

Universität Hamburg
Department of Informatics Scientific Computing

Seminararbeit -
Zum Seminar "GreenIT"

Leistungsverteilung im Rechner
Welche Komponente verbraucht wie viel Leistung?

vorgelegt von
Christian Möde

Matrikelnummer: 6140800

eingereicht am 31. März 2012

Betreuer: Prof. Dr. Thomas Ludwig / Timo Minartz

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation.....	3
2. Mainboard.....	4
3. Prozessor.....	5
3.1. Central Processing Unit	5
3.2. Prozessorenbeispiele	6
3.2.1. „Sandy-Bridge“ Prozessoren von Intel.....	6
3.2.2. „Fusion“ Prozessoren von AMD	7
3.2.3. Ausblick.....	7
3.3. Alternative Prozessorarchitekturen.....	8
3.3.1. ARM-Architektur	8
3.3.2. FPGA	9
3.3.3. GPGPU	10
4. Grafikkarte.....	12
5. Festplatte.....	14
5.1. Hard Disc Drive (HDD).....	14
5.2. Solid State Drive (SSD)	14
5.3. Hybrid Hard Drive (HHD).....	15
6. Netzteil.....	16
7. Abschlussbetrachtung	18
8. Fazit	18
9. Quellen.....	19

1. Ausgangssituation

Die Themen GreenIT und Energieeffizienz haben sich in den letzten Jahren enorm weiterentwickelt und großen Anklang in der Gesellschaft gefunden. Es gibt kaum noch einen Hersteller, der nicht auf die Umweltfreundlichkeit seiner Produkte pocht.

Dabei bedeutet Umweltschutz heute nicht mehr nur spritsparende Autos und Kraftwerke, die möglichst wenig CO₂ erzeugen. Immer mehr Menschen denken auch an saubere und stromsparende PCs, die aus giftfreien Komponenten bestehen. Was auch enorm wichtig ist, wenn man bedenkt, dass Mitte 2008 erstmals die Anzahl der weltweit installierten Computer die Milliardengrenze überschritten hat und bei gleich bleibender Wachstumsrate die zwei Milliarden bereits im Jahr 2014 erreicht werden.

Grüne Produkte kommen in der Wirtschaft an, sowohl aus ökologischer, als auch aus ökonomischer Sicht, denn große Firmen können erstaunlich viel Geld sparen, wenn sie auf den Energieverbrauch ihrer IT-Ausrüstung achten. Denn bereits heute sind die Energiekosten der IT einer der Hauptkostentreiber in Unternehmen.

Aber auch für Privatpersonen bringt ein „grüner“ Computer nicht nur ein reineres Gewissen, sondern auf lange Sicht auch einen finanziellen Vorteil. So amortisieren sich viele Neuanschaffungen nach einigen Jahren, durch geringeren Stromverbrauch gegenüber alter Technik und auch der Vergleich aktueller Komponenten hinsichtlich ihres Energieverbrauchs lohnt sich.

Denn nie war der wirtschaftliche Umgang mit Energie so wichtig wie heute. Nicht zuletzt deshalb, weil die Energiepreise einen rapiden Anstieg verzeichnen, und auch in naher Zukunft mit weiteren Preissteigerungen zu rechnen ist.

2. Mainboard

Mainboards stellen die grundlegende Hardwarestruktur und beinhalten die gesamte Steuerungslogik für den Computer, einen speziellen Sockel für den Prozessor und den so genannten Chipsatz. Der Chipsatz besteht aus der Southbridge und der Northbridge und ist für die technischen Anbindungen der unterschiedlichen Slots und Erweiterungen zuständig. „Der Chipsatz steuert die Kommunikation der unterschiedlichen Komponenten untereinander und sorgt für einen reibungslosen Betrieb und die Abarbeitung der anfallenden Aufgaben. Der Hauptprozessor (CPU), der Arbeitsspeicher (RAM), die Festplatten (HDDs) und die Grafikkarte (GPU) kommunizieren untereinander über den Chipsatz.“ [1]

Es gibt allerdings große Unterschiede zwischen den verschiedenen Mainboardtypen und Modellen. Daher ist der Vergleich hinsichtlich der Energieeffizienz äußerst schwierig.

Doch es gibt einige Merkmale, an denen man erkennen kann, ob ein Mainboard mehr oder weniger Strom verbraucht. So verbrauchen Mainboards ohne „SLI“ (Scalable Link Interface)- bzw. Crossfire-Technik, also der Möglichkeit zwei Grafikkarten gekoppelt anzuschließen, deutlich weniger. Ebenso sollte auf den Kühler geachtet werden, denn je größer der integrierte Kühler ist, desto aufwendiger muss das Mainboard gekühlt werden.

Des Weiteren ist die Anzahl von Spannungsregler-Phasen auf dem Mainboard entscheidend. Die Phasen sind auf dem Mainboard größtenteils für die Versorgung der CPU und GPU zuständig und daher bedeuten mehr Phasen auch einen größeren Stromverbrauch.

Mainboards für Mehrprozessorsysteme haben natürlich ebenfalls einen erhöhten Energieverbrauch, da sie Steckplätze für mehrere Prozessoren bieten und diesen die entsprechenden Betriebsspannungen zukommen lassen müssen.

Vorangetrieben durch die Miniaturisierung von Computerkomponenten, insbesondere für Laptops, wird versucht möglichst viel Funktionalität in einen Chip zu integrieren. Für das Mainboard bedeutet es, dass immer mehr externe Komponenten direkt auf dem Mainboard integriert werden. Für den Energieverbrauch besonders interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die One-Chip-Technologie auch für den Grafikprozessor verwendet wird. Dabei wird ein Grafikprozessor, die GPU (Graphics Processing Unit), auf dem Mainboard „onboard“ angebracht. Wodurch unter Umständen auf eine separate Grafikkarte, als einer der größten Energiefresser, verzichtet werden kann und damit der Stromverbrauch des gesamten Systems erheblich reduziert wird.

Die größte Neuerung stellt allerdings die gesamte Verlegung des Speichercontrollers und des Grafikprozessors, vom Mainboard bzw. der Grafikkarte in die CPU dar, welche einen großen Einfluss auf den Stromverbrauch hat. (Darauf gehe ich noch genauer in den folgenden Kapiteln, bei der Betrachtung des Prozessors, ein.)

