Tiefseesonden, Bionik – Das AWI als Patentanmelder

Dr. Klaus Wollny, Abt. 1.52

Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) gehört als Mitglied der Hermann-von-Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren zu den Spitzenforschungseinrichtungen Deutschlands. Bekannt ist das AWI z.B. durch das Forschungsschiff „Polarstern“, die Antarktis-Station „Neumayer“ und die Inlandeisbohrungen auf Grönland, mit denen sich Aussagen über die Zusammensetzung der Erdatmosphäre in der Vergangenheit gewinnen lassen. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des AWI sind jedoch nicht auf die Geowissenschaften oder die Klimatologie beschränkt. Sie umfassen neben den Bio- und Ökosystemwissenschaften auch die damit verbundenen technischen Aspekte wie Geräte- und Verfahrensentwicklungen. Wie sich diese Vielfalt auch in den Patentanmeldungen widerspiegelt, möchte der Artikel anhand ausgewählter Beispiele aufzeigen.

1. Stiftung mit einem großen Namen

Der deutsche Geophysiker und Meteorologe Alfred Wegener (1880 – 1930) war einer der bedeutendsten deutschen Geowissenschaftler und Polarforscher. Diese Wertung seiner Person stützt sich u.a. auf seine Beiträge zur Entwicklung der heute allgemein anerkannten Theorie der Plattentektonik.

Im Jahre 1980 wurde das nach ihm benannte Institut [1] in Bremerhaven als Stiftung des öffentlichen Rechts gegründet.

In der Tradition des Namensgebers wird an verschiedenen Forschungsstandorten interdisziplinär und betont praxisorientiert gearbeitet. Ziel der wissenschaftlichen Arbeit ist ein besseres Verständnis der Beziehungen zwischen Ozean, Eis und Atmosphäre, der Tier- und Pflanzenwelt der Arktis und Antarktis sowie der Entwicklungsgeschichte der Polarregionen und Meere. Da diese Gebiete das Klima unseres Planeten entscheidend prägen, wird auch den globalen Klimaveränderungen besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

2. Arbeitsfelder und Patente

In den letzten 10 Jahren ist eine verstärkte Anmeldeaktivität des AWI auf allen seinen Arbeitsgebieten zu verzeichnen. Im Folgenden werden einige Forschungsergebnisse vorgestellt, die zu einer Patentanmeldung geführt haben. Dabei handelt es sich

um Anmeldungen auf folgenden Gebieten:

- Stationstechnik einer Polarforschungsstation
- Bohren und Messen im Eis
- Tiefseesonden und Probenentnahmegерäte
- Labor- und Geländetechnik
- Bionik

3. Stationstechnik

Bauten in den Polarregionen müssen extremen Beanspruchungen standhalten. Ein Grund besteht darin, dass eine Forschungsstation dort meist nicht auf festem Fels gegründet werden kann. In Dauerschneegebieten werden solche Nutzbauten daher vollständig unter der Schneeoberfläche, direkt auf dem Schnee oder auf einem Pfahlaufbau oberhalb der Schneeoberfläche angeordnet.

Da verfestigter Schnee oder Eis auf Belastungen viskos reagiert, sinkt eine Station aufgrund ihres Eigengewichtes und der von ihr abgegebenen Energie langsam (weiter) in diesem ein. Dies führt u.a. zu wachsenden Kräften, die auf die Konstruktion des Nutzbaus wirken, und zu einer im Laufe der Zeit erschwerten Zugänglichkeit der Station, weil sich z.B. deren Zugänge auf einem stetig absinkenden Niveau gegenüber der Umgebung befinden.

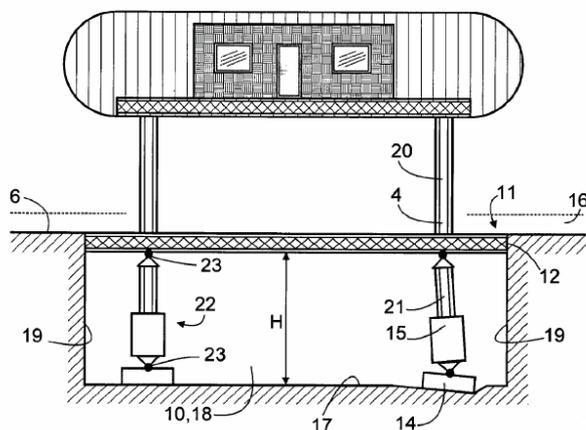
Für einen Niveaueausgleich bei direkt auf dem Schnee gegründeten Stationen kann z.B. eine Treppe mit verstellbarer Neigung (DE 20 2004 020 962 U1) und für eine in einem Dauerschneegebiet eingelassene Station

eine Abdeckung für eine Zufahrtsrampe (DE 10 2004 024 246 B3) zum Einsatz kommen.

