

Informations- und Kommunikationstechnik zum effizienten Stromverbrauch

Von Wolfgang Nebel, Michael Sonnenschein und Jens-E. Appell

Neben Innovationen zu einer umweltgerechten Stromerzeugung sind im Sinne eines nachhaltigen Energieversorgungssystems weitgehende Maßnahmen auf Seiten des Verbrauchs notwendig. Auf der einen Seite müssen alle Möglichkeiten einer höheren Energieeffizienz und Verbrauchsreduktion genutzt werden, auf der anderen Seite sind aber auch Maßnahmen zur Steuerung von Verbrauchern in Abhängigkeit vom verfügbaren Stromangebot aus regenerativen Quellen notwendig. Informations- und Kommunikationstechnik ist hier der Schlüssel zu neuen Ansätzen – aber auch ein Ziel notwendiger Verbesserungen.

In addition to innovations for environment-friendly power generation, extensive measures on the part of electricity consumers are necessary to achieve a sustainable energy supply system. On the one hand every possibility for consumption reduction and higher energy efficiency must be used. But on the other hand measures are also necessary to control electricity consumption dependent on the amount of power available from renewable sources. Here, Information and Communication Technology (ICT) is the key to innovation - but also ICT itself is a target for necessary improvements.



Von der Energiequelle bis zum Haushaltsgerät: Die Determinanten des Stromverbrauchs, die für einen umweltgerechten Ressourcenverbrauch angepasst werden müssen.

Die Miniaturisierung der Chip-Technologie ermöglicht eine ständig steigende Leistungsfähigkeit elektronischer Systeme und somit neue Geräte und Dienste in der IuK-Branche, aber auch in der Konsumelektronik, dem Verkehrs- oder dem Gesundheitsbereich. Sie beschleunigt das Wachstum dieser Märkte und führt zu einer immer tieferen Durchdringung aller Lebensbereiche, indem sie zu jeder Zeit und an jedem Ort den Zugang zu allen persönlichen Daten und das Internet erlaubt. Diese Entwicklung führt einerseits zu substantiellen Energieeinsparungen durch Kraftstoffreduktion, die Vermeidung des physischen Transports von Personen und Waren, aber andererseits zu einem höheren Stromverbrauch in IuK-Systemen. Die Einsparung überwiegt bei weitem die zusätzliche Belastung, allerdings sind IuK-Systeme in ihrer Summe in der Bundesrepublik bereits jetzt für einen höheren CO₂-Ausstoß als die gesamte Luftfahrt verantwortlich – und dies bei deutlich höheren Steigerungsraten als in anderen Wirtschaftsbereichen.

Zu hoher Stromverbrauch

Der Stromverbrauch elektronischer Systeme wird durch die Berechnungen selbst und durch ungewünschte Leckströme

bestimmt. Diese haben bei aktuellen Strukturgrößen im Nanometer-Bereich aufgrund quantenmechanischer Effekte drastisch zugenommen. Zum Beispiel sind die Isolationschichten im Transistor derzeit nur noch wenige Atomlagen dick. Ein durch zu hohen Stromverbrauch bedingtes Re-Design macht schon heute viele Produkte für den Markt unattraktiv. Die Optimierung des Stromverbrauchs ist deshalb beim Entwurf elektronischer Systeme ein wesentliches Qualitätskriterium.

Der Stromverbrauch ist bereits heute der begrenzendende Faktor zur weiteren Erhöhung der Leistungsfähigkeit integrierter Schaltungen. Dies lässt sich besonders an der Entwicklung der Leistungsdichte auf Halbleitern veranschaulichen (Diagramm S. 29). Heute übersteigt die Leistungsdichte integrierter Schaltungen die von glühenden Herdplatten deutlich. Ohne signifikante Verbesserung der Entwurfsverfahren würde die Leistungsdichte sehr bald die eines Kernreaktors oder gar einer Raketendüse erreichen.

Verbesserte Energieeffizienz

Ohne eine merkliche Erhöhung der Energieeffizienz integrierter Schaltungen wird es nicht möglich sein, die eigentlich

