

Von den Anfängen der Elektrotechnik zur Systemtechnik des 21. Jahrhunderts (2)

R. Schönfeld, Dresden

Zu Beginn des neuen Millenniums ist die Orientierung auf die Zukunft ausgeprägt wie nie. Auch in der Elektroenergietechnik bestimmt die Informationstechnologie die kommende Zeit. Immer mehr wird der Personal Computer in Gestalt des tragbaren Laptop zur „Kombi-Zange“ des Elektrotechnikers. Der realistische Blick in die Zukunft ist zunächst immer eine Projektion auf Basis der Vergangenheit, die aber von Visionen überlagert wird. Und deshalb zeichnet der vorliegende Beitrag als Fortsetzung aus dem letzten Heft 12 in 1999 diese Linie weiter.

7 Dezentrale Energiequellen

Über ein Jahrhundert wurden immer größere Kraftwerksleistungen realisiert und die Energie über Hochspannungsnetze an den Verbrauchsort geleitet. Daneben entstand aber auch ein dezentraler Bedarf an Elektroenergie. Auf Straßenfahrzeugen, schienengebundenen Verkehrsmitteln, Schiffen ebenso wie in dezentralen menschlichen Siedlungen besteht eine Nachfrage nach Energie, die gar nicht oder nur kostenintensiv über Kabel, Rohrleitungen usw. gedeckt werden kann. Lokale, alternative Energiesysteme sind hier eine wertvolle Ergänzung. Die Energieerzeugung erfolgt über Solar-

zellen, Brennstoffzellen, Wind- und Wasserturbinen.

Die Brennstoffzelle wandelt direkt chemische in elektrische Energie. Das Prinzip war schon im vorigen Jahrhundert bekannt, die großtechnische Umsetzung jedoch bereitete Schwierigkeiten. Wenn es gelingt, Brennstoffzellen (Bild 11) wirtschaftlich effektiv zu produzieren, führt das zu der Möglichkeit, Elektrostraßenfahrzeuge zu betreiben. Der stationäre Einsatz für Kleinverbraucher wird gleichfalls angestrebt (vgl. auch S. 10...12).

Durch Nutzung des Prinzips der Kraft-Wärme-Kopplung können auch für einzelstehende Gebäude bzw. für Gebäudekomplexe effektive Lösungen gefunden werden.

Solarzellen bewirken die direkte Wandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. Photovoltaikanlagen ermöglichen vor allem in Entwicklungsländern (Bild 12) mit intensiver Sonneneinstrahlung die Energiebereitstellung für Beleuchtung, Pumpenanlagen u. ä. In Verbindung mit einer Spei-

cherbatterie ist der Einsatz auch in Mitteleuropa für die Energieversorgung dezentraler Objekte sinnvoll.

Die verfügbare Energie lokaler, regenerativer Quellen ist relativ gering, ihre effektive Nutzung deshalb sehr wichtig. Die räumliche Nähe der Energieerzeugung zu motorischen Verbrauchern vermindert die Übertragungsverluste. Der Einsatz drehzahlsteuerbarer Antriebe zur Bewegungssteuerung ermöglicht weitere Energieeinsparungen durch optimale Anpassung. Die Forderung nach „Systemoptimierung“ stellt sich in lokalen Energiesystemen in ganz neuer Form. Schwierigkeiten ergeben sich auch durch die ungleichmäßige Energiebereitstellung, z. B. bei Windkraftanlagen.

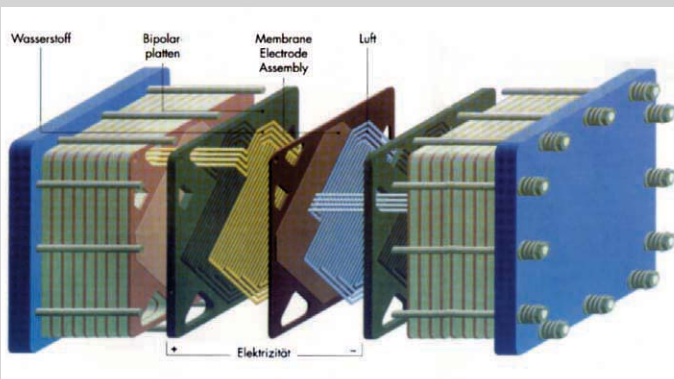
Traditionell werden Dieselmotoren verbunden mit einem elektrischen Generator als lokale Energiequelle auf Schiffen, Lokomotiven und Straßenfahrzeugen eingesetzt. Heutige Steuereinrichtungen ermöglichen, den Dieselmotor an seinem optimalen Arbeitspunkt mit maximalem Wirkungsgrad und minimaler Abgasemission zu betreiben und alle notwendigen Steuerungen auf der elektrischen Seite zu realisieren. Ein solches Aggregat entspricht gültigen Umweltforderungen und ist nach wie vor hoch aktuell. Die Optimierung des Verbrennungsprozesses im Motor mit elektronischen Mitteln eröffnet neue Wege zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemission.