Ein weiteres Beispiel zur besseren Steuerung des Energieverbrauchs ist die Dual Intelligent Processors-Technologie von ASUS. „Das Grundgerüst der Dual Intelligent Processor-Technologie bilden die beiden Microcontroller EPU (Energy Processing Unit) und TPU (TurboV EVO Processing Unit). Die EPU ist direkt mit der CPU verbunden, um die CPU-Auslastung zu überwachen und Spannung, Multiplikator der CPU sowie die Phasen auf dem Mainboard in Echtzeit zu steuern. Weiterhin ist sie zur Steigerung der Energieeffizienz auch direkt mit den Schaltkreisen des Chipsatzes und des Arbeitsspeichers verbunden. Die TPU hingegen ist an die CPU und den SMBUS angebunden, um auch die Grafikkarte, den Arbeitsspeicher, den Chipsatz, Festplatten und Lüfter zu steuern.“ [2]

3. Prozessor

3.1. Central Processing Unit

Jeder weiß, dass die CPU das Herzstück in einem Computer ist. Der Prozessor steuert alle anderen Komponenten, führt Berechnungen durch, schreibt und liest Daten aus dem Arbeitsspeicher und führt Sprünge in einem Programm aus.

Beim Blick auf die Produktportfolios von den Marktführern AMD und Intel wird es jedoch schwierig den Überblick zu behalten. Aufgrund der zahlreichen Produktnamen und Serien fällt die Wahl für den richtigen Prozessor oftmals schwer. Von AMD existieren diverse Produktreihen wie Phenoms mit zwei, vier und sechs Kernen, verschiedene Athlons und zusätzlich noch die A- und FX-Serien. Ebenso bietet Intel den Core i3, i5 und i7 in erster und zweiter Generation mit Westmere- und Sandy-Bridge-Architektur an. Wobei alleine der Core i7 inzwischen in vier verschiedenen Serien existiert und die zahlreichen Pentium und co. gibt es auch noch. Transparenz ist damit kaum noch gegeben.

Bei der Entwicklung eines neuen Modells für den Markt wird jedoch keineswegs das Rad jedes Mal neu erfunden, stattdessen greifen sie oft auf bereits bestehende Architekturen zurück. „Daher sollte jedem klar sein, dass die unterschiedlichen Modelle einer Prozessor-Serie technisch identisch sind und sich in der Regel nur in den Taktraten unterscheiden. Wer also die Wahl zwischen einem Intel Core i7 950 und einem Intel Core i7 960 hat, der entscheidet sich letztendlich nur für eine höhere oder niedrigere Taktrate der einzelnen Kerne. Die Technik ist aber identisch. Aus Sicht des Herstellers sind solche Modellunterschiede daher recht einfach umzusetzen.“ [3]

Aus Sicht der GreenIT sind daher jene Modelle optimal geeignet, die am Beginn einer Produktreihe veröffentlicht werden, da diese in der Regel unter ihrer Spezifikation laufen. Denn trotz der Optimierungen der folgenden Modelle, verbrauchen diese grundsätzlich mehr Strom, da sie bis zum Ende einer Produktreihe kontinuierlich an die Grenzen ihrer Belastbarkeit gebracht werden. Selbst kleine Übertaktungen machen sich dabei stark bemerkbar und der Stromverbrauch steigt an. Alleine durch das Anheben der Kernspannung, kann ein höherer Stromverbrauch verbucht werden.

Bei der Wahl eines geeigneten Prozessors ist das Gigahertz-Rennen schon lange zu Ende und der Takt spielt nicht mehr die Hauptrolle. Bei einem Notebook zählt, noch mehr als in einem PC, vor allem Stromverbrauch, Prozessorarchitektur und Fertigungsgröße.

Neue Fertigungstechniken, vor allem Strukturverkleinerungen, wurden früher zur Frequenzsteigerung verwendet, mittlerweile werden diese allerdings zur Reduzierung des stetig steigenden Stromverbrauchs eingesetzt. Da die Fertigungsgröße Hand in Hand mit einem geringeren Verbrauch geht. Je größer die Fertigungsgröße, desto höher der Verbrauch, denn die exaktere Fertigung dient der Reduzierung von Leckströmen („Ein Leckstrom ist ein elektrischer Strom, der über einen Pfad fließt, der nicht zur Leitung von Strom vorgesehen ist.“ [4]).

Daher werden [...] „in regelmäßigen Abständen die Transistoren bzw. Schaltkreise des Prozessors verkleinert, so dass die Widerstände geringer werden und der Prozessor somit mit weniger Spannung versorgt werden muss. Dieses so genannte "Shrinking" ermöglicht somit einen Betrieb bei einer niedrigeren Verlustleistung. Häufig kündigen diese "geshrinkten" Modelle auch eine neue Produktreihe an.“ [5]

Des Weiteren werden nun, statt eines einzelnen Rechenkern mit immer höheren Taktraten, mehrere Rechenkerne bei niedrigeren Frequenzen eingesetzt. Denn mit steigender

Taktfrequenz steigt zwar die Rechenleistung, aber auch der Energieverbrauch erheblich. Mit der Mehrprozessor-Technik können Prozessoren insgesamt betrachtet mit höherer Geschwindigkeit laufen und trotzdem proportional deutlich weniger Strom verbrauchen. Denn wenn ein alter Prozessor nur halb so schnell wie ein neuer Chip läuft und der neue Chip gleichzeitig nur geringfügig mehr Energie benötigt, verbraucht ein neuer Chip immer weniger Strom als zwei alte Prozessoren, bei gleicher Leistung.

3.2. Prozessorenbeispiele

Generelle gilt: Finger weg von veralteten Chips die noch nach alter Technologie und Fertigungsgröße gebaut werden. Das heißt, dass sie im Verhältnis zu ihrer Leistung viel zu viel Strom verbrauchen. Stattdessen empfiehlt es sich, zu jeweils aktuellen Dualcore-CPU's von Intel und AMD zu greifen. Beide Hersteller verfolgen seit einiger Zeit das Ziel, ihre Prozessoren auf ein möglichst gutes Verhältnis der Leistung pro Watt zu trimmen.

3.2.1. „Sandy-Bridge“ Prozessoren von Intel

Anfang 2011 veröffentlichte Intel die zweite Generation ihrer Core i3, i5 und i7 Modelle, diese basierte erstmals auf der neuen Sandy-Bridge Mikroarchitektur.

Die Sandy-Bridge Mikroarchitektur korrigierte einige Mängel der zuvor verwendeten Nehalem Mikroarchitektur und optimierte die Energieeffizienz, auf Grund des auf 32 Nanometer verfeinerten Herstellungsverfahrens. Gleichzeitig wurde, durch die Verlagerung der Northbridge (Speichercontroller + GPU + PCI-Express) in die CPU, die Leistungsfähigkeit und der Datenaustausch zwischen Prozessor und Peripherie verbessert.