seitens der Halbleitertechnologie mögliche weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit integrierter Schaltungen zu nutzen. Die Hitzeentwicklung würde diese Schaltungen sofort zerstören. Eine Verringerung des Stromverbrauchs erfolgt am effizientesten durch eine Optimierung bereits im Entwurf der jeweiligen Schaltung. Die Lösung liegt in neuen Methoden und Werkzeugen für den automatisierten Entwurf (Electronic Design Automation), die es einem Chip-Designer ermöglichen, eine abstrakte Spezifikation des Systems in die gewünschte Hardware zu synthetisieren. Dabei können verschiedene mögliche Architekturen bereits weit vor der eigentlichen Fertigung hinsichtlich ihrer Verlustleistung analysiert und optimiert sowie automatisch technische Lösungen integriert werden, die z.B. zu einer Teilabschaltung zeitweise nicht benötigter Komponenten führen. Ein solches „Power Management“ lässt sich nicht nur im Chip verwirklichen, es ist in vergleichbarer Weise übertragbar auf PCs (wo Festplatten, Display oder Prozessoren abgeschaltet oder in einen sparsameren Modus versetzt werden können), aber auch auf Rechenzentren und Server-Farmen, in denen mittels neuer Migrationstechniken Anwendungen zwischen Servern verschoben werden können, um einzelne Rechner zeitweise abzuschalten. In zahlreichen Projekten wurden in 15-jähriger Forschungsarbeit an der Universität Oldenburg und dem OFFIS-Institut Metho-

den und Werkzeuge zur Modellierung des Energieverbrauchs, zu seiner Analyse und Simulation sowie zur Effizienzoptimierung entwickelt. Diese haben im Mikroelektronikbereich zu einer erfolgreichen Ausgründung, der ChipVision Design Systems AG, geführt, die seit 2002 entsprechende EDA-Werkzeuge für einen Entwurf mit niedrigster Verlustleistung anbietet. Eine weitere Ausgründung, die UPN – unplugged nomadics GmbH, entwickelt derzeit ein Verfahren zur Energieverbrauchsoptimierung von Computern.

Adaptive Stromverbraucher

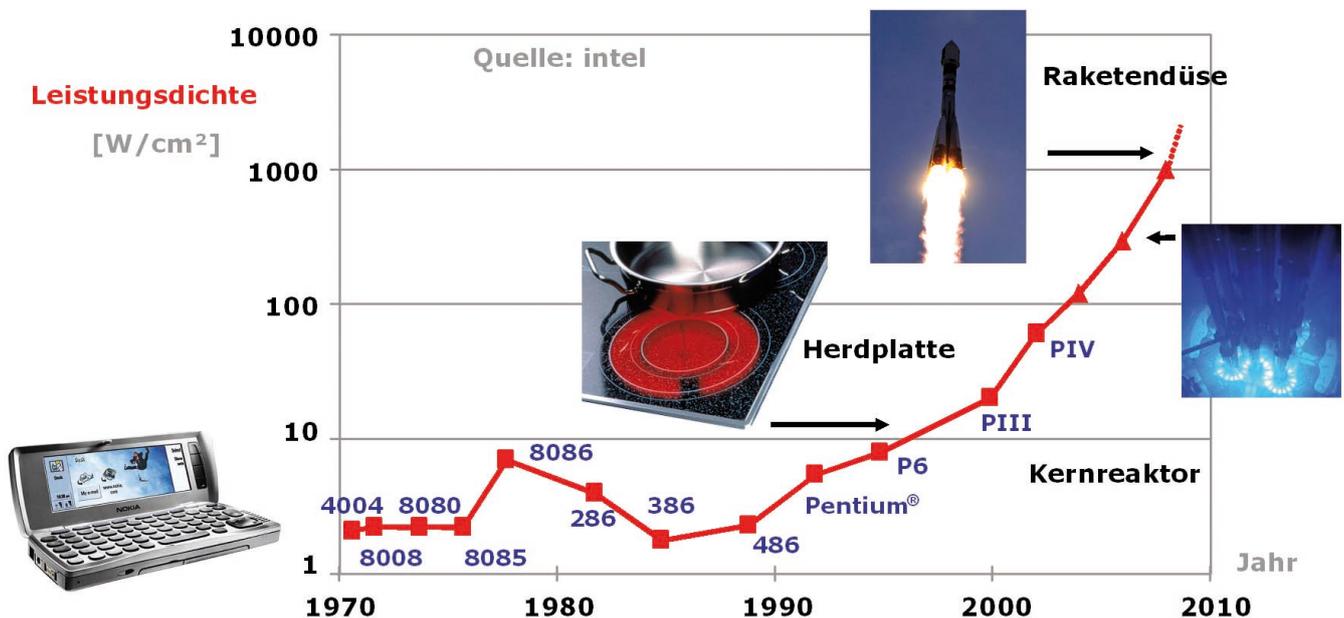
Strom ist eine Form von Energie, die in großen Mengen nur mit einigem technischen Aufwand und unter deutlichen Verlusten gespeichert werden kann. Daher muss in Stromversorgungssystemen stets sehr zeitnah die Balance zwischen Erzeugung und Verbrauch hergestellt werden. Heutzutage erfolgt dies für die meisten Verbraucher „unsichtbar“ durch eine mehrstufige Regelung auf Seiten der Stromerzeuger. Neben den vorhersehbaren Schwankungen im Stromverbrauch muss auch genügend Regelenergiepotenzial für unvorhergesehene Ereignisse, wie etwa den Ausfall von Leitungen oder Kraftwerken, eingeplant werden. Durch den steigenden Anteil an Windenergie im Netz wird der Bedarf an Regelenergie nun weiter erhöht, denn Strom aus Windenergiekonvertern steht nicht zu jedem Zeitpunkt in gleicher Menge zur Verfügung

– der Wind weht ja nicht stets mit gleicher Geschwindigkeit.