Für den Fall, dass man ein Gebäude als tief gegründeten Pfahlbau konzipiert, muss beachtet werden, dass durch die Pfähle eine Energierückstrahlung und eine Veränderung der Windströmungsverhältnisse nahe der Schneeoberfläche bedingt ist, was zu Auskolkungen an den Pfahlgründungen (also einer Verminderung der Stabilität) und Driftschneeverlagerungen führen kann.

Um eine Station über mehrere Jahre hinweg zu betreiben, muss also darauf geachtet werden, dass die Station o.g. Effekte und die dadurch verursachten Stabilitäts- und Niveauänderungen gegenüber der Schneeoberfläche ausgleichen kann oder diese weitgehend verhindert werden.

Die DE 203 19 421 U1 zeigt hierfür einen innovativen Ansatz. Die Station ist auf einer auf Pfählen gelagerten höhenverstellbaren Plattform untergebracht. Auf Höhe der Schneeoberfläche (6) befindet sich eine über den Bereich der Pfähle (20) hinaus erstreckende, höhenverstellbare, flache Abdeckkonstruktion (11) und unterhalb dieser Abdeckung ein Hohlraum (10, 18).



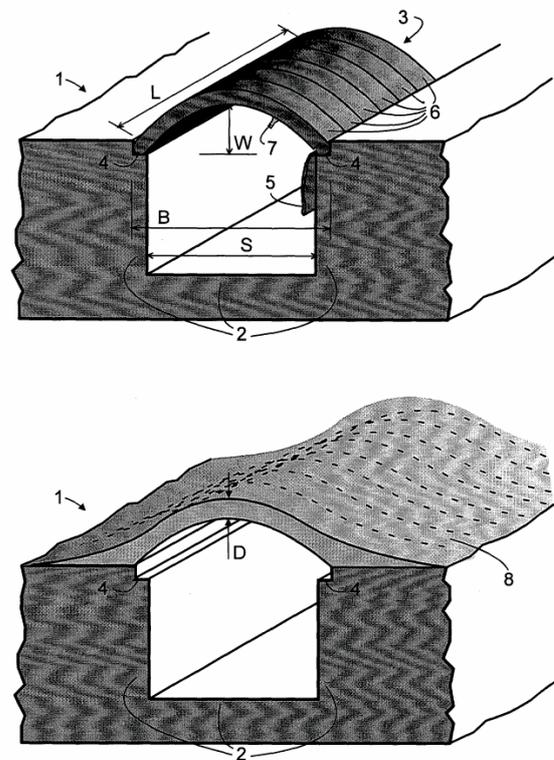
Figur 1: Höhenverstellbares Nutzbauwerk mit einer Abdeckkonstruktion für den Einsatz in Dauerschneegebieten (aus DE 203 19 421 U1).

Der Hohlraum ist in der Höhe so dimensioniert, dass die durch die Oberseite der Abdeckung eingestrahlte Wärmeenergie sich auf der Unterseite der flachen Abdeckkonstruktion nicht mehr auswirkt. So werden Schmelzvorgänge im Schnee, die die Gründungen der Pfähle betreffen können, minimiert, Auskolkungen durch

die massive Abdeckung verhindert, und der Hohlraum ist für die Station z.B. als Lagerraum nutzbar.

Wie zunächst ein solcher Hohlraum unter geringem Material- und Arbeitseinsatz umweltverträglich gewonnen werden kann, zeigt die DE 10 2004 003 594 A1, die auf einer Idee der DE 39 24 631 C1 (Polarmar GmbH, Bremerhaven) basiert.

Sollen derart oder vergleichbar geschaffene Hohlräume in Schnee und Eis zu anderen Zwecken genutzt werden, ist meist eine stabile Dachkonstruktion nötig, die z.B. einer Auflast durch driftende Schneemassen standhalten kann. Da es sehr teuer ist, Baumaterial in die Polargebiete zu bringen und Bauten dort umweltschonend zu errichten, bietet es sich an, Schnee als Baumaterial zu verwenden.



Figur 2: Schnee-Dachkonstruktion über einer Schneegrube mittels eines aufblasbaren Tragwerkes (aus DE 100 07 714 C1).

Mittels eines aufblasbaren, gekammerten Hilfstragwerkes (6), wie es in DE 100 07 714 C1 (Figur 2) vorgesehen ist, lässt sich über einer Grube, wie beim Mauern einer halbrunden Fensteröffnung mit Hilfe eines Lehrgerüsts, eine Stütze einziehen, die nach gezieltem Schneeauftrag (8) und dessen Verfestigung wieder entfernt werden kann.

