

# Energiesparen bei PC-Zentraleinheiten

Autor(en): **Weber, L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **82 (1991)**

Heft 16

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-902997>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Energiesparen bei PC-Zentraleinheiten

L. Weber

**Obwohl es sich bei den PCs insgesamt um eher bescheidene Energieverbraucher handelt, können Untersuchungen ihres Stromverbrauchs doch interessant sein. Der vorliegende Bericht zeigt beispielsweise auf, dass der Elektrizitätsbedarf durch Verbesserungen bei der Hardware und im Aufbau wesentlich gesenkt werden kann, ohne dass dadurch die Leistungsfähigkeit beeinträchtigt wird.**

**Bien que la consommation d'électricité des ordinateurs personnels soit dans l'ensemble plutôt modeste, il peut être intéressant d'analyser leur consommation d'électricité. Le présent rapport montre par exemple que leur demande d'électricité peut être considérablement diminuée grâce à une amélioration du matériel et de la conception, sans que leur rendement en soit pour autant réduit.**

«Der Energieverbrauch eines PCs ist doch so klein, lohnen sich da überhaupt genauere Untersuchungen?» – Tatsächlich beträgt der Anteil der Computer am schweizerischen Stromverbrauch nur 4% (1120 GWh), wovon die Personal Computer (PCs) gerade noch knapp 11% ausmachen [1]. Trotzdem, als Energieverbraucher kommt ihnen real eine grössere Bedeutung zu, als diese Zahlen widerzuspiegeln vermögen:

- Die Anzahl der praktisch eingesetzten PCs nimmt schon seit Jahren mächtig zu, ebenso ihre Bedeutung als Energieverbraucher. Dieser Trend wird, zumindest in nächster Zukunft, weiter anhalten – auch und gerade in der Schweiz.
- Die in PCs eingesetzten Technologien finden sich bei vielen weiteren elektrischen Verbrauchern wieder; ihre Untersuchung steht ein Stück weit exemplarisch für moderne Datenverarbeitung und Kommunikationstechnik.

- Computer, vor allem Grossrechner, können einen Energieverbrauch verursachen, der über den unmittelbaren Eigenbedarf hinausgeht, etwa wenn durch sie Lüftungs-/Klimaanlagen, Notstromversorgungen usw. nötig werden. Bei einem grösseren Rechenzentrum steigt so der Verbrauch gut und gerne auf das Vierfache an.

Es lohnt sich also, den Energieverbrauch von PCs genauer unter die Lupe zu nehmen, dieses Gerät durch die «Energiebrille» hindurch zu betrachten und sich zu fragen: Wo wird wofür wieviel verbraucht? Wie liesse sich der Verbrauch reduzieren? Welche Faktoren spielen eine zentrale Rolle?

## Erfassung des Energieverbrauchs

Dieser Bericht basiert auf einer ETH-Diplomarbeit, die unter Dr. D. Spreng, Forschungsgruppe Energieanalysen, durchgeführt wurde [2]. Es standen

