



Medizinische Assistenzsysteme mit Mikroelektronik

Robotertechnologie für Chirurgie und Alltag

VDE

VDI

GMM

Behandlung und Lebensqualität verbessern

Ein Grundprinzip der Industrialisierung gilt seit über 200 Jahren: Die Maschine übernimmt, wo der Mensch an Grenzen stößt. Mit computergestützten Technologien haben wir hier ein Niveau erreicht, von dem vor einigen Jahrzehnten nur Science-Fiction-Autoren zu träumen wagten. Es gibt immer mehr autonome „Roboter“, die ohne menschlichen Eingriff immer komplexere Aufgaben erledigen. In der industriellen Produktion gehören sie längst zur Standardausrüstung.

In der Medizin sind solche Systeme ebenfalls auf dem Vormarsch. Sie unterstützen die Ärzte bei ihrer Arbeit und die Patienten bei der Genesung sowie bei der Bewältigung des Alltags. Die Patienten profitieren unter anderem von zuvor unerreichter Präzision bei operativen Eingriffen. Für die Therapie eröffnen sich dank Mikroelektronik und rechnergestützter Technologien ganz neue Möglichkeiten.



© BEC GmbH, Pfullingen

Bildgestützte intraoperative Nadel-Navigation mit dem System Guidoo

Auch wenn in der Presse häufig von „Operationsrobotern“ zu lesen ist, handelt es sich bei den Maschinen im OP nicht um echte Roboter, also selbstständig agierende Einheiten. Entscheidung und Handlung bleiben aus guten Gründen dem Menschen vorbehalten, der von den roboterähnlichen Systemen Unterstützung erhält.

Zugleich zeigen solche Technologien schon heute, wie bestimmte Bereiche der medizinischen Versorgung in der Zukunft aussehen könnten. Ihre Bedeutung für das Gesundheitswesen ist kaum zu überschätzen. Auch für den Technologie- und Wirtschaftsstandort Deutschland spielen sie eine bedeutende Rolle. Für ein Land mit einer großen Tradition in der Medizintechnik besteht hier ein riesiges ökonomisches Potenzial.

High-Tech-Systeme im OP

Chirurgische Eingriffe stellen extreme Anforderungen an die ausführenden Personen. Um komplexe Operationen erfolgreich durchzuführen, müssen sie umfassende Übersicht, höchste Präzision und praktisch unbegrenzte Ausdauer mitbringen. Bisher sind im wesentlichen zwei Arten von Assistenzsystemen für die computer- und robotergestützte Chirurgie im Einsatz: Telemanipulatoren und Positioniersysteme. Die folgenden Beispiele illustrieren das Einsatzspektrum dieser Technologien.

Telemanipulation mit starrer Instrumentenführung

Eine Verengung am Übergang von der Niere zum Harnleiter blockiert den Harnfluss des Patienten. Diese Störung wird mit einer sogenannten Pyeloplastik operativ beseitigt. Ob die Nierenfunktion erhalten bleibt, hängt von der Präzision des Eingriffs ab.

Das chirurgische Assistenzsystem verfügt über vier Roboterarme, an deren Enden die Instrumente sowie eine 3D-Kamera installiert sind. Die winzigen Instrumente können in sieben Freiheitsgraden bewegt werden und sind damit flexibler als die menschliche Hand. Kamera und Instrumente werden von den Roboterarmen durch kleine Schnitte in der Bauchdecke vorsichtig zum Operationssitus geführt. Die Chirurgin übernimmt die Steuerung. Statt stehend über den Patienten gebeugt zu arbeiten, sitzt sie bequem an einer Konsole mit einem

3D-Sichtgerät. Dank dreidimensionaler Sicht und zehnfacher Vergrößerung des Kamerabildes kann sie feinste Strukturen einschließlich der Nerven sehr detailliert erkennen. Die Bewegungen ihrer Finger werden von einem 3D-Joystick elektro-mechanisch erfasst und in skalierte Instrumentenbewegungen verwandelt. Dabei spielen hochempfindliche Sensoren, die Mikroelektronik des integrierten Rechners sowie präzise arbeitende Kleinmotoren auf komplexe Weise zusammen.

