

Die Deutsche Gesellschaft für Feinwerktechnik e.V.
präsentiert
Geschichten, Berichte, Dokumentationen
rund um die Feinwerktechnik

Reihe 1: Historie



Band 1:

Werner Krause, Thomas Nagel

Von den Anfängen der Feinmechanik
bis zur modernen Gerätetechnik

12.12.2014

Von den Anfängen der Feinmechanik bis zur modernen Gerätetechnik

Feinwerktechnische Produkte dringen immer mehr in nahezu alle Bereiche der menschlichen Gesellschaft ein und sie beeinflussen zunehmend unser tägliches Leben. Allein in Deutschland, so schätzt man, sind etwa 990 Millionen dieser Produkte im Gebrauch. In jedem Jahr werden ca. 40 Millionen neu produziert und verkauft.

Welche menschliche Erfindung sich als erste der Feinwerktechnik zuordnen lässt, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Etwa im 3. Jh vor unserer Zeitrechnung entwickelte der griechische Mechaniker Ktesibius eine Wasseruhr mit Regeleinrichtungen und Zahnradgetrieben, die ähnlich einer Sanduhr, nur eben mit Wasser funktioniert. Dazu waren großes handwerkliches Geschick und genaue Kenntnisse feinmechanischer Technologien erforderlich, deren Grundlagen in den Jahrhunderten zuvor gelegt wurden. Später folgten erste astronomische Messgeräte zur Standortbestimmung der Gestirne, z.B. so genannte Astrolabien. Ein Astrolabium ist ein scheibenförmiges astronomisches Instrument zur Darstellung des von der Erde aus sichtbaren drehenden Himmels (Bild 1).

Auch wenn die Zeiträume, in denen qualitative Veränderungen erfolgten, aus heutiger Sicht sehr lang waren, so sind doch die Leistungen der Handwerker und Künstler bei der Konstruktion und Herstellung solcher Erzeugnisse stetig gewachsen. Höhepunkte dieser rein feinmechanischen Entwicklung waren zweifelsohne die ersten mechanischen Uhren und die astronomischen Geräte des 16. und 17. Jahrhunderts. Bild 2 zeigt hierzu das Planetengetriebe vom Globus auf der „Astronomischen Kunstuhr“, die in den Jahren 1563 bis 1568 von E. Baldwein, H. Bucher und H. Diepel für Kurfürst August von Sachsen gebaut wurde. Die für die damalige Zeit außerordentlich leistungsfähige Uhr besitzt Laufscheiben für die Planeten nach der geozentrischen ptolemäischen Epizykeltheorie, Scheiben eines Astrolabiums für die Bewegung der Sterne und der Sonne sowie eine Kalenderscheibe mit der Sonnenbewegung.

Erwähnenswert sind aber auch die der Unterhaltung dienenden „Automaten“ und die weniger bekannten Androiden, dem Menschen oder Tieren nachgebildete Figuren mit erstaunlichen Fähigkeiten. Als Beispiel sei hier „Der Schreiber“ von Pierre Jaquet-Droz aus dem Jahre 1774 erwähnt, der durch eine Vielzahl