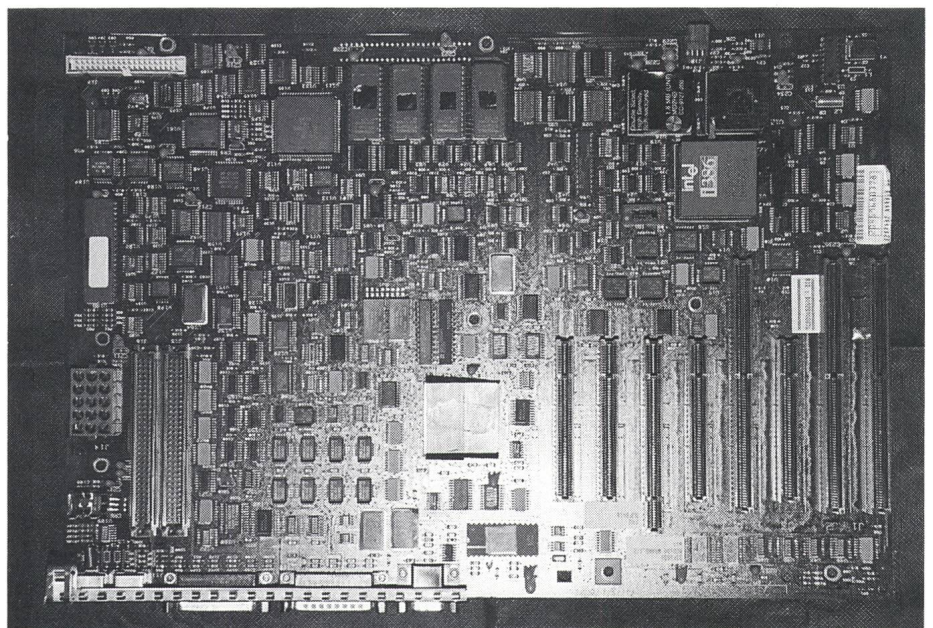


Bild 1 Zentraleinheit eines PCs

Adresse des Autors

Lukas Weber, dipl. El.-Ing., Birkenstrasse 21,  
4304 Giebenach

nicht Computer im allgemeinen im Mittelpunkt, sondern PCs, nicht der PC als Ganzes, sondern die Zentraleinheit, sein elektronisches «Herz» gewissermaßen. Sie besteht im wesentlichen aus einer gedruckten Schaltung, der Hauptplatine, und beherbergt Prozessoren, Speicherbausteine, zusätzliche Logikbausteine, Schnittstellen (inkl. Treiber) sowie diverse Analogbausteine (für Klangerzeugung, Bildschirmsteuerung usw.).

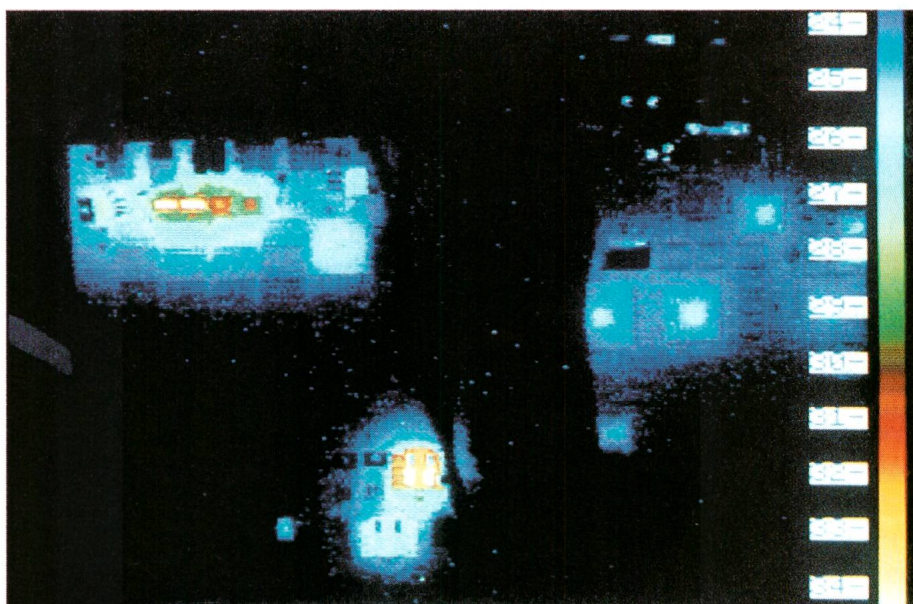
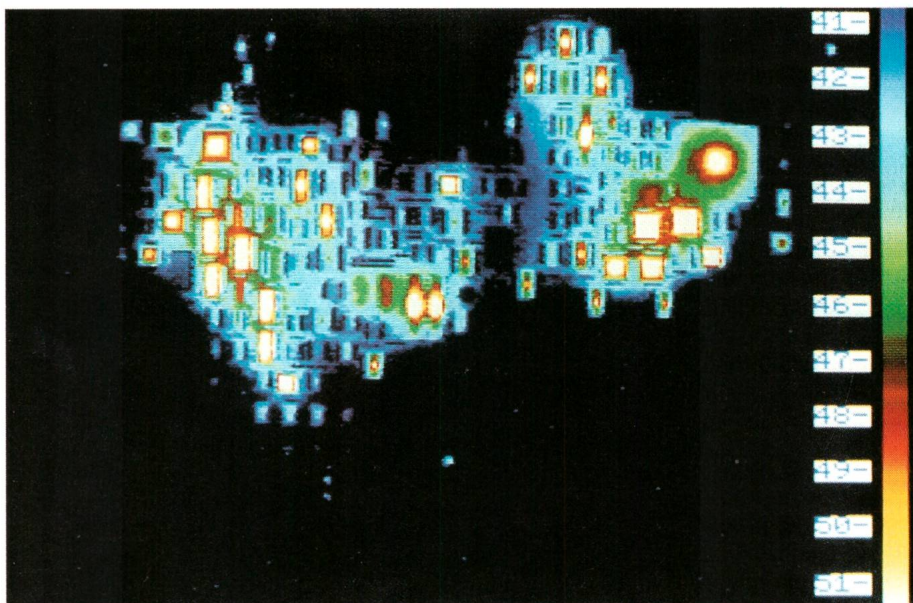
Den Energieverbrauch einer PC-Zentraleinheit systematisch zu erfassen, ist eine subtile Angelegenheit, dies aus zweierlei Gründen:

- *Messtechnik:* Größere Verbraucher mit separaten Stromversorgungsleitungen lassen sich recht einfach ausmessen; auf einer Platine mit hundert und mehr Bauteilen sind Einzelverbräuche kaum mehr messbar (Pinbelegung unbekannt, schwer zugängliche Versorgungskontakte, kleine Ströme).
- *Aufgliederung:* Während sich Bildschirm, Hard- und Floppy Disk sowohl örtlich wie funktional sauber voneinander trennen lassen, stellt die Zentraleinheit einen verwirrenden Haufen von verschiedensten Bauteilen und Aufgabenbereichen dar, die erst noch von Gerät zu Gerät verschieden sind.

Bei der nachfolgend beschriebenen Untersuchung wurden zwei Messwege eingeschlagen:

- *elektrisch:* Gemessen wurde die elektrische Leistung von ganzen Zentraleinheiten und Teilen davon. Die Stärke dieser Messungen liegt in quantitativen Aussagen; sie ermöglichen zudem Angaben über relativ schnelle zeitliche Verläufe.
- *thermisch:* Gemessen wurde die mittlere Abstrahlung mit Hilfe einer Infrarotkamera. Thermische Messungen eignen sich vor allem für qualitative Aussagen, sie ermöglichen einen Überblick über die örtliche Verteilung der von der Zentraleinheit bezogenen Leistung.

Zwei PC-Zentraleinheiten verschiedener Hersteller wurden intensiv ausgemessen, die eines Tischmodells und die eines Laptops (tragbarer, batteriege-speister PC). Die Messresultate stehen für sich und können nicht ohne weiteres verallgemeinert werden; die Geräte stecken aber in etwa das Energieverbrauchsspektrum ab, am unteren Ende das Laptop, am oberen das Tischmodell.



**Bild 2** Infrarot-Aufnahme der Zentraleinheiten eines PC-Tischmodells (oben) und eines Laptops (unten).

(Man beachte die unterschiedlichen Temperaturskalen!)

### *Tischmodell:*

80386-Prozessor, 16 MHz Taktfrequenz, 1 MB dynamisches RAM, Videotreiber für Farbmonitor; vorwiegend Standard Chips, weit über die Hälfte aller Chips in TTL-Technologie.

Der Gesamtverbrauch liegt bei 40 W, wovon das RAM um die 3,5 W verbraucht, der Hauptprozessor um 1,2 W.

Praktisch die gesamten Stromschwankungen rühren vom RAM her; der verbleibende Verbrauch ist nahezu konstant.

Die Hauptplatine zeigt permanent die gleichen Wärmeabstrahlungsverhältnisse, unabhängig von der (nach aussen sichtbaren) Aktivität des PCs – mit Ausnahme des RAMs, das sich bei in-

tensiver Beanspruchung deutlich erwärmt.

Die Hauptplatine wird spürbar warm (im Mittel um 45 °C), es treten Temperaturen von 50 °C und mehr auf (Bild 2, oben).