So kann zum Beispiel eine Fingerbewegung von zwei Zentimetern Länge in einen Vorschub des Instruments um zwei Millimeter untersetzt werden. Der softwaregestützte Tremorfilter eliminiert das unvermeidliche Zittern der menschlichen Hand. Die Instrumente lösen die Verengung auf, ohne die umgebenden Strukturen zu schädigen. Erst die mikroelektronischen und elektrischen Komponenten machen die Genauigkeit möglich, die sich mit einem konventionellen Eingriff kaum erzielen ließe.

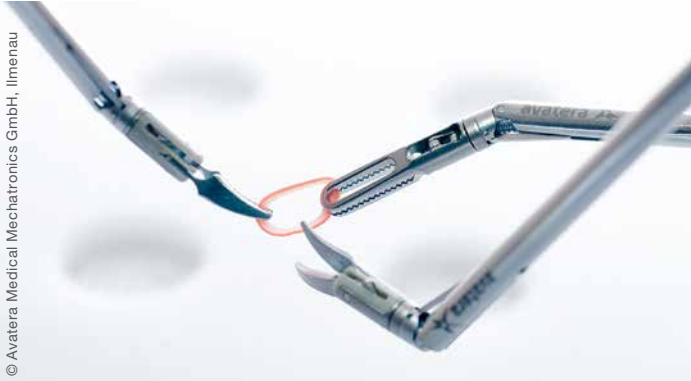
Telemanipulation mit flexibler Instrumentenführung

Das Karzinom sitzt an einer schwer zugänglichen Stelle im tiefen Rachen. Die Stereokamera und die Instrumente des Assistenzsystems sind in einem Gliederschlauch untergebracht. So können sie den natürlichen Hohlräumen des Körpers folgend zum Operationssitus vorgeschoben werden. In diesem Fall gelangt die flexible Einheit durch den Mund des Patienten bis zum tiefen Rachen.



Von seiner Konsole aus bringt der Chirurg die Instrumente am vorderen Ende des Systems in Position. Sein 3D-Monitor zeigt den Tumor und das umgebende Gewebe in starker Vergrößerung. Die Handbewegungen, mit denen er die Instrumente führt, werden von mikroelektronischen Bewegungssensoren erfasst und durch Untersetzung skaliert.

**Die Eingabekonsole
als ergonomische
Nutzerschnittstelle am
Beispiel eines Chirurgieroboters**



© Avatera Medical Mechatronics GmbH, Ilmenau

**Telemanipulator
mit starrer
Instrumenten-
führung**

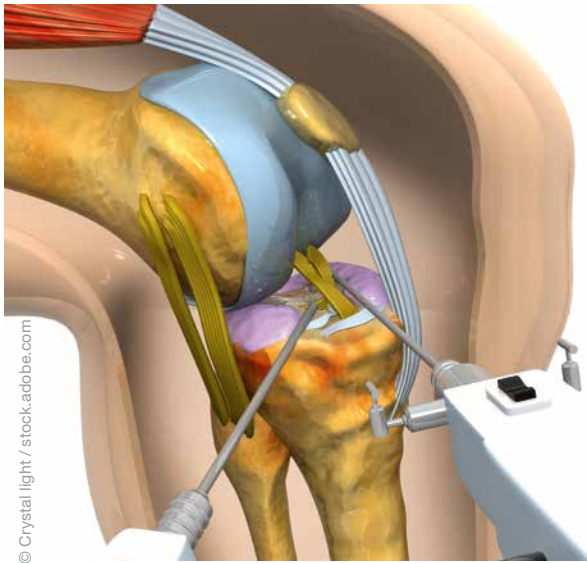
So kann er miniaturisierte Manöver ausführen, die mit der freien Hand gar nicht möglich wären. Er kann den Tumor gezielt reseziieren, ohne die feinen Muskeln und Nerven in Kehlkopfnahe zu beschädigen.