4. Bohren und Messen im Eis

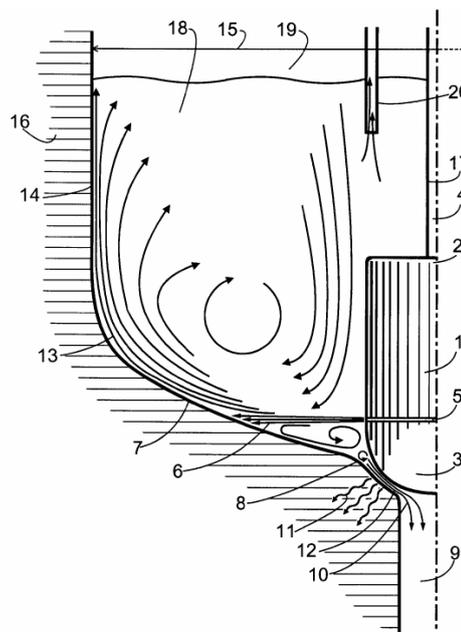
4.1. Bohren und Kernen

Bei Meereis handelt es sich um ein Mehrphasensystem, das i.W. aus Eis, Sole und Luft besteht. Der Anteil der jeweiligen Komponenten ist von der Textur und dem Alter des Eises sowie der Eistemperatur abhängig.

Um einen Eiskern zu gewinnen, wird mit einem an beiden Seiten offenen, hohlen Kernrohr gebohrt, das an seinem oberen Ende eine Kupplung für einen Antrieb und am unteren Ende einen Bohrkopf besitzt. Am Bohrkopf sind Schneiden aus rostfreiem Stahl angeordnet, die sich bei der Drehung des Rohres ins Eis schneiden. Das dabei zerkleinerte Eis wird an der Außenseite des Bohrers durch eine Bohrwendel an die Eisoberfläche befördert. Im Inneren des Kernrohres ist Platz für den ausgebohrten Eiskern. Damit der Eiskern an der Rohrinneiseite nicht festfriert, drehen sich alle Teile des Kernrohres gegenüber dem Eiskern beim Bohren mit.

Der Sole-Anteil des Eises erschwert jedoch das Kernen sehr, denn beim Herausziehen des Bohrers aus dem Eis und beim Entnehmen des Eiskernes läuft die Sole aus der Probe heraus. Dadurch verändert sich die Beschaffenheit der Originalprobe. Um dies zu verhindern, kann eine Kernfangeinrichtung als verschließ- und austauschbare Kartusche vorgesehen sein, die zusätzlich einen Schutzbehälter aufweist, in dem der gebohrte Eiskern zusammen mit dem Umgebungswasser aufbewahrt werden kann (DE 197 44 211 C2).

Soll Eis nur durchteuft und muss kein Kern gewonnen werden, so ist das „thermische Bohren“ üblich. Hierbei werden i.W. zwei Verfahren unterschieden. Zum einen werden Schmelzbohrköpfe eingesetzt (vgl. auch 4.2), bei denen Heißwasser zum inwändigen Erwärmen des meist kugelartigen Bohrkopfs und somit zum Durchschmelzen der Eisdecke verwendet wird. Zum anderen werden Spülbohrköpfe verwendet, bei denen Heißwasser zum Ausspülen und Absaugen des Eises bzw. Eis-Wasser-Gemisches genutzt wird. In der DE 103 32 571 B3 (Figur 3) wird ein Beispiel für eine Kombination aus beiden Verfahren gezeigt, das aber eine kleinkalibrige Vorbohrung mittels eines Schmelzkopfes erfordert.

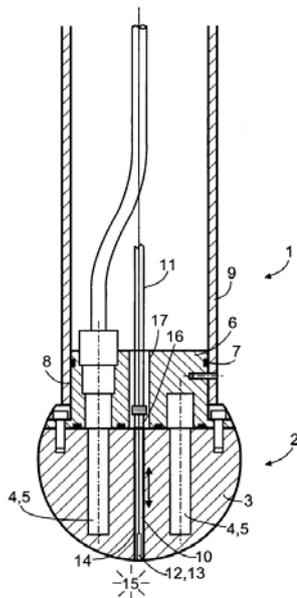


Figur 3: Thermisches Bohren in Meereis gemäß DE 103 32 571 B3 mit einer Kombination aus Schmelz- (Schmelzbereich, 3) und Spülbohren (über einen aus einem Ringspalt (5) des Schmelz-Spül-Bohrkopfes (1) austretenden Heißwasserstrahl (6)).