Bei den „Sandy-Bridge“ Prozessoren hat sich Intel aber vor allem einen wesentlichen Kniff einfallen lassen, um noch mehr Rechenleistung bei weniger Leistungsaufnahme zu erzielen.

„Die Kerne, der Speichercontroller, die GPU und auch PCI-Express kommunizieren alle über einen Ringbus. Er sitzt auch physikalisch zwischen GPU und Kernen. Ihm ist der "System Agent" vorangestellt, der sich um das kümmert, was letztlich zum Speicher oder den I/O-Ports wie dem Displaycontroller muss. Ringbusse sind von Grafikkarten zwar lange bekannt, galten allerdings als Stromverschwender. Intel hat das gelöst, indem der Bus nicht ständig und mit gleichem Takt und Spannung laufen muss. Die einzelnen Haltepunkte definieren hierbei die Kerne. Wenn sie Daten brauchen, hält der Bus an dieser Stelle an, bis der Transfer beendet ist.“ [6] Die aus dem Ringbus resultierende Abarbeitungsgeschwindigkeit von Aufgaben ermöglicht es der CPU schneller wieder zurück in den Idle-Betrieb zu schalten. Da die meisten Computer überwiegend unter Geringlast arbeiten, ist das schnelle zurückkehren in den Idle-Betrieb von großer Bedeutung und macht die „Sandy-Brigde“ Prozessoren so sparsam wie noch nie.

Die Prozessoren unterscheiden sich wie anfangs schon erwähnt neben Taktfrequenz und Serie auch durch den Energieverbrauch. Als TDP-Kennzeichnung versteht Intel die Prozessoren daher noch mit ein oder zwei Buchstaben hinter der Modellnummer.

Besonders hervorzuheben sind in diesem Fall die S-Modelle, welche den normalen Varianten sehr ähneln, allerdings eine geringere Grundtaktfrequenz sowie einen niedrigeren TDP-Wert besitzen.

- Beispiel:
- Der Core i7-2600S arbeitet mit 2,8 GHz Grundtaktfrequenz und 3,8 GHz maximaler Turbo-Frequenz, bei einem TDP-Wert von 65 Watt
 - Der normale Core i7-2600 arbeitet im Turbo-Mode ebenfalls mit 3,8 GHz, hat aber 3,3 GHz Grundtaktfrequenz, bei einem TDP-Wert von 95 Watt

Ebenfalls sehr erwähnenswert sind die T-Modelle bei denen es sich um spezielle Low-Voltage-Varianten mit geringerer Kernspannung und Taktrate handelt. Diese T-Modelle liegen bei den Desktop-Prozessoren mit zwei Kernen bei 35 Watt TDP und bei vier Kernen bei einem extrem sparsamen TDP von 45 Watt, womit Intel beim Verhältnis von Leistung pro Watt Maßstäbe setzt. Dadurch sind Vorgängermodelle wie Core i7 900 überflüssig geworden. Denn die „Sandy Bridge“ Prozessoren kosten weniger, sind schneller und vor allem viel stromsparender.

3.2.2. „Fusion“ Prozessoren von AMD

AMD stellte im Januar 2011 seine ersten „Fusion“ Prozessoren mit der Bobcat-Mikroarchitektur vor, welche das Konkurrenzprodukt zu Intels Atom Plattform darstellen und bei denen ähnlich der Sandy-Bridge Mikroarchitektur, der Grafikchip und die Northbridge in den Prozessor integriert wurden. Diese All-In-One Prozessoren heißen bei AMD Accelerated Processing Unit (APU = CPU + GPU + Northbridge).

Diese besonders kleinen und Effizienten X86-Prozessoren sind durch ihre einfach gehaltene Mikroarchitektur auf möglichst geringen Stromverbrauch ausgerichtet und konzipiert. Das Haupteinsatzgebiet beschränkt sich daher auf Notebooks, Netbooks und besonders energiesparende Desktopsysteme. Doch obwohl AMD Prozessoren mit einem ausgewogenen Leistungs- und Energieeffizienzniveau geschaffen hat, die im Vergleich zu Intels Atom Prozessoren deutlich schneller sind, bleiben die APUs auf Basis der Bobcat-Mikroarchitektur relativ leistungsschwach.

„Unter dem Codenamen Zacate erschien ein für den Desktop Segment interessanter E-350 Dual-Core Prozessor mit 2x 1,6 GHz. Der E-350 Prozessor besitzt eine TDP von nur 18 Watt, was ihn für besonders sparsame Office- und Multimedia-Systeme prädestiniert. Die Fusion Plattform soll zum größten Teil auf Mini ITX Mainboards ihren Platz finden. Die Hersteller bieten teilweise auch passiv gekühlte Systeme an, die bei einem entsprechenden Netzteil den Bau eines unhörbaren Systems ermöglichen.“ [7]

3.2.3. Ausblick

Die nächste Prozessor Generation Ivy-Bridge, welche im ersten Quartal 2012 auf den Markt kommen soll, wird mit der 22-Nanometer-Technik gefertigt werden und dürfte dadurch erneut Sparsamer werden.

Eine weitere neue Technologie, welche als erstes in kommenden „Ivy Bridge“ Prozessoren verwendet wird, sind 3D-Transistoren. An dieser Technik hat Intel mehr als zehn Jahre geforscht und soll in Zukunft den Grundstein für jedes zukünftige Intel-Produkt bilden.

„Bei einem Tri-Gate-Transistor umschließt das Gate das als Finne ausgeführte Substrat zwischen Source und Drain von gleich drei Seiten. Dabei ist es vom Kanal (Inversionszone) am Rande des Substrats durch ein High-k-Dielektrikum getrennt. Sieht man sich im Vergleich

dazu einen herkömmlichen, planaren Transistor an, hat dieser nur einen einzigen leitenden Kanal.

Durch die größere Kontaktfläche wird der Ansteuerungsstrom erhöht, wodurch eine höhere Leistung ermöglicht wird. Dies kann durch die Kombination mehrerer Finnen sogar noch gesteigert werden. Ein weiterer Vorteil des dreidimensionalen Aufbaus ist, dass negative, zu Leckströmen führende Einflüsse auf die Inversionszone durch die im Substrat anliegende Spannung vermieden werden. Bei planaren Transistoren wird diesem Effekt mit teurer SOI-Technik entgegengewirkt.