Anpassung des Verbrauchs

Um den Bestand an konventionellen Kraftwerken – beispielsweise Gasturbinen, die Regelenergie bei Bedarf zur Verfügung stellen – nicht unnötig zu erhöhen, ist es zur Emissionsminderung sowie zur Netzstabilisierung sinnvoll, auch auf Seiten des Verbrauchs eine zeitliche Anpassung an die aktuelle Energieverfügbarkeit und Belastung des Stromnetzes vorzunehmen. Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten, die wir anhand stromverbrauchender Haushaltsgeräte erläutern wollen.

Die Gesamtleistung zum Betrieb der Kühlschränke aller Haushalte in Deutschland entspricht mit ca. 800 MW der Leistung eines Großkraftwerks. Ein üblicher Haushaltskühlschrank verbraucht, wenn das Kühlaggregat läuft, etwa 70 W. Diese Leistung ist aber nur zu etwa 25 Prozent der Zeit erforderlich, denn das Aggregat läuft nur dann an, wenn die zulässige Höchsttemperatur im Kühlschrank überschritten ist und schaltet wieder ab, sobald die Minimaltemperatur erreicht ist. Wenn nun die Kühlschränke bei Bedarf ihre Aggregate kurzzeitig abschalten oder zuschalten, um dem Stromnetz Regelenergie zuzuführen, kann dies dazu beitragen, Kraftwerke zur Bereitstellung von Regelenergie einzusparen. Natürlich muss dabei berücksichtigt werden, dass die



Zunahme der Leistungsdichte Integrierter Schaltungen (ICs) und damit einhergehende Wärmeentwicklung am Beispiel der Intel-Prozessoren

Innentemperatur des Kühlschranks nur innerhalb eines festen Intervalls – etwa 3-7°C – geregelt werden darf.

Zum „netzfrendlichen“ Schalten von Kühlschränken gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten: Einerseits können intelligente elektronische Controller in Kühlschränken autonom das Stromnetz beobachten und etwa anhand der Netzfrequenz selber feststellen, ob sie ihre Leistungsaufnahme kurzzeitig drosseln oder erhöhen sollen. Andererseits könnten sie aber auch durch einen Energieversorger bei Einhaltung der Randbedingung für die Innentemperatur über ein Kommunikationsnetz „ferngesteuert“ werden.

Neben anderen Temperaturspeichern, wie etwa Warmwasserspeichern, die ähnlich behandelt werden können, gibt es auch Haushaltsgeräte, die nicht direkt durch einen Energieversorger „ferngelenkt“ werden können, dennoch aber im Rahmen einer verbraucherseitigen Lastanpassung einsetzbar sind. So könnte beispielsweise der Lauf einer Spülmaschine oder Waschmaschine durchaus auch in eine Zeit verschoben werden, in der das Netz nicht so stark durch andere Verbraucher belastet ist oder in der besonders viel Strom aus regenerativen Quellen zur Verfügung steht. Um solche Lastverschiebungen zu erreichen, gibt es auch wieder mindestens zwei Varianten.

Zunächst besteht die Möglichkeit, zeitlich veränderliche Stromtarife einzuführen, die entweder in Abhängigkeit von der aktuellen Netzlast und vom aktuellen Stromangebot oder aufgrund einer Prognose dieser Werte festgelegt werden. Um den Verbrauchern die veränderlichen Tarifstufen mitzuteilen, ist beispielsweise ein Display im Haushalt erforderlich, das die aktuelle Tarifstufe und die zu erwartenden Tarifstufen für die nächsten Stunden oder Tage anzeigt. Anhand dieser Information kann der Verbraucher sein „Lastmanagement“ selber optimieren, wobei ihn ein Haushaltscontroller unterstützen kann. Interessant wird das natürlich für die meisten Verbraucher nur dann, wenn man durch die Nutzung niedriger Tarifstufen Geld sparen kann. Damit das möglich ist, muss eine Verbrauchsablesung „zeitnah“ durch einen elektronischen Zähler erfolgen. Eine „netzfrendliche“ Stromversorgung eines Einfamilienhauses weist dann neben diesem Zähler auch ein Schnittstellengerät (Gateway) zu einem vorhandenen Kommunikationsnetz auf, in dem Tarife oder Steuersignale übertragen werden.

luK zur Optimierung

Ein Haushaltsgateway, wie es prototypisch bereits bei OFFIS realisiert wurde, kann neben der Übertragung von Tarif- und Steuersignalen auch noch andere Aufgaben im Haus übernehmen. So können beispielsweise Sicherheitsfunktionen (z.B. Vermittlung von Alarmmeldungen) integriert werden. Dies wird besonders interessant für Haushalte, in denen ältere Menschen leben, die möglicherweise hilfebedürftig sind.