4.2. Messen von Eisparametern mittels Sonden

Das Bestimmen der physikalischen Eigenschaften von Eis in situ in Form von ortsaufgelösten Tiefenmessprofilen stellt hohe Anforderungen an die Bohrqualität, denn durch den Bohrvorgang wird das zu untersuchende Medium „gestört“ und ggf. verunreinigt (siehe 4.1). Daher werden Verfahren bevorzugt, die nicht wie in der DE 44 40 936 C2 und der DE 196 09 278 C2 beschrieben erst nach Abteufung einer Bohrung Parameter messen, sondern direkt während des Abteufvorgangs Messwerte der gewünschten physikalischen Größe gewinnen können.

Die DE 101 64 648 C1 (Figur 4) stellt ein System vor, das dieses Verfahren einsetzt. Mittels eines Schmelzkopfes (2), der über Heizpatronen (5) in der Bohrung (4) aufgeheizt wird, schmilzt sich eine rechnergesteuerte Schmelzsonde (1) durch das Eis. In einem vertikal verschiebbaren, zentralen Führungsrohr (11), das bis direkt an den Stirnbereich (13) des Schmelzkopfes reicht, sind Messfühler (12) angeordnet. Über eine Rechnersteuerung wird der Schmelzvortrieb derart geregelt, dass sich die Messfühler immer im optimalen Schmelzphasenbereich (15) unmittelbar vor dem Schmelzkopf befinden und das gerade noch nicht geschmolzene Eis kontaktieren.



Figur 4: Schmelzmesssonde nach DE 101 64 648 A1 mit der Fähigkeit, weitgehend ungestörte Parametermessungen in situ durchzuführen.

5. Tiefseesonden und Probennahmegeräte

Die Meere der Polarregionen sind für die meisten Menschen eine verborgene Welt, über die sie nahezu nichts wissen. Dabei sind sie Motor unseres Klimas und Ursprung mancher Nahrungskette auf unserem Planeten.

Systematische Untersuchungen der Lebewelt sowie die Messung physikalischer und chemischer Parameter ermöglichen den Forschern, in kleinen Schritten etwas Licht ins Dunkel dieser Weltgegend zu bringen. Dafür müssen Gerätschaften entwickelt werden, die nach Möglichkeit automatisch, energieautark, robust und vom Flachwasser- bis zum Tiefwasserbereich einsetzbar sind. Diese Vorgaben sind nicht einfach umzusetzen, da die physikalischen Bedingungen in unterschiedlichen Meerestiefen stark variieren.

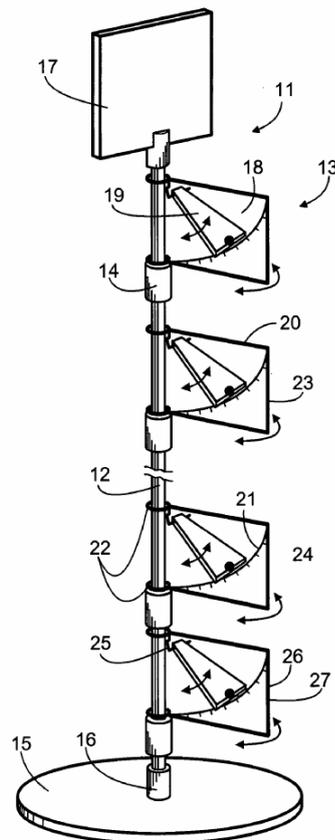
Soll beispielsweise ein vertikales Sonden-Messprofil mit konstantem Messpunkt Abstand erstellt werden, ist eine konstante Absinkgeschwindigkeit der Sonde nötig. Die Absinkgeschwindigkeit ist jedoch bei großen Tauchtiefen abhängig von der Kompressibilität der Messsonde. Üblicherweise kompensiert z.B. ein mit einer Hilfsenergie versorgter Antrieb diese Variationen der Geschwindigkeit. Da die Hilfsenergiequelle in regelmäßigen Abständen aufgeladen und gewartet werden muss, limitiert solch eine Konstruktion störend die Einsatzzeit der Sonde. Die DE

100 25 547 C1 umgeht dieses Problem sehr elegant und realisiert ein gleichmäßiges Absinken durch den Einsatz einer speziellen Kompressionsflüssigkeit in einem Kolbensystem mit Kontakt zum Meerwasser, das in Abhängigkeit vom Seedruck Volumenänderungen zeigt.

Diese und ähnliche Vorarbeiten, wie die Verankerung und genaue Positionierung einer Sonde (DE 42 26 614 C2, DE 101 49 025 C1) oder die Ausnutzung der Strömung als deren Energiequelle (DE 100 25 541 C1), sind die Grundlage für den effektiven Betrieb einer Messsonde oder die exakte Probennahme und die genaue Messung von Kenngrößen im Meer und auf dem Meeresboden.