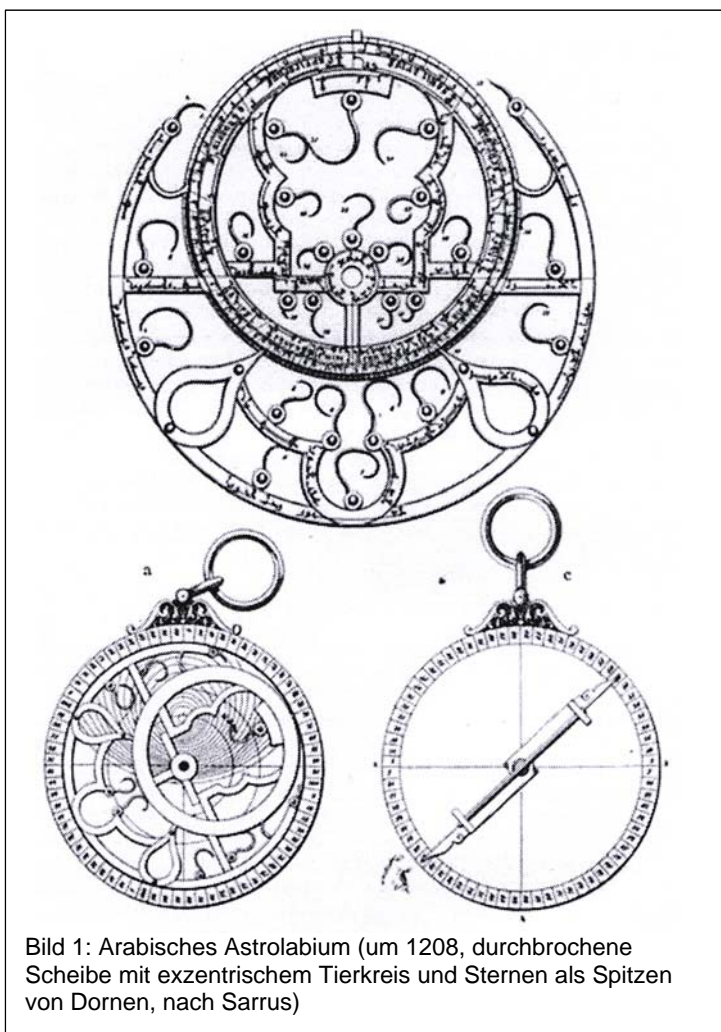


Bild 1: Arabisches Astrolabium (um 1208, durchbrochene Scheibe mit exzentrischem Tierkreis und Sternen als Spitzen von Dornen, nach Sarrus)

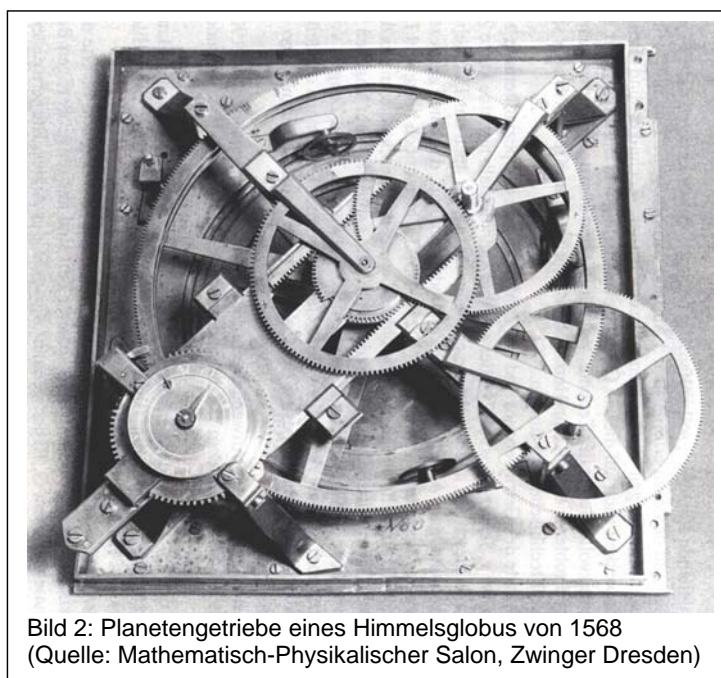


Bild 2: Planetengetriebe eines Himmelsglobus von 1568 (Quelle: Mathematisch-Physikalischer Salon, Zwinger Dresden)

von Kurvenscheiben gesteuert und mittels Federkraft angetrieben, verschiedene Texte schreiben konnte (Bild 3). Dabei taucht eine Gänsefeder regelmäßig in ein Tintenfass und der Kopf sowie auch die Augen der Figur folgen der Schreibbewegung. Einige interessante Videos sind unter www.youtube.com zu finden.