Dadurch erreicht man einen stärkeren Abfall des Kanal-Stroms unterhalb der Schwellspannung – Leckströme werden reduziert. Die Leakage der gesamten Einheit wird Intel zufolge um den Faktor zehn gesenkt, was insbesondere für zukünftige, immer dünner werdende Fertigungstechniken elementar wichtig ist. Intel kann die Vorteile der neuen Technik aber auch anderweitig nutzen: Geht man beim Leckstrom vom aktuellen „Nullpunkt“ der 32-nm-Fertigung aus, kann man durch eine Senkung der Schwellspannung die Transistoren bei einer niedrigeren Spannung betreiben und so die Leistungsaufnahme reduzieren oder die Schaltgeschwindigkeit erhöhen. Daraus resultieren schnellere und gleichzeitig sparsamere Produkte.

Der Schaltzeit-Vorteil des in 22 nm gefertigten Tri-Gate-Transistors gegenüber einem in 32 nm gefertigten planaren Transistor beträgt bei 1 Volt Spannung 18 Prozent. Senkt man die Spannung auf 0,7 Volt, ist der Tri-Gate-Transistor auf einmal 37 Prozent schneller. Low-Voltage-Prozessoren werden durch den neuen Transistor im Vergleich zur Vorgängergeneration also stärker profitieren können.

Ein weiteres Beispiel: Um mit dem neuen Transistor die gleiche Schaltzeit zu erreichen wie mit einem aktuellen Transistor, kann die Spannung von 1,0 auf nur noch 0,8 Volt gesenkt werden. Beim Strombedarf bedeutet dies große Einsparungen. Intel selbst spricht bei gleicher Performance von einem mehr als 50 Prozent geringeren Energiebedarf.“ [8]

3.3. Alternative Prozessorarchitekturen

3.3.1. ARM-Architektur

ARM steht für Advanced RISC Machines und ist ein vom britischen Unternehmen ARM Limited entwickeltes 32-Bit-Chip-Design.

Die ARM Limited baut allerdings selbst keine Prozessoren, sondern verkauft lediglich Lizenzen für das Design an ihre Kunden. Ziel der ARM-Architektur sind möglichst leistungsstarke Prozessoren, welche gleichzeitig möglichst stromsparend sind.

Durch einen effizienten Befehlssatz und die kompakte Umsetzung in einem ASIC-Design (anwendungsspezifische integrierte Schaltung) ist diese Architektur besonders gut für den Bereich der Ausführungsgeschwindigkeitsoptimierung und der damit verbundenen Optimierung der Stromaufnahme geeignet.

Bei der ARM-Architektur kann der spätere Nutzer die interne Schaltung nicht mehr verändern. Es gibt allerdings auch ASIC-Varianten, auf denen Mikroprozessoren oder Signalprozessoren integriert sind (System on a Chip), wodurch eine gewisse Flexibilität für den Nutzer durch die darauf ablaufende Software erreicht werden kann.

Im Gegensatz dazu sind normale CPUs universell integrierte Schaltungen, die sehr viele verschiedenste Aufgaben bewältigen können müssen. Das hat den Nachteil, dass eine normale CPU nicht optimal an einzelne Aufgaben angepasst ist und diese nicht optimal abgearbeitet werden. Daher sind Energieverbrauch, Datendurchsatz, Chip-Fläche, Taktfrequenz und

andere Zielparameter für bestimmte Anwendungen höher als mit einem spezialisierten ASIC-Baustein.

ARM-Prozessoren werden also in der Regel zweckgebunden gekauft, wohingegen normale CPUs für universellen Einsatz verwendet werden.

ARMs werden vor allem für in Großserien gebaute Geräte zur Kostensenkung und Energiesenkung verwendet. Mittlerweile sollen 10 Milliarden ARM-Prozessoren im Umlauf sein. Vorwiegend finden ARM-Prozessoren ihren Einsatz in eingebetteten Systemen, wie z. B. Tablets, Digitalkameras, grafikfähigen Taschenrechnern, NAS, Routern, Spielkonsolen, PDAs, Smartphones und verschiedenen Mobiltelefonen. Wie Microsoft bekannt gegeben hat, soll Windows 8 ebenfalls in einer Version für ARM-Prozessoren erscheinen. Ein Einsatz für energiesparende Server wird für die nahe bis mittlere Zukunft angestrebt, deshalb hat ARM erste Pläne für eine 64-Bit-Architektur vorgestellt. Denn Energieeffizienz hat sich für viele führende Technologieunternehmen zu einer Top-Priorität entwickelt. Intel will zum Beispiel einen Computer entwickeln, der bei hundertmal mehr Leistung, nur doppelt so viel Energie wie heutige Systeme verbraucht.

3.3.2. FPGA

Field Programmable Gate-Arrays (FPGA) sind reprogrammierbare Bausteine, welche durch ihre hardwarenahe Anpassungsmöglichkeit für die Lösung von spezifischen Problemen vorgesehen sind.

Gegenüber ARMs liegt der Vorteil in niedrigeren Kosten bei kleinen Stückzahlen und ihrer Reprogrammierbarkeit. Entwurfsänderungen können so sehr schnell und günstig vom Anwender durchgeführt werden. Jedoch sind die Verzögerungen von FPGAs um einen Faktor von 10 bis 100 höher als vergleichbare ASICs, weswegen diese Lösungen in der Wirtschaft immer noch überwiegen. Das wird sich wahrscheinlich in Zukunft ändern, da die Leistung von FPGAs stetig wächst und gegenüber herkömmlichen Prozessoren sogar doppelt so schnell.

„Das Thema Leistungsaufnahme spielt bei der Entwicklung von Systemen mit FPGAs eine immer wichtigere Rolle. Führende FPGA-Hersteller bieten deshalb verstärkt auf einen niedrigen Energieverbrauch optimierte Architekturen an.

Die Entwicklung von Geräten mit geringem Energiebedarf beginnt mit der Auswahl der richtigen FPGA-Architektur sowie geeigneter Bausteine. Entwurfspraktiken wie etwa die Steuerung von Taktnetzen mit Gated-Clocks, die Nutzung von Energiesparmodi und ein optimales Floorplanning bilden die Grundlage für energiebewusste Entwicklungen. Entwicklungstools unterstützen diese Methoden, indem sie das Layout optimieren und die Leistungsanalyse automatisieren. Auf diese Art werden Bereiche in einem Design erkannt, die besonders viel Energie verbrauchen. Entwickler können somit entsprechende Maßnahmen zur Optimierung des Energieverbrauchs ergreifen. Mit diesen Strategien, Techniken und Tools können FPGA-Entwickler den Energieverbrauch verringern und schließlich eine wichtige Rolle bei größeren Energieproblemen übernehmen – sei es die Verlängerung von Batterielaufzeiten oder die Unabhängigkeit vom Stromnetz.“ [...] [9] Dies ist nur ein kleiner Auszug aus einem sehr guten Artikel zum Energieverbrauch von FPGAs und den Entwurfsmöglichkeiten um diesen zu senken. Bei weiterem Interesse kann man sich den gesamten Artikel unter der angegebenen Quelle durchlesen.