8 Energie und Automation

Die Steuerbarkeit des Energieflusses ist ein entscheidender Vorteil der elektrischen Energie gegenüber anderen Energieformen. Parallel zu elektrischen Anlagen entwickelte sich die dafür notwendige Automatisierungstechnik. Energetische Aspekte und Gesichtspunkte der Automatisierung sind nämlich untrennbar verbunden, weil

Autor

Prof. Dr.-Ing. habil. (em.) Rolf Schönfeld ist emeritierter Hochschullehrer an der Technischen Universität Dresden.



11 Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle (Foto: Ballard/Alstom)

12 Photovoltaikanlage in Senegal



höherer Energieeinsatz steigenden Automatisierungsgrad zur Folge hat. Auch die Umkehrung des Zusammenhangs wird traditionell bei Industrieanlagen für die unterschiedlichsten Zwecke deutlich, gilt aber gleichermaßen für Anlagen der Elektroenergieerzeugung und -übertragung sowie für die Energieverteilung und die Gebäudetechnik. Besonders eindrucksvoll belegen diese Einheit die „intelligenten“ Schaltanlagen, die über Informationen verarbeitende Module und mit schnellen Bussystemen in die Prozeßleittechnik eingebunden werden. Nicht nur die Verfügbarkeit steigt und die Betriebsführung vereinfacht sich, neuartige Funktionen zum Vorteil des Anwenders, wie z.B. Energiemanagement und verbesserte Wartung, werden möglich.

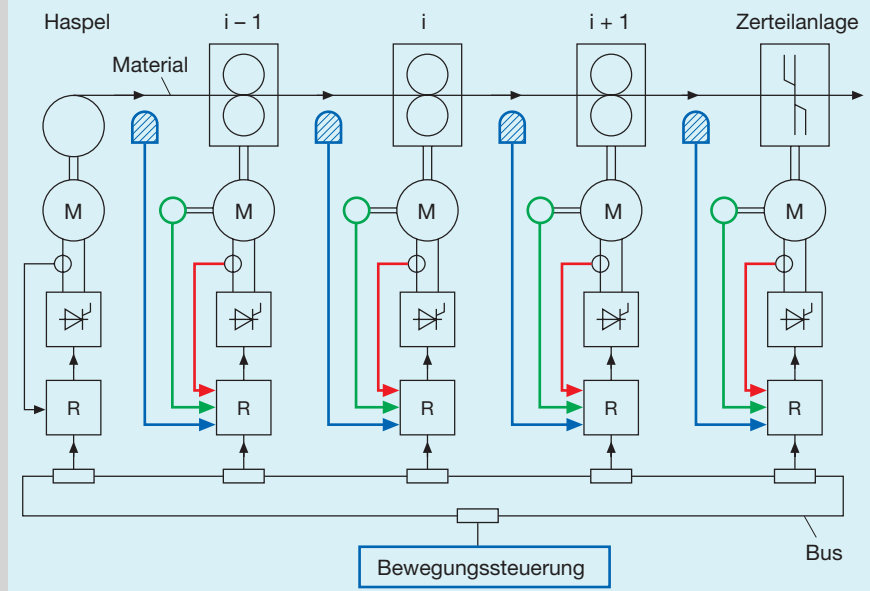
Sehr große Bedeutung besitzt diese Einheit von Energie- und Automatisierungstechnik in neuen Konzepten des Schienen- und Straßenverkehrs.