Im 19. Jahrhundert erreichte die Feinmechanik dann einen beeindruckenden Stand. Bild 4 veranschaulicht dies am Beispiel eines Universalinstruments, welches die Firma Repsold in Hamburg 1863 entwickelte und fertigte. Es diente von 1867 bis 1878 A. Nagel zum Vermessen des Königreichs Sachsen. Dabei wurden mit einem Dreiecksnetz 1. Ordnung (Triangulation) 36 Punkte markiert und 40.000 Richtungsmessungen durchgeführt.

Ein weiterer Schritt in der Herausbildung der Feinwerktechnik begann mit der Nutzung optischer Bauelemente. Auch in diesem Fall ist es schwierig, einen auch nur annähernd genauen Zeitraum anzugeben. Spiegel aus polierten Metallplatten waren schon um 2.000 v. u. Z. bekannt. Die Verwendung als Brennspiegel ist durch einen Fund aus China, der auf das Jahr 673 v. u. Z. datiert wird, belegt. Aus der gleichen Zeit stammt der älteste plankonvex geschliffene Bergkristall. Die ersten Konstruktionen, die optische und feinmechanische Elemente beinhalten, entstanden nach der Erfindung der Brille durch Salvino degli Armati und der eingefassten Lupe am Ende des 13. Jahrhunderts. Danach folgten Ende des 16. Jahrhunderts der Bau des aus zwei Linsen bestehenden Mikroskops durch den Brillenmacher Zacharias Janssen und des Fernrohres, dessen Verwendung Galilei 1610 die Entdeckung von drei Monden des Jupiters ermöglichte.

Seit Mitte des 17. Jahrhunderts ist der Bau von Elektrisiermaschinen, so z. B. 1672 durch Otto von Guericke, belegt. Der erste praktische Einsatz einer solchen Maschine im medizinischen Bereich fand 1744 durch den Arzt C. G. Kratzenstein statt. Der nächste Schritt folgte Ende des 18. Jahrhunderts mit dem Bau und dem Einsatz von verschiedenen elektrischen Telegrafen zu Versuchszwecken. Bemerkenswert ist dabei die Versuchsanordnung von A. de Betancourt aus dem Jahr 1798, der mittels einer Kleistschen Flasche, als älteste Bauform eines Kondensators, über eine Entfernung von 60 km telegraphierte. Wenig später setzte eine stürmische Entwicklung auf allen Gebieten der Elektrotechnik und ihrer Umsetzung in praktischen Geräten ein. Als Beispiele seien neben dem Telegrafen das Telefon, die elektrische Beleuchtung sowie die große Anzahl elektrischer Antriebe genannt.

Mit der Verwendung elektrischer und elektronischer Bauelemente, wie Widerstand, Kondensator, Gleichrichter und der Elektronenröhre waren alle Bestandteile, die moderne Geräte auszeichnen, bekannt. Dazu kam ein rasch steigender Bedarf an diesen Erzeugnissen, der die Umstellung der Technologie von der Einzel- oder Kleinserienfertigung zur Massenproduktion mit Stückzahlen in vorher nie gekanntem Ausmaß erforderte. Insbesondere waren es ausgangs des 19. Jahrhunderts die so genannten „Jungen Industrien“, denen eine enge Bindung an die Ingenieurwissenschaften innewohnte, neben der chemischen Industrie insbesondere die



Bild 3: Der „Schreiber“
(Quelle: Watchwiki, 16.2.2011)