Die neuste Baureihe von FPGAs heißt Virtex-7 und beinhaltet bis zu 2 Mio. Logik-Elemente. Im Gegensatz zu ihren Vorgängern konnte durch diverse Maßnahmen eine Reduktion der

Leistungsaufnahme um 50 % erreicht werden. Besonders die statische Leistungsaufnahme wurde um 65 % reduziert.

Eine zweite Baureihe heißt Kintex-7. Diese besitzt zwar etwas weniger Logikeinheiten, ist jedoch 70 % billiger in der Anschaffung und nimmt noch mal 50 % weniger Leistung auf, als ein vergleichbarer Virtex-7 Vorgänger. Daher liegt der Kintex-7 bei gleicher Taktfrequenz bei einem Energieverbrauch von 4,48 Watt.

Ein Beispiel aus der Industrie zeigt die heutige Bedeutung von FPGAs:

Ein großer japanischer Kamerahersteller benötigte zur Ansteuerung des Wechselobjektivs gewisse Bausteine. Die anfängliche Lösung kostete rund 15 \$ und verbrauchte 900 mWatt Strom, bei einer Baugruppengröße von 655 mm². Die aktuelle Lösung mit FPGAs kostete dagegen weniger als 5 \$ und nimmt nur noch 575 mWatt an Strom auf, bei einer Baugruppengröße von 100 mm². Bei einer digitalen Spiegelreflexkamera lassen sich so rund 66 % Preis und 37 % Energie einsparen.

Dank ihres enorm geringen Verbrauch und der kleinen Baugrößen werden FPGAs auch z.B. in 3-D-Fernseher und tragbaren Ultraschallgeräten, die maximal 2 Watt aufnehmen dürfen, verwendet.

3.3.3. GPGPU

GPUs (Graphics Processing Unit) sind Grafikprozessoren, welche sich in den vergangenen Jahren zu einer Klasse von Hardware entwickelt haben, die eine extrem hohe Rohperformance zur Verfügung stellen kann. Dabei versuchen GPUs im Gegensatz zu normalen CPUs nicht die Ausführung einzelner weniger Threads zu beschleunigen, sondern einen möglichst großen Datendurchsatz zu erzielen. Aus diesem Ansatz ist GPGPU (General Purpose Computation on Graphics Processing Unit) entstanden. Damit ist die Verwendung von Grafikprozessoren für Berechnungen über den ursprünglichen Aufgabenbereich von GPUs hinaus gemeint. Zum Beispiel zur Berechnung von technischen oder wirtschaftlichen Simulationen. Vor allem können so aber enorme Geschwindigkeitssteigerung bei parallelen Algorithmen erreicht werden.

Entwickelt hat sich GPGPU aus den Shadern der Grafikprozessoren, deren Stärke in der gleichzeitigen Ausführung von gleichförmigen Aufgaben liegt. Und da es sich als immer schwieriger erweist die Geschwindigkeit aktueller Prozessoren durch die bloße Erhöhung des Taktes zu erreichen, wird grundsätzlich nach anderen Konzepten gesucht, um die Performance zu steigern. Daher drängte sich der Gedanke auf, Shader zu massiv-parallelen Recheneinheiten zu erweitern und über ihre üblichen Aufgaben hinweg zu benutzen.

GPGPU setzt daher auf eine parallele Verarbeitung möglichst vieler Daten. Dabei sind sie darauf ausgerichtet, [...], „mit möglichst wenig Verwaltungsaufwand, möglichst viel zu rechnen und somit auch mehr Transistoren in Ausführungseinheiten statt in das Drumherum investieren zu können. Das Resultat ist eine allgemein gut 10 mal höhere Rohleistung als CPUs.

Man erkennt, wie der Verzicht auf große Caches, aufwändiger Out-of-Order Logik sowie Einschränkungen bei der Funktionalität (nur 32 Bit Integer statt 64 Bit, einfachere Multiplier, reduziertem Funktionsumfang der Einheiten usw.) es ermöglicht, die GPGPU mit Ausführungseinheiten regelrecht vollzustopfen. [...]

[...] Dazu kommt, dass es beim Entwurf in gewissem Umfang möglich ist, die Packungsdichte der Schaltungen gegen der Taktfähigkeit abzuwägen. Bei CPUs favorisiert

man eher die Taktfähigkeit, da anders als bei GPUs die Performance nicht einfach über eine größere Anzahl von Einheiten wieder hereingeholt werden kann.“ [10]

Moderne GPUs haben daher bis zu 1000 Recheneinheiten und können so bis zu 1000 Rechenoperationen gleichzeitig ausführen.

Eine neue Variante die Vorteile von GPU und CPU zu nutzen ist das so genannte GPU-Computing. Dabei arbeiten beide Prozessoren mit ihren jeweiligen Stärken gemeinsam an Berechnungen. Auf der CPU läuft der sequenzielle Teil einer Anwendung, während die Ausführung des rechenintensiveren Teils auf der GPU durchgeführt wird. Durch die Beschleunigung der Ausführung dank der leistungsstarken GPU, kann so die gesamte Anwendung deutlich schneller ablaufen.

4. Grafikkarte

In vielen Computern stecken Grafikkarten, die den Großteil der Zeit völlig unterfordert sind und einfach nur unnötig Strom verbrauchen.

Das Problem: Es gibt eine fast unüberschaubare Zahl unterschiedlicher Typen mit enorm unterschiedlichen Verbrauchswerten. Erstaunlich ist, dass sogar Unterschiede in den Verbrauchswerten gleicher Baureihen unterschiedlicher Hersteller existieren:

Hersteller	Grafikkarte	Verbrauch IDLE	Verbrauch 3D
Gigabyte	Radeon HD 5670	29 W	49 W
HIS	Radeon HD 5670 IceQ	24 W	47 W
MSI	Radeon 5670 PMD1G	13 W	28 W
Powercolor	Radeon HD 5670 Go! Green	17 W	52 W
Sapphire	Radeon HD 5670	10 W	34 W
Sapphire	Radeon 5670	13 W	47 W
XFx	Radeon 5670	16 W	47 W

Quelle: c't

Jedoch zeigen sich die Hersteller ausgesprochen verschlossen was die Leistungsaufnahme angeht, geben nur in Einzelfällen realistische Verbrauchsdaten bekannt und das nicht ohne Grund, denn viele aktuelle Grafikkarten benötigen eine eigene Stromversorgung. Viele verbrauchen teilweise sogar mehr Strom als selbst die geringsten Prozessoren. So existieren High-End-Grafikkarten die selbst im Idle-Betrieb deutlich mehr Strom als kleinere Mittelklasse-Grafikkarten unter Volllast verbrauchen.