Ursprünglich erfolgte eine sternförmige, parallele Verbindung der zu automatisierenden Objekte mit der leittechnischen Automatisierungszentrale. Das führte zu einem sehr hohen Verkabelungsaufwand. Mit der Möglichkeit, sehr hohe Datenmengen schnell über Leitungen zu übertragen, entwickelten sich seit den 80er Jahren Buskonzepte. Verdrehte Zweidrahtleitungen (Twisted Pair TP), Koaxialkabel, Lichtwellenleiter (LWL), aber auch Starkstromleitungen im Mittel- und Niederspannungsbereich (Power Line PL) dienen der Signalübertragung. Das Prinzip der Verknüpfung wird durch Bild 13 am Beispiel einer kontinuierlichen Fertigungsanlage demonstriert. Die einzelnen Bearbeitungsstationen sind untereinander und mit einer zentralen Bewegungssteuerung über eine Busleitung verbunden. Die Bewegungssteuerung übernimmt in der Regel die Masterfunktion, d. h., sie steuert die Signalübertragung über den Bus. Die Bearbeitungsstationen sind die Slaves. Sie empfangen Steuerinformationen, und ihr Systemzustand wird abgefragt.

Buskopplungen sind heute in mehreren Ebenen eingeführt (Bild 14). Exemplarisch wird in der Feldebene von Gebäuden der EIB, von Industrieanlagen der Profibus DP angewandt. Die Anbindung der unteren Ebene an höhere Automatisierungsebenen (z.B. mit Ethernet) nehmen dolmetschende Gateways vor, wodurch sich unterschiedlicher Busse – etwa EIB und Ethernet – verständigen können.

Dass auch im Bereich der Energieverteilung Bus-Konzepte verfolgt werden (Schienenverteiler als Energiebus u.ä.), bringt für den Anwender zusätzliche Vorzüge hinsichtlich der Installations- und Betriebsphase.

Spezielle Maßnahmen sind notwendig, um Störimpulse zu vermeiden. Besonders in



13 Kontinuierliche Fertigungsanlage, schematische Bearbeitungsstationen ($i - 1$); i ; ($i + 1$) (Gerüste) R-Regeleinrichtung

Systemebene	Protokoll	
Führungsebene	Bacnet FND 1.0	
Automations-ebene	BACnet PROFIBUS FMS WorldFIP (EIB Net Proposal) Arcnet	
Feldebene	BatiBUS Esprit Home Systems Network EHS EIB LonTalk LCN	

14 Leitebenen am Beispiel der Gebäudetechnik G – Gateway

der Nähe von Halbleitern, die große Ströme schnell schalten, ist das Problem der elektromagnetischen Verträglichkeit kritisch. Gleiches gilt für das Unterdrücken von Netzstörungen und das Beherrschen von Netzausfällen. Häufig wird deshalb der Einsatz unterbrechungsfreier Stromversorgungen (USV/UPS) zwingend.

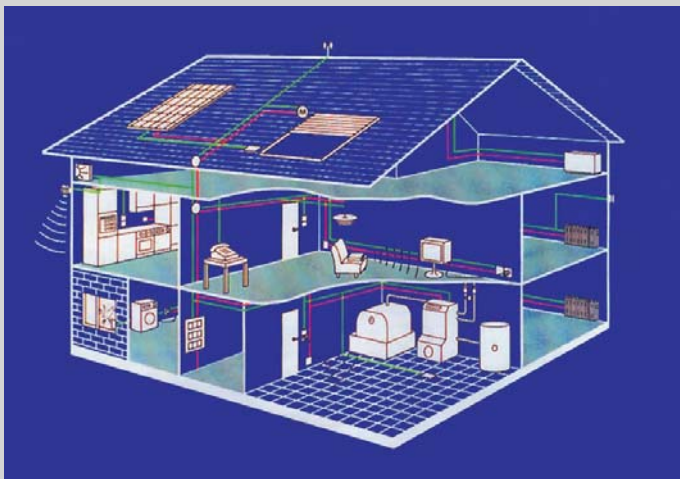
Leittechnik ist ein Fachgebiet, das sich neu herausgebildet hat und die Fragen der komplexen Steuerung von Anlagen behandelt. Energie- und Automatisierungsanlage bilden dabei in nahezu allen Anwendungen vom Industrieobjekt bis zum Gebäude eine untrennbare Einheit. Und weil das so ist, stehen auch im Bereich der Schaltgeräte komplexere Funktionalitäten zu Verfügung (Bild 15). Gleichzeitig verändern sich in der Energietechnik die Schutzziele. So müssen NS-Verteilungen künftig ebenfalls das Personal vor Lichtbögen schützen, weil elektrische Betriebsräume zunehmend normalen Arbeitsräumen weichen und Schaltanlagen aufnehmen werden.