5.1. Strömungsmesser

Das Strömungsprofil von Gewässern kann helfen, die dortigen Lebensbedingungen abzuschätzen, z.B. indem man Austauschprozesse zwischen der Grenzfläche Boden-Wasser oder zwischen verschiedenen Wasserschichten bestimmt.



Figur 5: Strömungsmesser aus DE 102 32 626 B3 mit Messfahnen (19) und Richtungsfahnen (18).

Die DE 102 32 626 B3 (Figur 5) schlägt hierfür eine per Bildanalyseprogramm auswertbare Ansammlung von kleinen Strömungssensoren (13) vor, die an einem langen Stab untereinander befestigt sind. Die Sensoren bestehen aus jeweils einer frei am Stab drehbaren Richtungsfahne (18) und einer Messfahne (19), die von der Richtungsfahne in die Strömung gedreht wird.

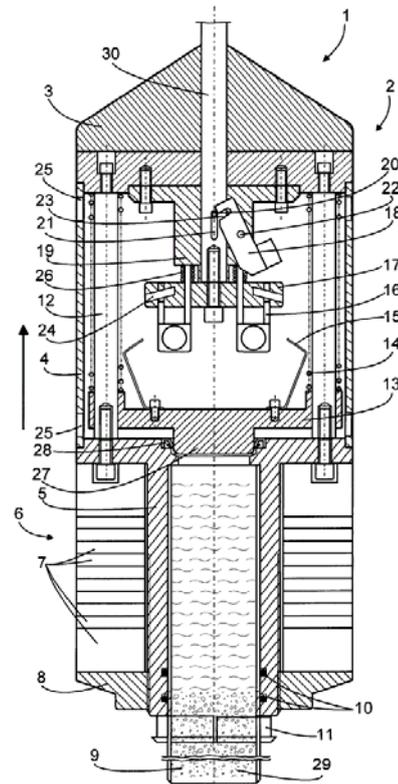
5.2. Bodenwasser-Probennehmer

Zur Ermittlung von Parametergradienten über einem Gewässerboden ist es zudem wichtig, zeitgleich aus den einzelnen Wasserhorizonten Proben zu entnehmen. Dies kann mit einem Gerät erfolgen, wie es in der DE 102 32 623 A1 beschrieben wird. Vergleichbar zum Strömungsmesser aus Figur 5 sind an einer Haltestange in verschiedenen Höhen horizontal orientierte Probenbehälter montiert, die vom Wasser durchströmt werden. An deren Stirnseiten sind Verschlüsse mit Haltesehnen angebracht, die über einen Auslöser alle gleichzeitig schließen. Der so gewonnene Probensatz mit den Einzelproben aus verschiedenen Tiefen kann durch Heben der Apparatur störungsfrei geborgen werden.

5.3. Entnahme von Proben vom Meeresgrund

Die Entnahme von Bodenproben im antarktischen Schelfmeer dient vornehmlich klimatologischen und biologischen Untersuchungen. Die Schichtung und Zusammensetzung der als Kern gewonnenen Proben stellt ein Archiv der Umweltbedingungen vergangener Zeiten dar. Um an die Probenkerne zu gelangen, muss ein großer technischer Aufwand getrieben werden. Meist wird eine bis zu 400 m dicke Eisschicht durchteuft und unter dem Eis eine Strecke von mehreren hundert Metern bis zum Meeresgrund überwunden. Nach dem Kernem muss die Probe durch das Eis „zurückgefädelt“ und an der Oberfläche geborgen werden. Da unter diesen Bedingungen gängige Probennehmer (z.B. WO 89/12220 A1; DE 43 18 347 C2, DE 20 2005 013 917 U1) aufgrund ihrer Sperrigkeit nicht nutzbar sind, mussten Anpassungen der Formgebung vorgenommen werden.

Die DE 103 46 351 B3 (Figur 6) zeigt ein Beispiel hierfür. Auffällig ist der zylindrische Grundkörper und das konische Oberteil des Probennehmers (1), der beim Rückfädeln das „Treffen“ des Bohrloches erleichtert.



Figur 6: Zylinderförmiger Sedimentprobennehmer mit einem Kernrohr (9) und Sedimentkern (29) aus DE 103 46 351 B3.