### *Laptop:*

68000 Prozessor, 15,67 MHz Taktfrequenz, 2 MB statisches RAM, Videotreiber für s/w-Monitor; vorwiegend kundenspezifische Chips, fast durchwegs CMOS-Technologie.

Der Gesamtverbrauch beträgt rund 1,4 W.

Die Stromschwankungen weisen in der Regel einen Zusammenhang mit der (von aussen sichtbaren) Aktivität des

PCs auf, ihr Ausmass und ihre Richtung (Zu- oder Abnahme) lassen sich aber nur in seltenen Fällen genauer erklären.

Das Temperaturniveau der Hauptplatine liegt sehr tief, kein Bauteil wird spürbar warm (alle bleiben unter 36 °C, Bild 2, unten).

Es gibt Bauteile, die nie erkennbar warm werden, andere, die zwar erkennbar, aber in etwa konstant warm sind, unter ihnen die mit Abstand wärmsten: die Serieschnittstellentreiber (in TTL-Technologie!) und elektronische Leistungsschalter, die zwischen verschiedenen Betriebszuständen umschalten. Wieder andere Bauteile schwanken je nach PC-Aktivität erklärbar (RAM, ROM, Sound Chips), andere nicht erklärbar (z.B. der Hauptprozessor).

Im Verlauf der Arbeit hat sich gezeigt, dass die Hauptplatine aufgrund ihrer Komplexität vorzugsweise als Ganzes betrachtet und auf verschiedene Teilaspekte hin durchleuchtet wird.

### Sparmöglichkeiten

Die Sparmöglichkeiten lassen sich vereinfachend in zwei Gruppen unterteilen, in eigentliche Hardware einerseits und in Konzepte andererseits.

#### Hardware

Mit Hardware sind konkrete, greifbare Komponenten gemeint, aus denen sich die Hauptplatine physisch zusammensetzt. Beim Bau eines Computers stehen für gleiche Funktionen eine Palette von verschiedenen Realisationen zur Auswahl, Bauteile, die sich prinzipiell gegeneinander austauschen lassen. Uns interessiert nun, diese hinsichtlich ihrer Energierrelevanz zu vergleichen und zu bewerten.

#### Technologie:

Ein Computer führt letztlich nichts anderes aus als eine Folge von logischen Operationen, deren Resultate er abspeichern und abrufen kann. Bei logischen Operationen werden Binärzahlen miteinander verknüpft, Zahlen also, deren Ziffern nur zwei Zustände kennen, «1» oder «0». In der «Sprache der Elektronik» heisst das: hohe oder tiefe Ausgangsspannung. Die logischen Verknüpfungen werden in digitalen Schaltkreisen mittels elektronischer Schaltelemente hergestellt, die auf Halbleitertechnologien basieren: Transistoren. Im Laufe der Zeit haben sich für digitale Schaltungen verschiedene Technologien mit jeweils eigenen Standards herausgebildet; die für PCs wichtigsten sind heute TTL, NMOS und CMOS.

- **TTL (Transistor-Transistor-Logik):** Basiert auf Bipolartransistortechnik und weist relativ hohe Verluste auf, die vom Halten eines Zustands herühren (statische Verluste) und dadurch unabhängig von der Aktivität der Schaltung im Mittel etwa konstant sind. TTL-Technologie wird immer seltener eingesetzt, ihr Vorteil liegt heute vor allem noch in der Schnelligkeit, das heisst der Fähigkeit, den logischen Zustand bei kleinem Stromaufwand rasch zu ändern.
- **NMOS:** Basiert auf Feldeffekttransistortechnik und weist relativ tiefe statische Verluste auf, ist aber langsamer als TTL.
- **CMOS:** Basiert ebenfalls auf Feldeffekttransistortechnik. CMOS-Technologie weist praktisch keine statischen Verluste auf, dafür aber dynamische, das heisst Verluste, die jeweils bei der Änderung des logischen Zustandes auftreten und somit von der Aktivität der Schaltung abhängen. Sie nehmen proportional zur Geschwindigkeit zu. Alles in allem ist CMOS die sparsamste Technologie, ihre Nachteile liegen in der begrenzten Schnelligkeit und einem relativ aufwendigen Herstellungsverfahren.