Ein kleines Beispiel: Eine Mittelklasse-Grafikkarte benötigt im Idle-Betrieb etwa 22 Watt, eine High-End-Grafikkarte mit etwa 62,3 Watt sogar fast das Dreifache. Noch verschwenderischer gehen da nur zwei zusammengeschaltete Grafikkarten zu Werke. Am genügsamsten sind dagegen direkt auf dem Mainboard integrierte Grafikchipsätze, die ich bereits im Kapitel über die Leistungsaufnahme von Motherboards erwähnt habe. Sie bedienen sich beim Hauptspeicher und haben keinen eigenen Grafikspeicher.

Eine Lösung um den Stromverbrauch in den Griff zu bekommen und trotzdem nicht gänzlich auf Spitzenleistung verzichten zu müssen ist eine Hybridvariante. Die Leistungsstarke Grafikkarte wird dabei unter Last, z.B. beim Spielen zugeschaltet, und beim Surfen, Arbeiten oder lesen von e-Mails bleibt sie abgeschaltet und die sparsamere Onboard-Lösung übernimmt das Anzeigen des Desktops. Bei NVidia heißt diese Technik Hybrid-SLI beziehungsweise HybridPower oder Optimus, bei ATI Hybrid-Crossfire. Beide Techniken dienen dazu Strom im Idle-Modus zu sparen.

Einflussgrößen auf die Leistungsaufnahme:

Einer der größten Einflussfaktoren auf den Stromverbrauch einer Grafikkarte hat die Taktfrequenz, sowohl des Grafikchip, als auch des Grafikspeicher. So zeigt sich das sowohl im Idle- als auch im Last-Betrieb eine deutliche Abhängigkeit der Leistungsaufnahme vom Chiptakt besteht. Anders verhält es sich beim Speichertakt, während bei AMD-Modellen die Reduzierung des Speichertaktes auf die minimalen Taktraten eine Ersparnis von bis zu 50% bringt und sich damit ebenfalls stark auf die Leistungsaufnahme auswirkt, lässt eine Änderung des Speichertaktes NVIDIA-Modelle nahezu kalt.

Neben der Taktfrequenz gibt es noch die Chip-Spannung als einen weiteren wesentlichen Einflussfaktor auf die Leistungsaufnahme. Bereits im Idle-Betrieb sind die Auswirkungen auf den Energieverbrauch sehr groß. Über 10 Watt lassen sich durch die Senkung der Spannung von 1,27 V auf 1,11 V einsparen.

Und auch unter Last hat Spannung einen erheblichen Einfluss auf den Stromverbrauch, so resultiert aus einer Absenkung der Chip-Spannung um 0,1 V, bereits ein Unterschied von bis zu 20% in der Leistungsaufnahme. Des Weiteren steigt die Stromaufnahme im Allgemeinen auch mit der Komplexität und Fertigungsgröße des Chips.

„Abschließend noch ein Blick auf die Einhaltung der PCI-Express-Spezifikation, welche sowohl von NVIDIA als auch von AMD bei High-End-Grafikkarten unter Maximallast verletzt werden. Die aktuellen Dual-GPU-Karten beider Hersteller seien hier an erster Stelle genannt. Eklatant ist hierbei die Spezifikations-Verletzung im Falle der Radeon 4870 X2: Über den, für 150 Watt vorgesehenen, 8-Pin-Stecker zieht die Karte über 200 Watt, auch der 6-Pin-Stecker welcher für 75 Watt ausgelegt ist, ist mit 97 Watt deutlich außerhalb der Spezifikationen. Des Weiteren liegt die 6-Pin-Stromversorgung der Radeon HD 4850 mit 93 Watt nicht im abgesteckten Rahmen.

Bei NVIDIA ist es zum einen ebenfalls die aktuelle Dual-GPU-Karte, die diesbezüglich Kopfzerbrechen bereitet. Bezüglich der 8-Pin-Versorgung bewegt man sich mit der GeForce GX 295 zwar innerhalb der Spezifikation, allerdings ist die Stromaufnahme über den 6-Pin-Stecker mit 104 Watt deutlich zu hoch. Gleiches gilt für die GTX 285, die bei einer Belastung des 6-Pin mit 107 Watt ebenfalls deutlich oberhalb des Maximum liegt.“ [11]

5. Festplatte

Beim Stromverbrauch von Festplatten spielt die verwendete Technologie eine wichtige Rolle. In meiner Dokumentation möchte ich daher auf die zurzeit drei gängigsten Technologien eingehen.

5.1. Hard Disc Drive (HDD)

Diese Festplatten haben im Inneren mehrere Komponenten, die das Schreiben, Lesen und Speichern von Daten ermöglichen. Der eigentliche Datenträger ist eine Metallscheibe deren Oberfläche elektromagnetisch ist. Dabei besitzen Festplatten bis zu 12 dieser Metallscheiben übereinander liegend auf einer Achse angeordnet.

Generell haben die Festplatten insbesondere bei vielen Schreib- und Lesezugriffen den größten Bedarf an Energie, da die Schreib- und Leseköpfe für jede Anfrage beschleunigt und abgebremst werden müssen. Im Ruhezustand, dem so genannten Idle-Modus wird dagegen deutlich weniger Energie verbraucht.

Aus Sicht der GreenIT sollte man beim Kauf darauf achten, dass ein Laufwerk aus möglichst wenigen Scheiben aufgebaut ist, da der Stromverbrauch mit zunehmender Scheibenanzahl zunimmt. Optimal wäre daher nur eine einzige Scheibe.

Seit Januar 2011 sind die Festplatten aller Hersteller in einem neuen Format erhältlich. Die Technik Advanced Format erhöht die Sektorgröße auf den Scheiben von 512 auf 4096 Bytes. Dadurch können die Festplatten mehr Daten pro Fläche speichern. Dank dieser Technik benötigt eine 2 TB HDD nur 3 Datenscheiben und bleibt daher trotz seiner Größe recht sparsam. Des Weiteren gilt, dass Festplatten mit geringen Umdrehungszahlen weniger Energie als solche mit hohen Umdrehungszahlen verbrauchen.

5.2. Solid State Drive (SSD)

Anders als bisherige Laufwerke, bestehen diese SSDs nicht aus Zylindern und Leseköpfen und kommen deshalb ohne bewegliche Teile aus. Der Stromverbrauch ist im Vergleich zu HDD-Festplatten deutlich geringer. Alle SSDs liegen bei Untätigkeit bei maximal 0,1-0,5 Watt.