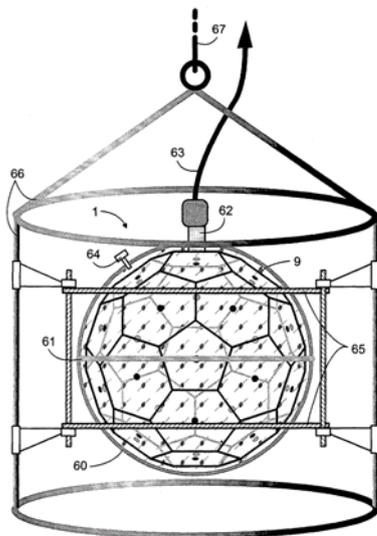
Jedoch nicht nur der Boden selbst, sondern auch das in ihm gespeicherte Porenwasser ist für die Forscher interessant, da über die dortigen Stoffkonzentrationen geochemische Prozesse wie der Abbau organischer Substanz oder die Lösung von Mineralien im Milieu nachvollzogen werden können. In der Vergangenheit wurde das Porenwasser ex situ aus einem Probenkern gewonnen, was jedoch Verfälschungspotenzial in sich birgt (vgl. auch 4.1). Eine In-Situ-Beprobung ist daher vorzuziehen, aber wesentlich aufwändiger zu realisieren.

Eine Möglichkeit stellt die DE 10 2004 053 111 B3 vor, in der ohne eine Störung der Sedimentoberfläche – an der begleitend weitere Untersuchungen durchgeführt werden können – eine vertikal hochauflösende Beprobung verwirklicht ist.

5.4. Lichtmessvorrichtungen

Nicht nur im Weltall, sondern auch in den Tiefen der Ozeane existieren periodische und stochastische lichtveränderliche Phänomene. Ihr Ausgangspunkt kann die Cerenkovstrahlung (verursacht von radioaktiven Teilchen oder atmosphärischen Myonen) oder

Biolumineszenz sein. Hierbei ist die Intensität und die räumliche Verteilung der schwachen Lichtquellen für die Forschung von besonderem Interesse. Die Messungen werden mit so genannten Tiefsee- oder Bathyphotometern durchgeführt, die als Lichtaufnehmer im Raum definiert orientierte Glasfaserbündel verwenden, die das registrierte Licht an ein Spektrometer zur Analyse weiterleiten. Eine gleich verteilte räumliche Anordnung der Glasfaser-Aufnehmer auf einer Kugeloberfläche ist hierfür besonders geeignet (DE 101 53 104 A1, Figur 7; Figur 8 in der technischen Umsetzung).



Figur 7: Tiefsee-Lichtmesser, bei dem auf einer wie ein Fußball segmentierten Kugeloberfläche (7, 8) in den Polyedern mittig Lichtsensoren angeordnet werden (aus DE 101 53 104 A1).



Figur 8: Lichtmesssonde gemäß DE 101 53 104 A1 in der technischen Umsetzung (copyright E.Sauter (AWI)).

6. Labor- und Geländetechnik

Dieser Bereich ist durch Verbesserungen für den Laboralltag oder die Handhabung von Gerätschaften

geprägt, die an einem Geländetag oder einem Tag auf einem Forschungsschiff zum Einsatz kommen können.

Schwerpunkte im Laboralltag sind das Präparieren von Festkörperproben (DE 20 2004 010 599 U1) und das folgende physikalische Untersuchen z.B. auf räumliche Verteilungsmuster von Spurenelementen (DE 20 2004 005 991 U1, DE 199 34 561 C2) oder der dielektrischen Eigenschaften (DE 199 48 684 A1). Analysen sind aber nicht nur auf Festkörper wie Eis oder Bodenproben beschränkt, sondern umfassen auch die flüssige Phase (DE 38 18 875 C2, DE 199 21 079 C2) und die Erstellung von Abformungsmodellen für besonders empfindliche Proben, die durch eine direkte Untersuchung zu großen Schaden nehmen würden (DE 41 43 122 C2). Im eher chemisch geprägten Bereich sind Entwicklungen rund um die Filtertechnik und chemische Ausfällung radioaktiver Isotope (DE 10 2004 040 248 B3) zu erwähnen.

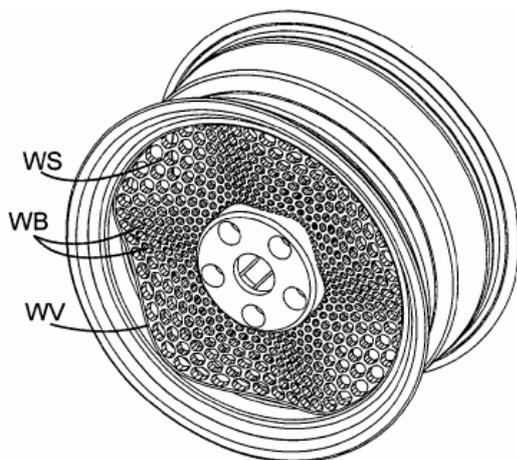
Im Gelände müssen ständig Gerätschaften transportiert, positioniert und gesichert oder nach einer Probennahme die Entnahmebedingungen weiter simuliert werden, damit die Probe nicht verfälscht wird. Im Polarbereich geschieht dies oft bei sehr widrigen Witterungsbedingungen, was besondere Anforderungen an das Material und die Handhabbarkeit der Geräte stellt. Die Weiterentwicklung von Sliphaken (DE 20 2005 013 918 U1), leichten Zahnradgetrieben mit hohen Umsetzungen (DE 10 2004 058 032 A1), energiesparenden Auftriebsantrieben für Unterwasser-Arbeitsmaschinen (DE 103 33 513 A1), von Druckzylindern (DE 102 32 622 B4) für die Simulation von Tiefseebedingungen nach einer Probennahme oder Ballonsonden (DE 20 2004 005 530 U1) sind direkt aus der Praxiserfahrung geboren.