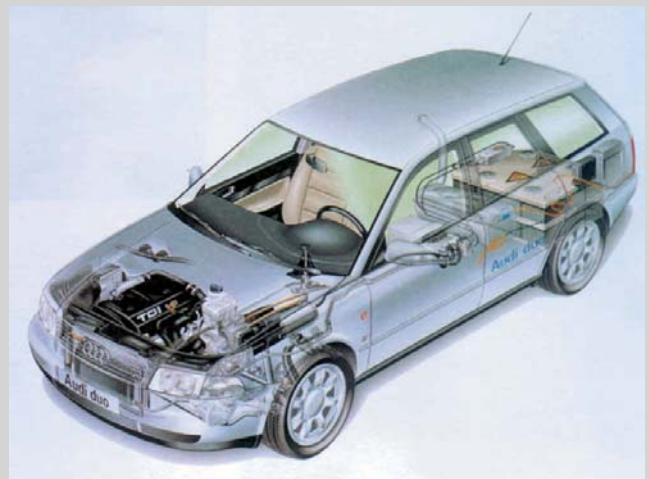
15 Intelligentes NS-Schaltgerät

(Foto: Phoenix)

Das elektronische Lastrelais mit Motormanagement ELR-MM kombiniert schnelle, verschleißfreie Halbleiterschalter mit moderner Meß- und Auswertelektronik und führt zu minimalem Verdrahtungsaufwand.



16 Energieversorgung und Bussteuerung in einem Gebäude
rot – 230 V AC-Versorgung (Energiebus) grün – Informationsbus



17 Hybridstraßenfahrzeug Audi Duo mit einer Kombination aus Benzin- und Elektromotor (Foto: Audi)

9 Elektroenergie-technik bestimmt das tägliche Leben

Der Pro-Kopf-Verbrauch an Elektroenergie ist eine Kenngröße der Lebensqualität. Gebäude sind elektrifiziert und automatisiert, sie wurden zur Wohnmaschine (Bild 16). Eine Vielzahl von Elektrogeräten sind aus dem täglichen Leben nicht wegzudenken.

Wie eine automatisierte Fertigungsanlage wird auch die Wohnmaschine rechnergesteuert. Energie- und Signalbus sichern Energieversorgung und Systemsteuerung. Der Unterschied zwischen Wohnumwelt und Arbeitsumwelt verringert sich.

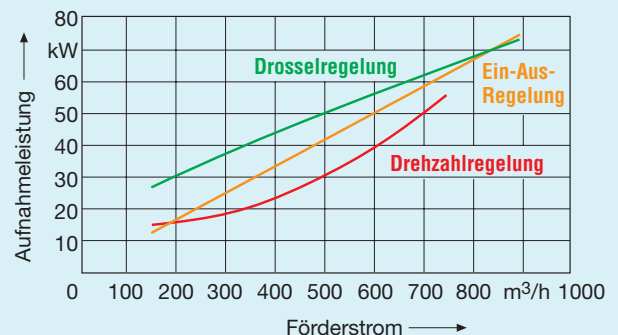
Die Elektrifizierung des Kraftfahrzeugs schreitet gleichfalls rasch voran. Hilfsbetriebe werden durch Elektromotoren betätigt, aus dem Armaturenbrett wird ein Rechnerdisplay. Als Bus-Verbindung hat sich der CAN-Bus durchgesetzt, der wegen seines niedrigen Preises nun auch für stationäre Anlagen Anwendung findet. An einem schadstoffärmeren Elektroantrieb oder Hybridantrieb (Bild 17) für Kraftfahrzeuge wird weltweit intensiv gearbeitet.

Ein relativ neues Anwendungsgebiet elektrischer Energie ist die Umwelttechnik. Pumpen, Lüfter, Elektrofilter kommen verstärkt zum Einsatz. Dazu wird elektrische Energie vielfältig benötigt. Falls nun nicht nur dafür, sondern in der gesamten Technik drehzahlsteuerbare Antriebe zum Einsatz kämen, würde die Antriebstechnik durch bedarfsgerechte Drehzahlsteuerung, Verminderung der Lärmemission, Senkung des mechanischen Verschleißes nachhaltig zur Energieeinsparung beitragen und für unsere Umwelt erhebliche Vorteile bringen (Bild 18).