Ein Beispiel: Der Prozessor 68000 von Motorola verbraucht bei 10 MHz Taktung in NMOS-Ausführung um die 1,5 W, seine CMOS-Version hingegen bloss 150 mW, also zehnmal weniger. Prozessoren werden keine in TTL-Technologie hergestellt, da diese beim heute üblichen Mass an Integration zu heiss und dadurch zerstört würden.

#### Speicherstrategie:

Neben den Bausteinen, die logische Operationen ausführen, existiert eine zweite wichtige Gruppe: die Speicherbausteine. Sie sind – im Gegensatz zum Massenspeicher wie etwa der Hard Disk – Bestandteile der Zentraleinheit und dienen als Arbeitsspeicher (RAM). Es gibt im wesentlichen zwei Typen, statisches und dynamisches RAM.

- **DRAM (dynamisches RAM):** Transistor-Kondensator-Schaltung; als eigentlicher Speicher dient ein Kondensator, sein Inhalt muss aufgrund der natürlichen Selbstentladung regelmässig aufgefrischt werden (um die 20mal pro Sekunde). DRAMs sind relativ preisgünstig, verbrauchen aber viel Energie.
- **SRAM (statisches RAM):** Transistorschaltung, bei der ein logischer Zustand nach einmaligem Einlesen erhalten bleibt, solange sie mit Strom

versorgt ist. SRAMs sind zwar sehr sparsam, nehmen aber, verglichen mit DRAMs der gleichen (Lese-/Schreib-) Geschwindigkeit, mehr Platz in Anspruch und sind teurer (rund doppelter Preis). Sie werden deshalb eher selten eingesetzt.

Ein Beispiel: Der CMOS 256-kBit-Speicherbaustein 6207 von Hybrid Memory verbraucht als DRAM-Typ im Haltezustand 11 mW, als SRAM-Typ hingegen nur 100 µW, also rund hundertmal weniger.

#### Packungsdichte:

Die wichtigsten Funktionen eines Computers werden von integrierten Schaltkreisen (ICs, Chips) ausgeführt. Sie enthalten auf kleinster Fläche eine Vielzahl von elektronischen Bauteilen (heute bereits 1 Million und mehr Transistoren auf einem Chip!). Eine Erhöhung der Packungsdichte, das heisst der Anzahl Transistoren pro Fläche, ermöglicht die gleiche Rechenleistung mit weniger Chips, damit eine Verkleinerung der Signalleitungen und so eine Energieverbrauchsreduktion (linear) und überdies noch eine Laufzeitverkürzung bzw. Schaltungsbeschleunigung (quadratisch, Tab. I). Der Miniaturisierung sind allerdings untere Grenzen gesetzt, bedingt durch die geforderte Chip-Zuverlässigkeit und den Chip-Herstellungsprozess.

#### Kundenspezifische Chips (Custom Chips):

Statt einen Computer aus allgemein auf dem Markt erhältlichen Standard-Bauteilen zusammenzusetzen, kann man für ein neues Computermodell extra Chips entwerfen. Dies ermöglicht computer- und energieoptimale Lösungen. Dank ausgereifter Entwurfswerkzeuge ist dies mittlerweile zu erschwinglichen Preisen möglich.

Ganz allgemein lässt sich sagen, dass die Bemühungen der Computerhersteller, die Hardware zu verbessern, durchaus beträchtlich sind, allerdings nicht zugunsten einer Reduktion des Energie-

	Verkleinerung der IC-Strukturen um Faktor k	Verkleinerung der Speisespannung um Faktor k
Packungsdichte	~ k <sup>2</sup>	~ 1/k
Elektrisches Feld	~ k	~ 1/k
Laufzeit pro Operation	~ 1/k <sup>2</sup>	~ k
Energieverbrauch pro Operation	~ 1/k	~ 1/k <sup>2</sup>

**Tabelle I** Wirkung der Änderung von IC-Strukturen und Speisespannung bei integrierten Bauteilen

verbrauchs, sondern zur Steigerung der Rechenleistung (Rechengeschwindigkeit, Speichergrösse, Komplexität/Flexibilität). Dies hat zur Folge, dass PCs immer leistungsfähiger werden, der Verbrauch pro PC aber trotz Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs nicht etwa ab-, sondern leicht zunimmt.