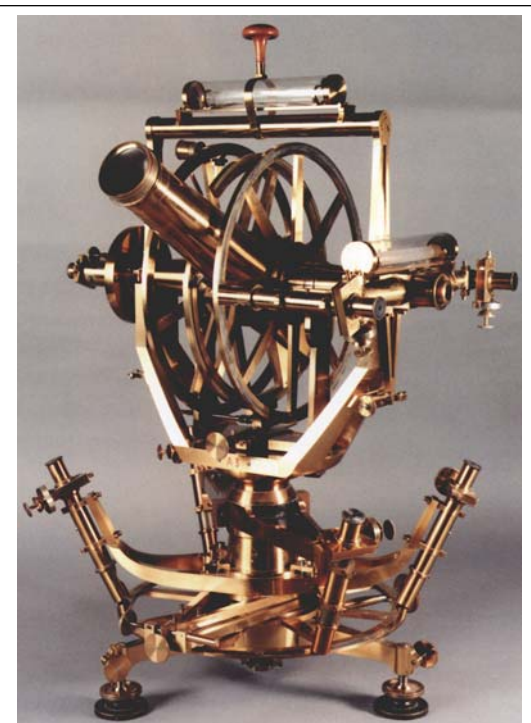


Bild 4: Repsold- Universalinstrument
(Quelle: Kustodie TU Dresden)

Elektrotechnik und die Feinmechanik-Optik. Doch dauerte es noch bis in die 1920er Jahre, ehe unter diesem Rationalisierungsdruck und dem zugleich einsetzenden internationalen Wettbewerb eine institutionelle Entsprechung für dieses seit Anbeginn integrative Wissenschaftsgebiet gelang. So wurde unter anderem der wohl weltweit erste „Lehrstuhl für Feinwerktechnik“ an der damaligen Technischen Hochschule Dresden im Wintersemester 1928/29 eingerichtet.

Die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts hat dann durch bedeutende Fortschritte, besonders in der Mikroelektronik, den wohl bisher tiefgreifendsten Wandel gebracht. Auf dem Gebiet der Schreibtechnik ist dies sehr deutlich zu erkennen. Bild 5 zeigt hierzu die „Mitterhofer“-Schreibmaschine, nach dem Erfinder, dem Tischler Peter Mitterhofer aus Tirol benannt. Bei dieser ersten funktionstüchtigen Maschine, nahezu vollständig aus Holz gefertigt, wurden

Stechschrift-Buchstaben benutzt, die von unten das plan liegende Papier durchlöcheren. Im Jahre 1911 entstand dann die erste deutsche Kleinschreibmaschine mit klappbarem Wagen, die bekannte Erika-Schreibmaschine. 1921 kam die erste und für viele Jahre einzige elektrische Schreibmaschine, die "Mercedes-Elektra" auf den Markt. Erst ab den 1960-iger Jahren dominierten dann die elektromechanischen Schreibmaschinen und Fernschreibmaschinen. Doch erst mit dem Einsatz von hochintegrierten Schaltkreisen zeichnete sich die spätere elektronische Schreibmaschine durch eine Vielzahl von zusätzlichen Funktionen aus, wie z. B. Speichern ganzer Textseiten und einfaches Korrigieren. Dabei beschränkten sich die mechanischen Baugruppen auf den Papiertransport und die Druckkoppositionierung. Heute sind derartige Maschinen fast vollständig durch den Computer mit den vielfältigen Möglichkeiten der Textverarbeitung abgelöst.



Bild 5: Schreibmaschine des Tiroler Tischlers Peter Mitterhofer aus dem Jahr 1865 (Modell 2 von Mitterhofer, genannt „Modell Dresden“)



Bild 6: „Praktiflex“– eine der ersten industriell gefertigten Spiegelreflexkameras von 1938

Eine ähnliche Entwicklung hat auch in anderen Bereichen stattgefunden, so zum Beispiel in der Fototechnik. Hier wurden die klassisch mechanisch-optischen Geräte (Bild 6) durch elektronisch arbeitende Digitalkameras nahezu vollständig verdrängt.