18 Energieeinsparung durch Einsatz eines drehzahlsteuerbaren Antriebs für eine Abwasserpumpe. Die zusätzlichen Investitionskosten durch den Frequenzumrichter amortisieren sich in ca. 0,5 Jahren.

Abwasserpumpe, Vergleich des Energiebedarfs verschiedener Regelarten

	Aufnahmeleistung in kW
Drosselregelung	44,4
Ein-Aus-Regelung	32,4
Drehzahlregelung	23,0



10 Von der Schalttafel zum Bedienbildschirm, zu Prozessvisualisierung und Prozessüberwachung

Schalttafeln mit Zeigerinstrumenten und Steuerschaltern dienten seit den 20er Jahren zur Bedienung und Überwachung des Energiesystems. Die immer umfangreicheren Anlagen erforderten zunehmend größere Schaltwarten, die über eine Vielzahl von Steuerkabeln mit der Anlage verbunden waren. Sie waren kaum noch zu beherrschen. Heute ermöglichen Bedienbildschirme die Darstellung des zu steuernden Prozesses und des aktuellen Prozesszustandes. Bedienhandlungen sind so gesichert, dass sie Fehler praktisch ausgeschlossen. Entwicklungsziel ist eine bedienerfreundliche Prozessabbildung, möglichst auch eine gewisse Vereinheitlichung der Darstellungen unterschiedlicher Anlagen. Der Aufgliederung der Energieverteilung und der Antriebe entspricht eine dezentra-

le Bedienstruktur. Durch Busverbindungen wird der Verkabelungsaufwand wesentlich gemindert. Trotz der dadurch gegebenen Fortschritte stellt die Inbetriebnahme komplexer Anlagen weiterhin eine kostenintensive Aufgabe dar, die viel Erfahrung und Spezialkenntnis erfordert. Neben Selbstinbetriebnahmestrategien sind Ferninbetriebsetzung, Fernüberwachung und -diagnose Aufgaben der Zukunft. Weil die Leittechnik integraler Bestandteil aller Energieverteilungs- bzw. Stromversorgungsanlagen ist bzw. werden wird, erfolgt künftig auch das Einbinden der Handbedienebene über den Bus.

Die Durchdringung der Elektroenergie-technik mit Rechentechnik und Informatik wird besonders hier sehr deutlich. Diese neue Qualität macht den Laptop zum unverzichtbaren Werkzeug des Elektrotechnikers bei allen seinen Tätigkeiten. Die großen Fortschritte auf dem Gebiet der Prozessvisualisierung und der Prozess-

steuerung wurden durch den hohen Anstieg der Arbeitsgeschwindigkeit der Rechner und der Übertragungsgeschwindigkeit der Bus-Systeme überhaupt erst möglich.

11 Vom Zeigerinstrument zum komplexen Universalmeßgerät ¹⁾

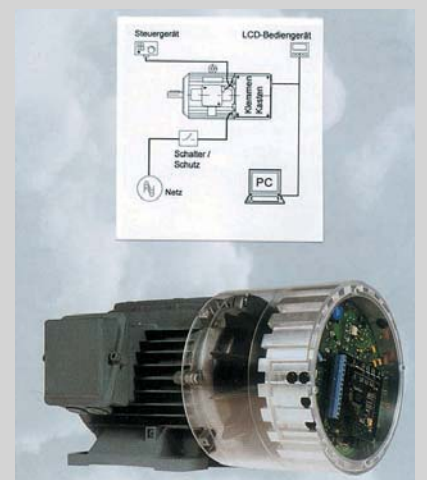
Eine vergleichbar atemberaubende Entwicklung vollzog sich in der Meßtechnik mit all ihren Anwendungen. Auch hier stand das elektrodynamische Prinzip am Anfang. Mit Drehspul- und Dreheiseninstrumenten verfügten die Nutzer bereits zur Jahrhundertwende über eine breite Palette relativ hochwertiger Messgeräte. Noch zeigten sich diese Geräte zwar groß und unhandlich, ihr Funktions- und Konstruktionsprinzip war aber bereits recht perfekt. Messgeräte für die Ermittlung von Strom, Spannung, Widerstand, Leistung und elektrischer Arbeit gehörten zur Standardausrüstung in allen Zweigen von Industrie und Wirtschaft.