Während bei heutigen Geräten wie Waschmaschinen oder Spülmaschinen oft die Einschaltzeit fest vorab wählbar ist, könnte eine solche Vorwahlzeit etwa vom Gateway genutzt werden, um das Gerät den „preisgünstigsten“ Zeitraum innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne für seine Aufgabe wählen zu lassen. Eine „optimale“ Nutzung günstig verfügbarer Stromangebote ist aber nur durch gemeinschaftliche Planung des Einsatzes vieler Geräte möglich. Solche Optimierungsaufgaben gehören in die Klasse der auch auf modernen Computern schwierig zu lösenden Probleme. Hierzu arbeiten wir an effizienten Methoden.

Bevor man an den Bau entsprechender Geräteprototypen denken kann, müssen die möglichen Wirkungen dieser recht komplexen Steuerungs- und Optimierungsverfahren durch Computermodelle abgeschätzt werden. Ein solches Simulationssystem wurde bei OFFIS entwickelt, wobei wesentliche Teile im Rahmen des durch die EWE AG finanzierten DEMS-Projektverbundes entstanden. Der Simulator erlaubt die Modellierung von Haushalten mit unterschiedlicher Geräteausstattung, die durch verschiedene Steuerungsverfahren ihr Verhalten an die erforderliche Netzlast anpassen.

Selbstverständlich muss eine Steuerungstechnik für intelligente Stromverbraucher mit den Steuerungen eines DEMS für Mikro-KWK-Anlagen oder Brennstoffzellen „Hand in Hand“ arbeiten. Hierzu sind gemeinsame Datenübertragungsprotokolle und Standards zu entwickeln. Insgesamt wird somit ein „intelligentes“ Stromversorgungsnetz der Zukunft wesentlich stärker auf moderner Kommunikationstechnik und komplexen Steuerungen basieren als das bisherige Netz. Dieses „Mehr an Technik“ zahlt sich aber aus, da es dazu dient, knappe Ressourcen noch effizienter einzusetzen und umweltschädliche Emissionen zu verringern.

Die Autoren



Prof. Dr. Wolfgang Nebel studierte an der Universität Hannover Elektrotechnik. Anschließend promovierte er am Fachbereich Informatik der Universität Kaiserslautern zum Dr.-Ing. Von 1987 bis

1993 arbeitete er als Softwareentwickler, später als Projektleiter und schließlich als Leiter der CAD Software Entwicklung bei Philips Semiconductors in Hamburg. 1993 wurde er auf die Professur „Entwurf integrierter Schaltungen“ am Fachbereich Informatik der Universität Oldenburg berufen. 1996 bis 1998 war er Dekan des Fachbereichs Informatik und 2001 bis 2002 Vizepräsident für Forschung der Universität. Seit 1998 ist er Mitglied des dreiköpfigen Vorstands des Informatik-Instituts OFFIS, seit Juni 2005 ist er Vorsitzender des Vorstands.



Prof. Dr. Michael Sonnenschein ist seit 1991 Professor für Informatik in Oldenburg und seit 1992 Mitglied von OFFIS. Er studierte Informatik an der RWTH Aachen, promovierte dort 1984

im Bereich des Compilerbaus und habilitierte sich nach einer kürzeren Industrietätigkeit 1991 ebenfalls an der RWTH Aachen mit einer Arbeit über parallele Programmierung. Seine aktuellen Forschungsthemen sind diskrete Modellierung und Simulation sowie heuristische Optimierungsverfahren insbesondere im Anwendungsbereich der Ökologie und der Energiesysteme.



Dr. Jens-E. Appell studierte Physik in Göttingen und arbeitete von 1994 bis 2001 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Medizinische Physik an der Universität Oldenburg in den Feldern

Psychoakustik, Digitale Signalverarbeitung und audiologische Messverfahren, sowie am Hörzentrum Oldenburg. Nach seiner Promotion wechselte er zu OFFIS und übernahm dort 2002 die Leitung des Design-Center des Bereichs Eingebettete Hardware-/Software-Systeme. Seit 2003 leitet er diesen Bereich und befasst sich unter anderem mit dem Einsatz serviceorientierter Software-Architekturen für das Gebäudemanagement in den Anwendungsfeldern Home-Care und In-House Energiemanagement.