Eine unvollständige Liste der Vorteile, von denen Patienten dank dem Hightech-System profitieren können: Der minimalinvasive Eingriff ist viel weniger traumatisch als herkömmliche Verfahren; der Blutverlust ist geringer, ebenso die Gefahr einer Nervenschädigung; Wundheilung und Rehabilitation verlaufen schneller; es gibt keine äußerlichen Schnittwunden und Narben.



© Avatera Medical Mechatronics GmbH, Ilmenau

**Vier Instrumente können unabhängig voneinander
präzise gesteuert werden**



Ein arthrotisches Kniegelenk (links) erhält dank einer Knieendoprothese (unten) seine schmerzfreie Beweglichkeit zurück.

Präzise Implantatpositionierung in der Orthopädie

Das Kniegelenk führt ein komplexes Zusammenspiel von Teilbewegungen aus. Wenn ein künstliches Kniegelenk diese anspruchsvolle Funktion wiederherstellen soll, müssen seine Teile höchst präzise in die Knochen implantiert werden, unter Beachtung aller Achsen und Ebenen in drei Dimensionen.

Der optimale Sitz der Endoprothese lässt sich an einem 3D-Modell des individuellen Kniegelenks genau berechnen. Bei der Operation ist die Sicht in das Knie jedoch begrenzt, was die korrekte Ausrichtung der Implantate erschwert. Die Software des Assistenzsystems fügt auf dem integrierten Rechner Röntgenbilder und CT-Aufnahmen zu einem 3D-Modell zusammen, erkennt die Referenzpunkte an den freigelegten Knochen und „sieht“ auch die verdeckten Teile des Gelenks. Die Mikroelektronik liefert die „geographischen“ Daten, um die an einem Roboterarm befestigte Schnittlehre millimetergenau an die richtige Stelle zu navigieren. Sie steuert auch die Präzisionsmotoren, die sie für die handgeführte Säge im korrekten Winkel platzieren. Das Implantatbett wird so optimal vorbereitet. Die Abweichungstoleranz, die sich bei herkömmlicher OP-Technik nicht vermeiden lässt, wird stark reduziert. Die hochgenaue Navigationstechnik ermöglicht signifikant bessere Ergebnisse bei Schmerzfreiheit, Beweglichkeit und Gelenkfunktion.

Ein weiteres Beispiel ist die operative Stabilisierung der Wirbelsäule. Hier verbindet man mehrere Wirbelkörper durch Stäbe, die mit sogenannten Pedikelschrauben am Knochen befestigt werden. Die Schraubengewinde befinden sich dabei nur wenige Millimeter neben dem Rückenmark. Über dem Wirbelkörper wird ein Assistenzsystem von der Größe und Form einer Getränkedose befestigt.



Darin befindet sich die mikroelektronisch gesteuerte Führungshülse für den Bohrer, der den Schraubensitz vorbereitet. Anhand von 3D-Bilddaten richten kleine Hochleistungsmotoren die Hülse so aus, dass die Schraube optimal verankert werden kann, ohne das Rückenmark zu gefährden.

**Assistenzsystem (ohne Gehäuse)
zur Positionierung chirurgischer
Schrauben in der Wirbelsäule**

High-Tech-Systeme für Patienten

Rechnergestützte Assistenzsysteme mit roboterähnlichen Funktionen können Menschen mit körperlichen Einschränkungen auch im Alltag helfen. Aktive Prothesen ersetzen Gliedmaßen, nehmen durch Sensoren Neuroimpulse auf und setzen sie mit leistungstarken Kleinmotoren in gezielte Bewegungen um. Exoskelette kompensieren fehlende Kraft oder Beweglichkeit und ermöglichen aufrechtes Gehen.