Mit dieser immer weiteren Verbreitung der Mikroelektronik hielt man bisher vielfach das Ende der mechanischen Technik für gekommen. Dass diese Annahme falsch ist, wurde inzwischen erkannt. Mit dem Vordringen der Elektronik wird das Anwendungsgebiet der Feinmechanik flexibel erweitert und selbst bei rein elektronischen Produkten spielt die Mechanik zumindest während der Herstellungsphase eine weiterhin dominierende und zum Teil sogar zunehmende Rolle. Man spricht deshalb von einer Renaissance der Feinmechanik, die sich in Verbindung mit der Mikroelektronik und unter dem Einfluss der Informatik in Richtung einer modernen Gerätetechnik entwickelt. Diese stellt heute ein interdisziplinäres Gebiet der Ingenieurwissenschaften dar. Es verknüpft die physikalischen Disziplinen der Mechanik, Optik und Elektrotechnik-Elektronik in der Einheit von Hard- und Software (Bild 7). Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, mechanische Baugruppen durch Sensoren, Mikroprozessoren, Aktoren usw. zu ergänzen und mit einem hohen Anteil von Systemwissen und Software intelligente Produkte zu entwickeln.

Mittels Informationsverarbeitung können diese Produkte auf Parameteränderungen in geeigneter Weise reagieren. Das Spektrum reicht von solchen der Konsumgüterindustrie, gebunden an Verfahren der Großserienfertigung, bis hin zu hoch komplizierten Ausrichtungen in oft nur einmaliger Spezialausführung. Es umfasst über die Mess- und Automatisierungstechnik, die elektronische Gerätetechnik, die Elektromechanik, Feinmechanik und Optik sowie die Produktionstechnik hinaus viele weitere Gebiete.

Mit dem Einsatz des Computers zur Steuerung von Funktionen ist eine neue Qualität entstanden. Es eröffnen sich umfangreiche Möglichkeiten zur Programmierbarkeit. Zugleich steigen Flexibilität, Funktionsumfang sowie der Automatisierungsgrad. Damit werden aber auch neue Wege in der Technologie möglich, wie das große Gebiet der additiven Fertigung zeigt. Hierbei werden Bauteile in einem durchgängigen digitalen Prozess direkt aus der Konstruktion heraus gefertigt. Bekanntes Beispiel sind 3D-Drucker, die Bauteile (meist aus Kunststoff) als Prototypen oder sogar als serientaugliche Teile herstellen (Bild 8).

Die nachfolgend aufgeführten Trends fassen die aufgezeigten Entwicklungen zusammen:

- Realisierung der informationsverarbeitenden Baugruppen der Produkte mit mikroelektronischen Bausteinen.
- Realisierung der Baugruppen an der Geräteperipherie (Ein- und Ausgabe, Datenträgertransport, Steuerung von Bewegungsabläufen usw.) mit leistungsfähigen und zunehmend stärker miniaturisierten elektromechanischen und mechanischen Bauelementen (elektromechanische Schrittmotoren, lagegeregelte Gleichstromkleinstmotoren, hochübersetzende Getriebe usw.).
- Übergang von traditionellen analogen zu digitalen Verarbeitungsprinzipien.
- Funktionenintegration, das heißt immer mehr Funktionselemente werden zu einer - vielfach nicht reparierbaren - Einheit integriert.



Bild 7: Canon-EOS20D (Quelle: Canon Deutschland GmbH)