Recht deutliche Unterschiede finden wir bei maximaler Schreibaktivität. Die doppelte Anzahl an Speicherchips und Speicherkanälen spiegelt sich direkt im Stromverbrauch wider, der bei kleineren SSDs bis zu 50% geringer als bei großen Modellen liegt.

Moderne SSDs verbrauchen zwischen 1 und 2 Watt beim Lesen, zwischen 1,5 und 2,5 Watt beim Schreiben. Zusätzlich sollte man bedenken, dass Lese- oder Schreibvorgänge mit einer SSD teilweise doppelt so schnell, wie mit herkömmlichen Festplatten durchgeführt werden können und so viel schneller zurück in den stromsparenden Idle-Betrieb gewechselt werden kann.

5.3. Hybrid Hard Drive (HHD)

Hybridfestplatten vereinen die Festplatten- und SSD Technologien. Dabei ist eine Hybridfestplatte genauso wie eine herkömmliche Festplatte aufgebaut, besitzt allerdings zu dem bereits bestehenden Cache einen weiteren Flash-Pufferspeicher. Dieser zusätzliche Pufferspeicher dient der Reduktion des Energieverbrauchs und beschleunigt gleichzeitig die Geschwindigkeit der Schreib- und Lesezyklen. Dies gelingt indem der Flashspeicher als Zwischenspeicher genutzt wird und erst wenn dieser voll ist werden die Daten auf die Festplatte geschrieben. Der Energieverbrauch verringert sich dadurch, dass die HDD bis zu dem Zeitpunkt im Stromsparmmodus arbeitet bis der Flash-Speicher voll ist.

Unter den beiden gängigsten Baugrößen aller betrachteten Technologien verbrauchen die 2,5" Laptop-Festplatten deutlich weniger Strom, als die 3,5" Desktop-Festplatten. Generell gilt allerdings auch bei allen Speichertechnologien, dass es energieeffizienter ist sich eine große Speichereinheit einzubauen, statt mehrerer kleiner Speichereinheiten.

6. Netzteil

Sehr wichtig, aber oft vernachlässigt bei einem PC, wird das Netzteil.

Netzteile können in zwei Arten unterteilt werden: Schaltnetzteile und Trafonetzteile. Diese beiden Arten existieren zusätzlich je nach Einsatzzweck in verschiedenen Ausführungen. Da heutzutage zum größten Teil Schaltnetzteile zum Einsatz kommen, will ich mich in meinen weiteren Ausführungen auf diese Konzentrieren.

Ein Schaltnetzteil ist eine elektronische Schaltung, die mittels eines Transistor, einer Induktivität und einer Diode die Transformation anliegender eingehender Spannung in eine kleinere oder größere Ausgangsspannung vornimmt.

„Die Eingangs-Netzspannung von 220 Volt und 50 Hz wird über einen Gleichrichter und Siebkondensator gleichgerichtet und grob geglättet. Das Herzstück eines Schaltnetzteils bilden ein Leistungsüberträger und ein Schalttransistor. Diese Einheit „zerhackt“ die Gleichspannung mit einer Frequenz von zirka 50 kHz und transformiert sie auf eine kleinere Spannung herunter. Ein nachgeschalteter Gleichrichter inklusive Ausgangsdrossel und Siebkondensator sorgen für eine „saubere“ Ausgangs-Gleichspannung. Der auf den Schalttransistor rückgekoppelte Steuer- und Regelungskreis hält die Ausgangsspannung auf einem konstanten Wert, unabhängig von der geschalteten Last. Dieses Prinzip ist auf alle Spannungszweige wie 12, 5 oder 3,3 V anwendbar.“ [12]

Aber kaum zu glauben, ausgerechnet der Stromversorger des PCs ist auch einer der größten Stromverschwender. Ein Netzteil sollte nur soviel Strom anfordern wie nötig. Leider ist es oft nicht der Fall. Jedes Schaltnetzteil verbraucht für die interne Erzeugung der Gleichspannungen Energie, die als nutzlose Wärme in der Umgebung verpufft, das können schon mal bis zu 30% sein. Ein schlechtes 300 Watt Netzteil kann also durchaus knapp 100 Watt direkt in Wärme umsetzen, die vom Lüfter aus dem Gehäuse geführt werden muss. Die wichtigste Messgröße bei Netzteilen ist daher der Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis von eingehender Leistung zur im Endeffekt tatsächlich weitergegebenen und bereitgestellten Ausgangsleistung. Also den Energieverbrauch bzw. die Verlustleistung auf dem Weg durch das Netzteil.

Beispiel: Stellt ein 500 Watt Netzteil unter Vollast lediglich 400 Watt als Ausgangsleistung zur Verfügung, so verfügt dieses Netzteil über einen Wirkungsgrad von 80%.

Damit wird klar, dass je höher der Wirkungsgrad eines Netzteiles ist, desto effizienter arbeitet es. Die entstehenden Mehrkosten aufgrund der Verlustleistung sollten daher nicht vernachlässigt werden.

Eine mit Blick auf den Stromverbrauch interessante Ausführung von Netzteilen sind die passiv gekühlten Varianten. Dabei werden statt herkömmlicher Lüfter zur Wärmeabführung, lediglich Rippenkühler verwendet, die keinen Strom benötigen. Eine Abwandlung davon sind semi-passive Netzteile, die zwar einen Lüfter besitzen, diesen aber nur bei Bedarf eingeschalten. Dies ist insbesondere bei modernen Netzteilen angebracht, die einerseits einen hohen Wirkungsgrad von bis zu 90 % besitzen und damit nur noch eine geringe Wärmemenge abzuführen haben, und andererseits einen hohen Leistungsbereich abdecken, der zusätzliche Kühlung unter Vollast erforderlich machen kann.

„Laut AMD bietet die Formel „Leistungsaufnahme der CPU plus 80 Prozent der Gesamtleistungsaufnahme der übrigen Komponenten“ einen sehr guten Anhaltspunkt für die minimale elektrische Leistung eines Netzteils. Bezieht man noch den Wirkungsgrad (zirka 75 Prozent) mit in die Berechnungen ein, sollte das Netzteil optimal arbeiten und korrekt

dimensioniert sein. Ein kurzes Rechenbeispiel: 90 Watt (CPU) + 0,8 * 190 Watt (andere Komponenten) * 1,25 (Wirkungsgrad) = ~ 300 Watt.“ [13]

Was kaum jemand weiß, selbst im Standby verbraucht ein Netzteil je nach Standard 100 mA, 1 A oder 2 A bei 5 V bei ausgeschaltetem Computer. Nur so können die diversen Einschaltlogiken in Bereitschaft gehalten werden.