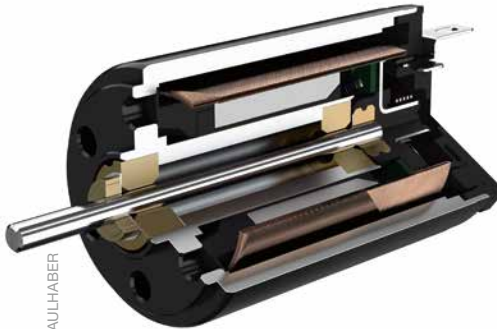
**Mikroelektronische Steuerung
und Motorkraft aktivieren Prothesen**

Aktive Prothesen

Der Verlust einer Hand hat drastische Einschränkungen zur Folge, die praktisch jeden Bereich des Alltags betreffen. Aktive, myoelektrische Handprothesen können viele natürliche Handfunktionen ausführen und einen weitgehend normalen Alltag ermöglichen. Sie registrieren kleinste elektrische Spannungen in den Muskelzellen des Unterarmstumpfes mittels hochempfindlicher Sensoren. Ihre Elektroden erfassen den Muskelreiz und wandeln ihn mit einem mikroelektronischen Verstärker in verwertbare Signale um.



© shurkin_son / stock.adobe.com



© FAULHABER

DC-Motor mit Edelmetallkommutierung für reibungsarme, präzise Antriebe von Robotern und Bedieneinheiten mit haptischem Feedback

Diese werden von einem integrierten Rechner in präzise Steuerbefehle übersetzt. Elektrische Kleinmotoren im Handgelenk und in allen Fingern ermöglichen intuitive, filigrane Bewegungen. Sie geben der Steuerung haptisches Feedback und erlauben damit unvermittelte Interaktion. Scheinbar einfache, in Wirklichkeit hochkomplexe Abläufe wie das Schuhebinden werden wieder möglich. Die wiedergewonnene autonome Handlungsfähigkeit bringt zugleich einen enormen Gewinn an Kontrolle, Lebensqualität und Selbstwertgefühl für den Träger.

Aktive Exoskelette

Trauma, Schlaganfall oder degenerative Krankheiten wie die Multiple Sklerose – es gibt viele Ursachen für verminderte Bewegungsfähigkeit. Solche Einschränkungen lassen sich mit moderner Technologie zumindest teilweise ausgleichen. Aktive Exoskelette können die Kraft geschwächter Muskeln ersetzen und neurologische Defizite kompensieren. Vielen Menschen, die bisher auf einen Rollstuhl angewiesen waren, können sie wieder zum aufrechten Gehen einschließlich Treppensteigen verhelfen.

Die Exoskelette können wie Fahrzeuge aufgebaut sein, die zum Beispiel von einem querschnittsgelähmten „Passagier“ mit Steuerbefehlen gelenkt werden. Andere Modelle „erfühlen“ durch Sensoren die Restfunktion der Gliedmaßen, interagieren aktiv mit dem Benutzer und liefern die benötigte Unterstützung. In beiden Fällen erfordern Balance und Gehbewegung ein hochkomplexes Zusammenspiel von Sensorsignalen und der abgestimmten Regelung mehrerer Antriebseinheiten. Sensoren und Aktoren verarbeiten Ein- und Ausgangssignale mit ihren mikroelektronischen Steuerungseinheiten; ein zentraler Rechner – ebenfalls auf mikroelektronischen Prozessoren und Speicherchips aufgebaut – koordiniert die Bewegung. Der aufrechte Gang bringt die Nutzer buchstäblich auf gleiche Augenhöhe mit gesunden Menschen und umgeht die Barrieren, die ein Rollstuhl nicht überwinden kann.