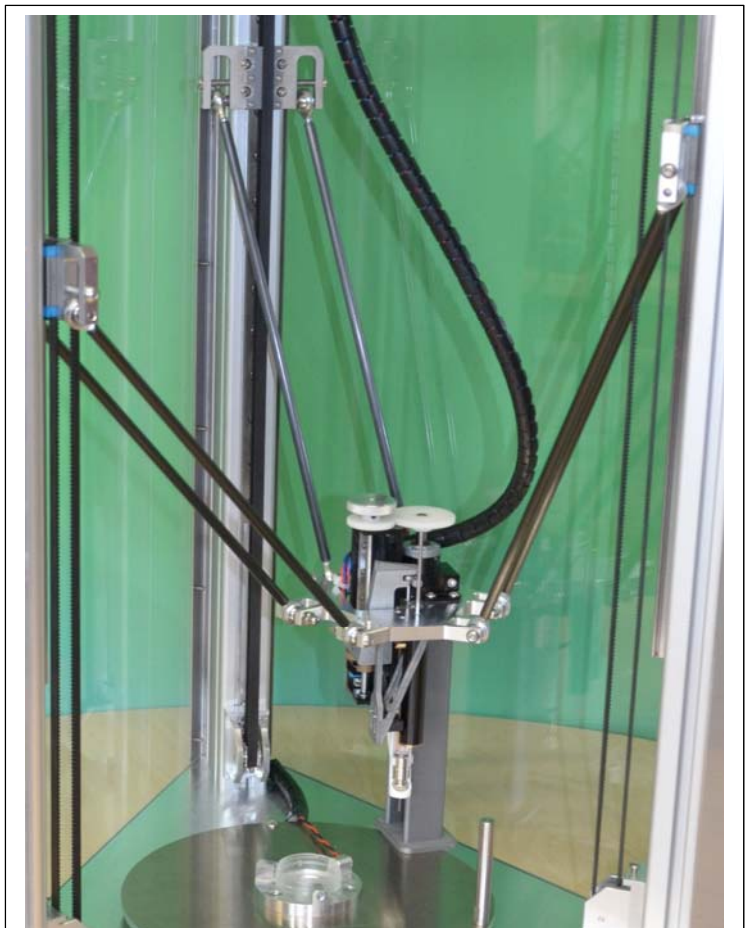
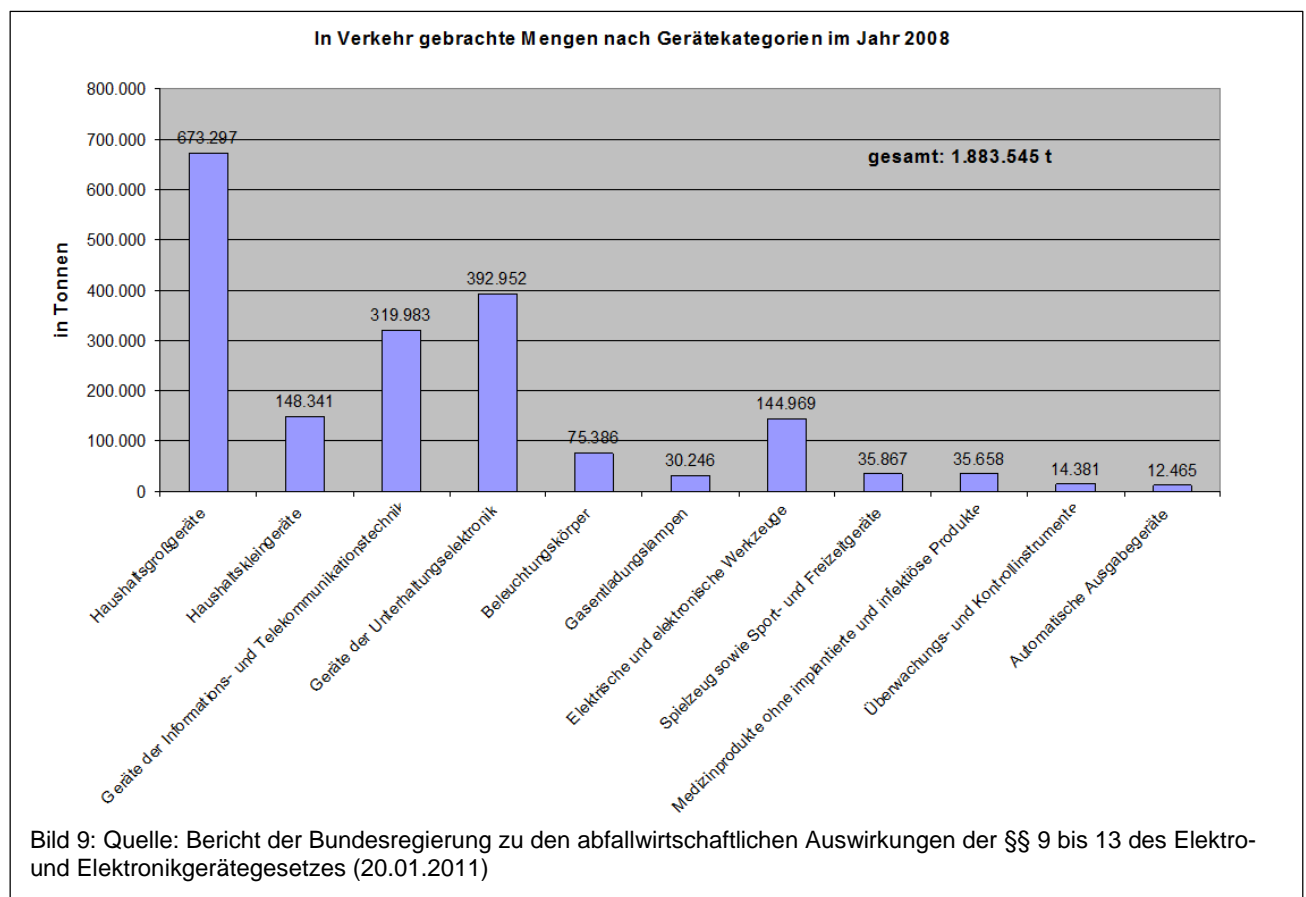