Einen entscheidenden Schritt in der elektrischen Messtechnik bedeutete die Erfindung



19 Ultraplus Genius 80 (Foto: Amprobe)
Mikroprozessorgestütztes, komplexes Meßgerät zur umfassenden Qualitätsanalyse des elektrischen Stromes hinsichtlich aller Größen; statistische Auswertung, Messwertpeicherung, Drucker- und PC-Anschluss zur Auswertung unter Windows u.v.a.m. sind möglich.

ung vom (Schleifen-) Galvanometer und vor allem der Braun'schen Röhre. Nun konnten periodische Vorgänge und schnelle Übergangs- und Regelungsvorgänge sichtbar gemacht und ausgewertet werden.



20 Frequenzsteuerbarer Aynchronmotor Integraldrive® der Firma IDS AG
 Dieser hochwertige Antrieb enthält Komponenten wie:

- Hochintegrierter RISC-Prozessor
- Intelligente Leistungsmodule für den Umrichter
- U/f-Kennlinien-Steuerung
- Feldorientierte Regelung
- Optionen: Fremdlüfter, Bremschopper, Geber

(Foto: IDS)

¹⁾ Diesen Abschnitt formulierte Dipl.-Ing. *Hinrich Tribius*, Berlin.

Ein weiterer Qualitätssprung war die Einführung der Digitaltechnik und die Entwicklung digitaler Displays für Messgeräte. Höhere Genauigkeit, steigende Zuverlässigkeit und Robustheit der Instrumente verhalfen ihnen schnell zum Durchbruch. Die Neuerungen in der elektrischen Messtechnik werden immer atemberaubender. Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht abzusehen. Neben hochgenauen, miniaturisierten Vielfachmessgeräten, Speicheroszilloskopen, kompletten Prüfgeräten (Bild 19) stehen leicht handhabbare Spezialisten (Messgeräte zur Prüfung von Schutzmaßnahmen, Erdungsmessgeräte, Netzanalysegeräte usw.) zur Verfügung, die kaum Wünsche offen lassen. Klassische Prinzipien wie etwa die Rogowski-Spule lassen sich optimal einsetzen.

Mit dem Einzug der modernen Rechen-technik in die Messtechnik und der immer perfekteren Möglichkeit sowohl Software, als auch Messwerte in riesigen Speichern abzulegen, nimmt diese Entwicklung in den letzten Jahren rasant anmutende Formen an. Mess- und Prüfgeräte, die softwaregesteuert elektrische Größen ermitteln, miteinander verknüpfen, speichern, vergleichen, auf großflächigem Display anzeigen oder grafisch darstellen, auf Wunsch selbst ausdrucken oder einem Drucker bzw. Rechner zur Verfügung stellen, gehören zur Ausrüstung für anspruchsvolle Aufgaben in Industrie und Gebäudetechnik.

12 Von der funktionellen Integration zur konstruktiven Integration

Motoren, Stromrichter, Steuer- und Regelanrichtungen bilden eine funktionelle Einheit. Das Betriebsverhalten der Gesamtanordnung und die Dimensionierung der Geräte ergibt sich aus dem Zusammenwirken im System. Anwendungsspezifisch zeigen sich zusätzliche Vorteile, wenn die Einzelgeräte auch konstruktiv zusammengeführt werden.

Der Drehzahl- und Lagegeber, der in Verbindung mit Stellmotoren notwendig ist, soweit nicht sensorlose Verfahren Anwendung finden, wird auf die Motorwelle aufgef lanscht und in das Motorgehäuse einbezogen. Weitergehend stehen heute bereits Kugellager mit integriertem Lagegeber zur Verfügung.

Der leistungselektronische Steller, d. h. der Wechselrichter oder/und Gleichrichter einschließlich der zugehörigen Regelelektronik, ist in der Regel ein vom Motor getrenntes Gerät. Es gibt aber bereits konstruktive Lösungen, in denen der Umrichter in einem erweiterten Klemmenkasten oder in einem verlängerten Lagerschild (Bild 20) untergebracht ist. Die Vorteile werden vor allem bei der Fertigung größerer Stückzahlen wirksam. Gleichzeitig sinken die Störeinflüsse.

Auch bei ganz klassischen Lösungen müssen elektrische und mechanische Glieder als Einheit betrachtet werden. Nur so kann beispielsweise bei einem Drehgestell einer Elektrolokomotive optimales Fahrverhalten erreicht werden.