Zukunftsperspektiven

In vielerlei Hinsicht steht die Entwicklung intelligenter Assistenzsysteme noch an ihrem Anfang. Jenseits der genannten Beispiele wird an zahlreichen weiteren Ansätzen geforscht. Manche heute noch futuristisch anmutende Systeme existieren bereits als Prototypen.

So werden etwa in den Laboren kleine kabellose Systeme erprobt, die mit Hilfe von Magnetfeldern im Körper bewegt werden. Pillengroße Endoskopiekapseln können aber schon heute zum Beispiel Bilder aus dem Verdauungstrakt aufnehmen und gleichzeitig Biopsien durchführen. Echte Roboter könnten durch Maschinelles Lernen die Ausführung einfacher chirurgischer Aufgaben trainieren und übernehmen.

Dass ein hochspezialisierter Experte von München aus mittels Assistenzsystem eine Operation in Hamburg durchführt, scheitert nur noch an der Latenz, also der nicht ausreichend zuverlässigen Geschwindigkeit von Datenverarbeitung und -übertragung. Autonome Mikro- und Makroroboter sind vorerst noch Zukunftsmusik, aber bereits im Bereich ernsthafter Forschung. Aktive Prothesen und Exoskelette gewinnen weiter an komplexer Funktion, werden leichter und leistungsfähiger.

Technologische und ökonomische Relevanz

Die medizinischen Assistenzsysteme beruhen auf moderner Roboter- und Automatisierungstechnik. Diese wiederum besteht aus drei grundlegenden Elementen:

- 1 präzise und empfindliche Sensorik zur Erfassung einer komplexen und dynamischen Situation
- 2 kleine energieeffiziente Aktoren mit großer Leistungsdichte zum Ausführen hochpräziser Bewegungen
- 3 leistungsstarke echtzeitfähige Steuerung auf Basis integrierter mikroelektronischer Systeme

Die Mikroelektronik macht's

Wir – die VDE VDI GMM – stehen für „Netzwerk für Technik und das Leben von morgen“. Die Technik unserer Zukunft wird unser Leben von morgen entscheidend prägen. Die Mikrotechnologie und Mikroelektronik sind hierin die „key enabling technologies“. Die Welt wird sich ändern. Geben wir gemeinsam die Richtung vor!

Sagen Sie uns Ihre Meinung. Feedback an info-gmm@vde.com

Über den VDE

Der VDE, eine der größten Technologie-Organisationen Europas, steht seit mehr als 125 Jahren für Innovation und technologischen Fortschritt. Als einzige Organisation weltweit vereint der VDE dabei Wissenschaft, Standardisierung, Prüfung, Zertifizierung und Anwendungsberatung unter einem Dach. Das VDE Zeichen gilt seit mehr als 100 Jahren als Synonym für höchste Sicherheitsstandards und Verbraucherschutz.

Wir setzen uns ein für die Forschungs- und Nachwuchsförderung und für das lebenslange Lernen mit Weiterbildungsangeboten „on the job“. Im VDE Netzwerk engagieren sich über 2.000 Mitarbeiter*innen an über 60 Standorten weltweit, mehr als 100.000 ehrenamtliche Expert*innen und rund 1.500 Unternehmen gestalten im Netzwerk VDE eine lebenswerte Zukunft: vernetzt, digital, elektrisch. Wir gestalten die e-diale Zukunft.

Sitz des VDE (VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik e.V.) ist Frankfurt am Main. Mehr Informationen unter www.vde.com

VDE VDI GMM

Die GMM wird von den beiden Ingenieurverbänden VDE und VDI gemeinsam getragen. Die GMM hat zurzeit ca. 8.500 Mitglieder und 600 aktive ehrenamtliche Mitarbeiter. Die fachliche Arbeit unterteilt sich in 7 Fachbereiche mit ca. 45 Fachausschüssen und mehreren Fachgruppen.

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.
Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main

Tel. +49 69 6308-0
service@vde.com