## Konzept

Mit dem Konzept einer Zentraleinheit werden die Strukturen und Regeln im Zusammenspiel einzelner Komponenten bezeichnet. Auf diesem Gebiet zeigen sich heute interessante Wege, um den Energieverbrauch eines PCs erheblich zu reduzieren, ohne ihn deswegen in seiner Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen; sie alle lassen sich unter einem Stichwort zusammenfassen: Power Management. Die im folgenden dargelegten Überlegungen stützen sich auf Untersuchungen eines im Handel erhältlichen Laptops, welches bereits über ein Power Management verfügt.

Die beiden wichtigsten betrieblichen Massnahmen, den Energieverbrauch zu reduzieren, sind:

- Verkleinerung der Speisespannung: Der Chipverbrauch nimmt quadratisch mit der Spannungsreduktion ab; dies zwar auf Kosten der Geschwindigkeit, allerdings nimmt diese nur proportional ab (Tab. I). Der Nachteil dieser Massnahme ist eine Verschlechterung des Störabstandes und damit eine Minderung der Übertragungssicherheit, bei CMOS-Schaltkreisen gerät jener aber kaum in den kritischen Bereich. Der Spannungsstandard eines PCs liegt heute immer noch bei 5 V (historisch bedingt: TTL-Pegel). Seit wenigen Jahren gibt es allerdings auch Chips, die auf einem tieferen Spannungsniveau arbeiten (3,3 V), allerdings nicht, um Strom zu sparen, sondern um eine höhere Packungsdichte möglich zu machen (Reduktion der Feldstärke, Entschärfung der Überhitzungsgefahr).
- Drosselung der Taktfrequenz: Bringt bei CMOS-Bausteinen eine lineare Energieverbrauchsreduktion, allerdings – selbstredend – in gleichem Mass eine Verlangsamung. Diese Massnahme ist dann sinnvoll, wenn ein getaktetes Bauelement gerade nicht im Einsatz ist, also gewissermassen «leer dreht».

Beide Massnahmen ermöglichen, den Verbrauch eines Bauteils bis auf Null zu senken. Ein Power Management setzt diese gezielt ein: Mittels Po-

wer Control wird die Speisespannung von Bauteilen unterbrochen und nur noch bei Bedarf zugeschaltet (freilich von Bauteil[gruppe] zu Bauteil[gruppe] unterschiedlich), mit Clock Control wird der effektive Takt gedrosselt oder gänzlich gestoppt. Bei getakteten Komponenten sollte prinzipiell Clock Control gewählt werden, da bei diesen nach Unterbruch der Speisespannung ein zeitraubender Reset nötig würde.

Ein gutes Power Management wird von Anfang an in die Planung und Entwicklung eines PCs miteinbezogen. Sein Einflussbereich erstreckt sich über die Zentraleinheit hinaus auf den gesamten PC (insbesondere Bildschirm, Hard Disk, andere Netzwerkteilnehmer wie Drucker, File Server usw.). Beim Entwurf müssen folgende Aufgaben gelöst werden:

- Die Hauptplatine soll mit Bausteinen bestückt sein, die sich aufgrund ihrer (Rechner-)Funktion/Aufgabe unterscheiden. Erst so wird es möglich, einzelne Bauteil(gruppen) aus- und einzuschalten, ohne dass gleich der Computerbetrieb als Ganzes zusammenbricht.
- Verschiedene Betriebszustände müssen definiert werden, die jeweils für sich ein gewisses Leistungsangebot des PCs gewährleisten, zum Beispiel «Editieren», «Massenspeicher lesen/beschreiben», «Mit anderen Netzwerkteilnehmern kommunizieren» usw. Zwischen ihnen wird während des Computerbetriebes den momentanen Erfordernissen entsprechend umgeschaltet. Dabei gilt es zu beachten, dass auch ein sehr schnelles Umschalten sinnvoll sein kann, etwa zwischen den einzelnen Tastaturaktivitäten beim Eintippen eines Textes. Selbst zehn Anschläge pro Sekunde sind, verglichen mit 16 Millionen Taktimpulsen pro Sekunde (16 MHz Taktfrequenz), lächerlich wenig; der PC ist dabei während der längsten Zeit «inaktiv».
- Zur weiteren Verfeinerung kann es sinnvoll sein, einzelne Funktionsblöcke der Zentraleinheit mehrstufig zu konzipieren und im Betrieb dann je nach geforderter Aufgabe die energieoptimale Stufe zu wählen.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eine solche Stufung ist etwa vom Cache-Speicherkonzept her bereits bekannt: Vor jedem RAM-Zugriff wird überprüft, ob die gesuchte Speicheradresse im Cache (kleiner, schneller, intelligent aktualisierter Arbeitsspeicher, z.B. 32 kByte) abgelegt ist, und erst nach Misserfolg wird auf den grossen, langsameren Arbeitsspeicher zugegriffen (z.B. 8 MByte). So lässt sich die mittlere Speicherzugriffszeit deutlich verringern.