13 Perspektiven und Aufgaben des 21. Jahrhunderts

An der Schwelle zum 21. Jahrhundert präsentiert sich Elektroenergietechnik als ein in hohem Maße innovatives Fachgebiet.

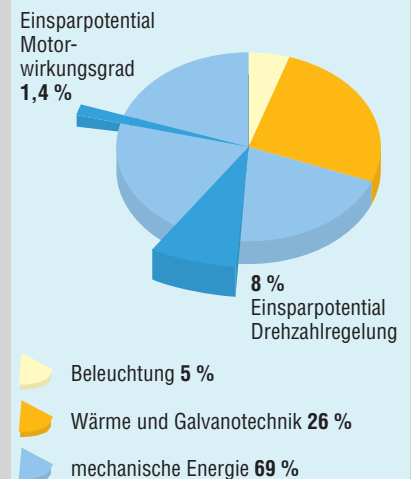
Das traditionell vorhandene System der zentralen Elektroenergieerzeugung und Verteilung wird ergänzt durch dezentrale Energiequellen.

Der Energiefluß ist steuerbar. Insofern lässt sich die Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie automatisieren. Generell ist ihr Einsatz die Voraussetzung für die Automatisierbarkeit technologischer Prozesse. Elektroenergietechnik und Automatisierungstechnik bilden auch zukünftig eine Einheit.

Aktuell vollzieht sich der Schritt von der funktionellen Integration hin zur konstruktiven Integration von Funktionseinheiten der Elektroenergie- und Automatisierungstechnik. Der Begriff Systemintegration kennzeichnet diese wichtige Entwicklungsrichtung.

Die Optimierung des Systems erfolgt aus Sicht von Energieeffizienz und Flexibilität der Produktion sowie ihrer an den Menschen angepassten Steuerbarkeit.

Zentrale Aufgabe bleibt die Einsparung von Elektroenergie durch verbesserten Wirkungsgrad der Energieerzeugung und -anwendung (Bild 21). Diese Aufgabe besteht besonders für alle Industrieländer in Anbetracht des hohen Energieverbrauchs und der mit der Elektroenergieerzeugung verbundenen Umweltbelastung.



21 Stromverbrauch und Einsparpotentiale in der deutschen Industrie 1997

(Quelle: ZVEI/VDEW)

100 % = 194,6 TWh

Aus den Potentialen ergeben sich folgende Einsparungen pro Jahr: Energie – 18,7 TWh, Kosten 2,8 Mrd. DM, CO₂ – 11 Mio. t

Die aktuellen Möglichkeiten der Mikroelektronik und Rechentechnik werden zur Triebkraft für den Fortschritt. Dezentralisation von Anlagen, Herausbildung intelligenter Funktionseinheiten und deren Buskopplung führen zu neuen Anlagenstrukturen im Industrie-, Büro- und Wohnbereich. Bedienerfreundlichkeit und Flexibilität der Anlagen sind Gütekriterien zukünftiger Systeme. Die Verbesserung der energetischen Wirkungsgrade und das weitere Erschließen alternativer Energiequellen wird zur zentralen Aufgabe des Ingenieurs und Praktikers jeder Qualifikationsstufe.

Diese Entwicklung erfordert, die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften zu überdenken. Die neue Ausbildungs- bzw. Studienrichtung Mechatronik ist hierfür ebenso wie der entsprechende Beruf ein kennzeichnendes Beispiel. Universelles Systemverständnis wird zum Hauptausbildungsziel, Spezialisierungen gehören eher in den Bereich Weiterbildung.

Derzeit wird allerdings, zumal in Deutschland, das geringe gesellschaftliche Ansehen der Ingenieure und der auch daraus resultierende Ingenieurmangel zum Hemmnis des notwendigen Fortschritts besonders auf innovativen Fachgebieten.

Buch-Verlosung

Je ein Fachbuch bzw. die Jahrgangs-CD-ROM haben gewonnen:

Rolf-Peter Frendel, Bautzen, **Franz Wildbahrer**, Radenthein, Österreich
Norbert Hußl, Bayreuth **Klaus Heckert**, Berlin

4. Verlosung 1999

Allen Gewinnern einen herzlichen Glückwunsch. Wir danken Ihnen und natürlich allen Lesern unserer Fachbücher, die die beiliegende Antwortkarte mit Ihren Wünschen und Meinungen zurückgeschickt haben.

Lektorat Verlag Technik