7. Bionik

Der Mensch beobachtet die Natur oft, um technische Ziele durch die Kopie oder Imitation von dort bereits verwirklichten Konstruktionen oder Vorgehensweisen zu erreichen. Als Beispiel sei nur der Hängegleiter von Otto Lilienthal oder der Lotoseffekt genannt. Im Fall des AWI führte dieses Prinzip Biologen neben ihren „üblichen“ Arbeiten (z.B. DE 102 28 785 A1, Vor-Ort-Nachweis für toxische Algen) zu überraschenden neuen Betätigungsfeldern.

7.1. Kfz-Technik: Felgenbau

Was die Stabilität von Strukturen bei minimalem Material- und Gewichtsaufwand betrifft, sind die Skelette der Diatomeen (Phytoplankton) oder Radiolarien (Zooplankton) sehr gute Lehrmeister. Die Anmeldung DE 103 56 682 A1 stellt ein Verfahren vor, das als Hauptbestandteil eine Datenbank mit den Schalenarchitekturen real existierender, biomineralisierter Einzeller aufweist. Aus den dort gespeicherten Daten kann bei Festlegung geeigneter Randbedingungen für ein konkretes bautechnisches Problem mittels eines Algorithmus eine für diese technische Anwendung benötigte Leichtbaustruktur ermittelt werden. Auch eine Kombination aus mehreren in der Natur vorkommenden Ansätzen kann in ein solches Modell einfließen.



Figur 9: Leichtmetallfelge gemäß DE 20 2005 019 376 U1.

Ergebnisse dieser Studien sind die DE 20 2004 015 816 U1 und die DE 20 2005 019 376 U1, die Leichtbaufelgen für ein Kfz mit einem tragenden Speichenaufbau und einer Wabenstruktur mit mäanderförmigem Verlauf vorstellen (Figur 8).

7.2. Produkte zum Anti-Fouling

„Fouling“ bezeichnet im marinen Baugewerbe die Ablagerung organischer Moleküle und Organismen (z.B. Muscheln, Seepocken, Algen, Mikroorganismen) auf Materialoberflächen in wässriger Umgebung, die die physikalischen Oberflächeneigenschaften negativ beeinflussen. Als Gegenmittel sind i.W. die mechanische Reinigung, extrem glatte Oberflächenbeschichtungen und das Aufbringen toxischer Biozide (z.B. Arsen, Kupfer, Tributylzinn) üblich.

Alle diese Verfahren sind i.d.R. nur zeitlich begrenzt wirksam und müssen aufgefrischt oder kostenintensiv gewartet werden. Zudem ist der Einsatz von Giftstoffen im empfindlichen marinen Ökosystem zu vermeiden.

Ein duales Kompositsystem bestehend aus einer porigen Fixationskomponente, die direkt auf dem zu schützenden Untergrund aufgebracht wird, und einer in deren Poren eingebrachten Reinigungskomponente, wie in DE 101 17 945 A1 für den Unterwassereinsatz vorgeschlagen, verbindet zwei Schutzkonzepte, die gemeinsam eine hydrodynamisch sehr glatte Oberfläche erzeugen. Eine nanoskalige, unregelmäßige, porige Oberfläche bietet organischen Molekülen geringe Auflagemöglichkeiten, wie aus dem Lotoseffekt bekannt. Die Poren füllende Komponente weist, wie etwa die Delphinhaut, Gel bildende oder hydrophobe Eigenschaften auf, die den Klebeeigenschaften organischer Partikel aus dem Meer entgegenarbeiten. Ein Anhaften unerwünschter Stoffe wird so extrem erschwert.

Weitere AWI-Entwicklungen zum Thema stellen die DE 198 36 076 C2 und die DE 103 07 762 A1 dar. Insbesondere ist auch die Auffindung und Herstellung hierbei verwendbarer bioaktiver Substanzen von Belang (z.B. DE 103 29 874 A1).