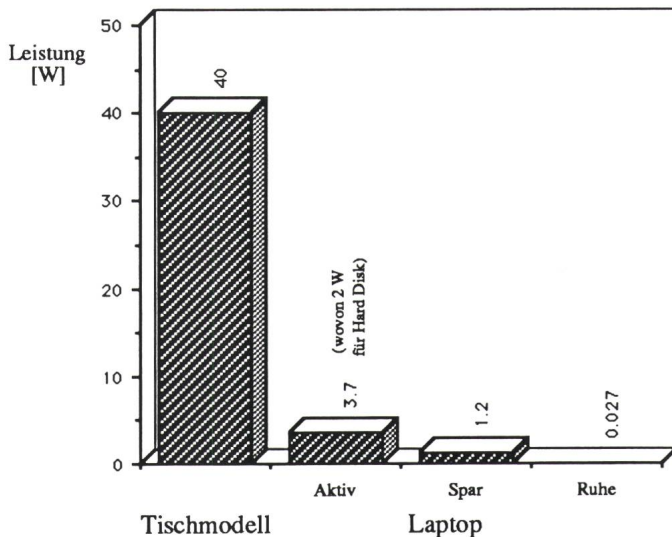
Schliesslich muss die Power Management Hardware entworfen, in die restliche Elektronik eingebettet und von einer Software gesteuert werden. Diese muss der Elektronik mitteilen, welche «Hebel» betätigt werden müssen, um zwischen verschiedenen Betriebszuständen umzuschalten.

Bei dem untersuchten Laptop wurde ein Power Management mit vier Betriebszuständen realisiert: Aktiv-, Spar-, Ruhebetrieb und Ausschaltzustand. Im Aktivbetrieb befindet sich das Gerät in voller Bereitschaft und verhält sich nach aussen wie ein Gerät ohne Power Management. Das Hard Disk-Laufwerk schaltet bei Nichtzugriff nach einer vorher einstellbaren Zeit ab, der nächste Hard Disk-Zugriff dauert etwa sieben Sekunden. Sobald das Gerät 15 Sekunden lang «inaktiv» ist (keine Benutzeraktivität, kein Abarbeiten eines Programms, kein Datenaustausch mit externen Geräten oder einem Disk-Laufwerk), wird die effektive Taktfrequenz des Hauptprozessors von 15,67 MHz auf 1 MHz gedrosselt, dadurch sinkt der Gesamtverbrauch um 30%. Beim Einsetzen einer Aktivität (z.B. Drücken einer Keyboardtaste oder Einschieben einer Diskette) ist das Gerät sofort wieder einsatzbereit; der Sparbetrieb ist von aussen nicht wahrnehmbar. Ist das Gerät länger als 15 Sekunden inaktiv, schaltet es nach einer vorher einstellbaren Zeit in den Ruhebetrieb und sieht nach aussen aus wie ausgeschaltet. Dabei werden bei zahlreichen Bauteilen der Takt, bzw. die Speisespannung unterbrochen; der Verbrauch liegt jetzt noch gleich hoch wie wenn das Gerät ganz ausgeschaltet ist, nämlich bei nahezu Null. Das «Aufwachen» erfolgt innert weniger als einer Sekunde, das Gerät kehrt exakt in den Zustand zurück, aus dem es in den Ruhezustand untergetaucht ist (inkl. Bildschirmanzeige).