Bild 8: 3D-Drucker für biologische Materialien (Quelle: Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design, TU Dresden 2014).

- Selbstdiagnose, das heißt, im Zusammenhang mit der Programmierbarkeit steigen die Möglichkeiten, dass Produkte Funktionsabweichungen und -ausfälle selbst erkennen und beseitigen.
- Dezentrale Antriebssysteme möglichst als Direktantriebe.
- Einführung neuer Gerätegenerationen in immer kürzeren Zeiträumen.
- Ansteigen der Softwarekosten im Vergleich zu den Hardwarekosten.
- Suche nach Innovationen bezieht Lösungen aus der Biologie zur Ideengenerierung ein (Stichwort Bi-onik).

Unter Beachtung dieser Trends erhalten die Antriebstechnik und Aktorik, die Präzisionsmechanik und Mikro-mechanik, die Sensorik, die Rechnersteuerung von Produkten sowie deren rechnergestützte Projektierung zunehmende Bedeutung. Mit Blick auf die in großen Stückzahlen zu fertigenden und am Ende ihrer Ge-brauchsphase zu entsorgenden Produkte ist aber auch deren automatisierter Montage und Demontage sowie dem Stoff- und Produktrecycling viel mehr Beachtung zu schenken. Allein in Deutschland werden jährlich 1,9 Mio t Gerätetechnik in Verkehr gebracht (Stand 2008, Bild 9) und müssen nach der Verordnung des WEEE (Altgerätegesetz) wieder vom Kunden zurück genommen und fachgerecht entsorgt werden. Das verursacht große Anstrengungen, da doch viele Konstruktionen nicht recyclinggerecht ausgeführt sind. Ein Zerlegen des Produktes in Stoffgruppen ist daher schwierig, was allein bei Betrachten der zu recycelnden Leiterplatten ein-leuchtet. Eine weitere Maßnahme zur Schonung von Ressourcen und Umwelt ist das Produktrecycling, bei dem Geräte durch Wieder- oder Weiterverwendung, z.B. durch Aufarbeitung, dem Markt wieder zugeführt werden. Das gelingt aber nur zum Teil, da die Produkte zwar nicht real, aber doch moralisch verschlissen sind.



In modernen Produkten ist der Einfluss der Mikrosystemtechnik spürbar. Als eines der ersten Geräte, die mikrosystemtechnische Elemente (Düse für Tinte) in Serie einsetzen, gilt der Tintenstrahldrucker. Möglicherweise kann bereits in der nächsten Zeit die Umsetzung von Erkenntnissen aus der Nanotechnik und der Biologie einen weiteren Strukturwandel in dem bedeutsamen Gebiet der Gerätetechnik bewirken.