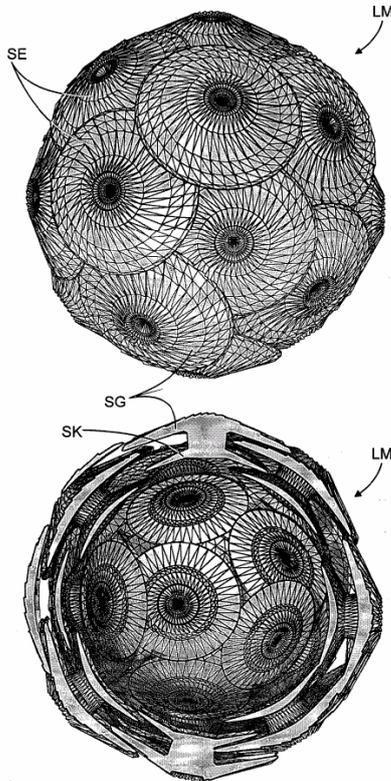
7.3. Beleuchtungskörper

Kalkalgen sind Teil des Phytoplanktons und müssen, um zu überleben, Photosynthese betreiben. Hierbei schützen sie sich vor Fraßfeinden durch ein Außenskelett, das sie u.a. auch zur Auftriebsregulation nutzen.

Die zu den *Coccolithophoriden* gehörige Art *Calcidiscus leptoporus* besitzt ein kugelförmiges Außenskelett, das sich äußerlich betrachtet aus überlappenden, kreisförmigen, durchscheinenden, monokristallinen Kalkplättchen zusammensetzt. REM- und andere Untersuchungen konnten nachweisen, dass deren Konstruktion Licht nahezu verlustfrei ins Innere dieser Kugel durchlässt und damit eine effektive Photosynthese der Algenzelle in ihrem Inneren gewährleistet.

Im Umkehrschluss bietet diese Bauweise die Möglichkeit, eine Lampe zu verwirklichen, die mit einer Lichtquelle im Inneren der Kugelschale das Licht besonders gleichmäßig

streut und ein diffuses, blendfreies Umgebungslicht erzeugt (Figuren 10 und 11). Für die „Plättchen“ wird wie in der Natur eine im Querschnitt doppelt-T-förmige und gewölbte Form angegeben, wodurch die Einzelplättchen gut miteinander verschränkt werden können. Dies führt neben o.g. Vorteil auch zu einer stabilen und gleichzeitig „flexiblen“ Hülle (Figur 10, SG).



Figur 10: Außenansicht und Schnitt mit Innenansicht eines Lampenschirms nach dem Bauplan einer *Coccolithophoride* (*Calcidiscus leptoporus*) aus der DE 20 2005 015 631 U1.



Figur 11: Umsetzung einer Lampe gemäß dem aus der DE 20 2005 015 631 U1 bekannten Bauplan (copyright J.Geisen & M.Geisen (AWI)).

8. Fazit und Ausblick

Weltweit ist der Druck auf die Forschungseinrichtungen gewachsen, neben der „reinen“ Forschungsarbeit auch wirtschaftlich verwertbare Ergebnisse abzuliefern. Neben der üblichen Veröffentlichung von Resultaten in einschlägigen Fachjournalen, ist die Vergabe von Fördergeldern in der Praxis, oftmals auch mit der konkreten Aussicht auf die Anmeldung von Patenten verknüpft. Dies zwingt Forscher auf vielen Arbeitsgebieten manchmal geradezu, „über den Tellerrand hinauszuschauen“, da deren Haupttätigkeitsfeld z.B. von Natur aus nur eine geringe technische Basis aufweist. Zwar werden auf diese Art zuweilen ungewöhnliche Ausblicke gewonnen und neue Anwendungsgebiete für altbekannte Methoden und Apparaturen erschlossen, aber ob dieses Vorgehen eine universell einsetzbare Strategie ist, um Innovationen zu „fördern“, mag dahingestellt bleiben. Die Erfahrung zeigt, dass Forschergeist und Neugier oft ausreichen, um neue Einsatzgebiete für Arbeitsergebnisse aufzuspüren, oder dass sich diese gar erfreulicherweise rein zufällig ergeben.

Im Falle des Alfred-Wegener-Institutes mit seinen breiten Tätigkeitsfeldern und interdisziplinär arbeitenden Gruppen darf man jedenfalls auch in Zukunft gespannt sein, welche Ideen den Weg zur Praxisreife finden werden. Die Kreativität und der Sachverstand der Entwickler und Forscher lässt auf einige Überraschungen hoffen.

9. Danksagung

Herrn Dr. Sauter wird als Patentbeauftragtem des AWI für das Organisieren, zur Verfügung Stellen und die Übersendung der den Figuren 8 und 11 zugrunde liegenden Fotodateien herzlich gedankt.

Nicht-Patentliteratur

[1] <http://www.awi-bremerhaven.de/>