Der Vergleich dieses Laptops mit einem ihm bezüglich Rechenleistung ebenbürtigen Tischmodell des gleichen Herstellers lässt aufhorchen. Allein durch bessere, das heisst energieeffizientere Hardware<sup>2</sup> liegt sein Gesamtverbrauch im Aktivbetrieb noch bei einem Zehntel von dem des Tischmodells (3,7 W gegenüber 40 W)<sup>3</sup>. Das Power

<sup>2</sup> Die wichtigsten Verbesserungen sind: LCD- statt Röhren-Monitor, konsequente Verwendung von CMOS-Technologie, statisches RAM, sparsames Hard Disk-Laufwerk.

<sup>3</sup> Netzteil, Zentraleinheit, Monitor und Hard Disk.



**Bild 3**  
Verbrauchsvergleich  
Laptop – Tischmodell  
(gleicher Hersteller,  
gleiche Rechenleistung)

Management reduziert den Verbrauch über die gesamte Betriebszeit noch einmal erheblich (Bild 3).

### Ausblick

Eigentliche Energiesparanstrengungen werden heute erst bei Laptops, nicht aber bei Tischmodellen unternommen, obwohl es von letzteren wesentlich mehr gibt (in der Schweiz etwa Faktor Zehn). Aus technischer Sicht spricht kein Grund dagegen, Laptop-Energiesparmassnahmen auf PCs zu übertragen. Der Grund, warum dies nicht getan wird, ist simpel: Energiesparmassnahmen kosten etwas. Erst der Umstand, dass bei einem Laptop ein tiefer Verbrauch den Komfort erhöht (längere Benutzungsdauer pro Batterieladung), macht sie plötzlich zum Ver-

kaufsargument und rechtfertigt einen Aufpreis. Bei den hier verglichenen Geräten ist das Laptop gut eineinhalbfach so teuer wie das Tischmodell.

Wenn heute ein PC-Hersteller trotzdem energiesparende Technologien und Konzepte einsetzt, dann aus folgenden Motiven:

- Probleme mit der Wärmeabfuhr bei Halbleiterbausteinen (die Wärmeerzeugung eines Bauteils ist ein Mass für seinen Energieverbrauch):
  - Hohe Bauteiltemperaturen führen zu einer Verschlechterung der Betriebszuverlässigkeit und zu einer Verkürzung der Bauteillebensdauer. Überhitzung führt zu Zerstörung.
  - Die Erhöhung der Chip-Packungsdichte erfordert einen tieferen Verbrauch pro Schaltelement.

- (Chip-)Plastikverpackung wird der tieferen Kosten wegen Keramikverpackungen vorgezogen, sie erlaubt aber nicht gleich hohe Temperaturen.
- Hohe Netzteilkosten: je leistungsfähiger ein Netzteil, desto höher seine Kosten. Sie machen bei einem PC rund 10% aus.
- Einsparen des Ventilators: Kostensparnis, Komfort (kein Lärm), Zuverlässigkeit.
- Bei Laptops: begrenzte Batteriespeicherkapazität.

Was heute zählt, sind Rechenleistung, Komfort und Kosten – da hat Energiesparen einen schweren Stand. Es hängt (einmal mehr) vom Idealismus einzelner ab, und dessen Durchschlagskraft ist bekanntlich bescheiden. Solange «Der Markt» weder durch Energieverbrauchsvorschriften noch durch Anreize über veränderte relative Preise motiviert wird, eine Verringerung des Energieverbrauchs als solche zu bezahlen, wird sich daran kaum etwas ändern. Es geht letztlich um politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Fragen; ihre Artikulationsform ist nicht die Fachsimpelei, sondern der öffentliche Streit um das bessere Argument.

### Literatur

- [1] Spreng D.: Personal Computer und ihr Stromverbrauch; INFEL Forschungsbericht 1/89.
- [2] Moser R., Weber L.: Energieverbrauchsanalyse von PC-Zentraleinheiten; Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik (Prof. Dr. H. Glavitsch), Diplomarbeit 1991.