Wie zum Beispiel:

- Die Schaltung um die Power-Taste des PCs
 - Je nach Konfiguration:
 - Die Netzwerkkarte, zur Ermöglichung des Einschaltens über das Netzwerk (Wake-On-LAN)
 - Die Tastatur, die Maus sowie der Tastaturcontroller zum Start per Tastendruck
 - Dedizierte USB-Anschlüsse zum Einschalten z. B. über USB-Tastatur
 - Der Pin 9 (=Ring-Detect-Signal) der seriellen Schnittstelle für Wake-On-Modem

Es lohnt sich auch einen Blick auf eine energieeffiziente Netzteilalternative zu werfen, die PicoPSU mit externem kleinerem Netzteil. Beim PicoPSU handelt es sich um ein sehr kleines DC-DC-Netzteil, was bedeutet, dass es seinen Strom nicht direkt aus der Steckdose bezieht, sondern von einer externen 12-Volt-Gleichstrom-Quelle versorgt wird. Vom Hersteller wird die Effizienz mit mindestens 96% angegeben. PicoPSUs gibt es in verschiedenen Varianten mit Leistungen von 80 bis 150 Watt. Damit stellt ein PicoPSU eine gelungene Alternative für besonders stromsparende Systeme dar.

7. Abschlussbetrachtung

Angesichts der immer umweltbewusster werdenden Computernutzer, will ich abschließend noch eine Frage betrachten. Ist es aus Sicht der GreenIT wirklich sinnvoll einen alten funktionierenden Computer gegen ein neues sparsameres Gerät zu tauschen??

„Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie hat vorgerechnet, dass bei der Herstellung eines einzigen PCs 3000 Kilowattstunden Energie verbraten werden. Das entspricht ungefähr dem jährlichen Stromverbrauch einer Kleinfamilie. Damit nicht genug, werden während der Produktion etwa 1,5 Tonnen Rohstoffe verbraucht, sagt Michael Kuhndt vom Zentrum für nachhaltigen Konsum und Produktion (CSCP).

Rechnet man nun vor, dass ein gut bestückter Heim-PC unter Last etwa 150 Watt verbraucht, drei Stunden am Tag läuft und das an 300 Tagen im Jahr, so addiert sich der kumulierte Gesamtenergieverbrauch des Geräts während einer angenommenen Nutzungszeit von drei Jahren auf lediglich rund 400 Kilowattstunden - ein gutes Siebtel der in die Herstellung investierten Energie.“ [14]

Dieses Rechenbeispiel belegt, dass die in die Produktion investierten Ressourcen keineswegs im späteren laufenden Betrieb wieder eingespart werden können. Daher wäre es aus Umweltschutzgründen am besten Technik so lange wie möglich zu nutzen. Denn auch wenn der Ansatz, alte Technik gegen neue sparsamere Modelle auszutauschen im ersten Augenblick positiv klingt, ist dieser Ansatz zwar für den Einzelnutzer richtig, aber gesamtwirtschaftlich betrachtet für die Umwelt schädlich und falsch.

Aber daran haben die Hersteller selbstverständlich kein Interesse und fördern stattdessen den Abverkauf immer neuer Produkte durch steigende Soft- und Hardwareanforderungen und immer mehr Funktionalitäten. Da wir heutzutage in einer regelrechten Wegwerfgesellschaft leben und einem suggeriert wird, dass man immer im Besitz der neusten Technik sein muss, werden nach durchschnittlich drei Jahren alte Computer ausgetauscht. Und weil es praktisch keinen wirklichen Markt für gebrauchte Altgeräte gibt, bleiben diese Geräte oft als Zweit- oder Dritt-PCs im Haushalt oder werden einfach entsorgt.

8. Fazit

GreenIT kann grundsätzlich als ein Trend bzw. Modewort der IT-Szene gesehen werden, welches von den meisten IT-Herstellung lediglich als ein gut laufendes Marketinginstrument gesehen wird. Zusammenfassend kann ich jedoch sagen, dass die Bestrebungen der GreenIT-Bewegung in die richtige Richtung gehen und sehr gute Ansätze besitzt, welche bei richtiger Umsetzung die Umweltbelastung stark senken kann. Aber leider werden diese in der Realität meist nur zum Teil oder gar nicht umgesetzt.

9. Quellen

- [1] <http://www.pc-typ.de/fachbegriffe-lexikon/mainboardmotherboard/>
- [2] <http://www.asus.de/News/QYmeLB0vPN11NgXs/>
- [3] <http://www.pc-erfahrung.de/hardware/prozessor/prozessor-mikroarchitekturen.html>
- [4] <http://de.wikipedia.org/wiki/Leckstrom>
- [5] <http://www.mong0.de/cpu.html>
- [6] <http://www.golem.de/1101/80409-4.html>
- [7] <http://www.stromverbrauchinfo.de/stromsparender-pc.php#prozessor>
- [8] <http://www.computerbase.de/news/2011-05/intel-kuendigt-revolutionaeren-3d-transistor-an/>
- [9] http://www.elektroniknet.de/bauelemente/technik-know-how/eda-tools/article/1501/0/Sparsame_Systeme_mit_FPGAs_entwerfen/
- [10] <http://www.planet3dnw.de/vbulletin/showthread.php?t=362621&garp=3>
- [11] http://ht4u.net/reviews/2009/leistungsaufnahme_graka/index13.php
- [12] http://www.tecchannel.de/server/hardware/431450/netzteile_pc_server_wirkungsgrad_pfc_combined_power_workstations_leistung/index2.html
- [13] http://www.tecchannel.de/server/hardware/431450/netzteile_pc_server_wirkungsgrad_pfc_combined_power_workstations_leistung/index12.html
- [14] <http://www.spiegel.de/netzwelt/tech/0,1518,538102,00.html>
- [15] <http://www.greencomputingportal.de/artikel/green-it-facts/>
- [16] http://winwiki.wi-fom.de/index.php/Aktuelle_Entwicklung_von_Mainboard-Architekturen_unter_besonderer_Ber%C3%BCcksichtigung_von_Soft-_und_Hardwaredesign
- [17] http://www.tecchannel.de/pc_mobile/prozessoren/2023211/kaufberatung_die_beste_desktop_cpu_finden/
- [18] <http://www.pc-erfahrung.de/nebenrubriken/notebooks/nb-cp-allg.html>
- [19] <http://www.pc-erfahrung.de/hardware/prozessor/prozessor-mikroarchitekturen.html>
- [20] http://www.tomshardware.de/sandy_bridge-e-3960x-effizienz,testberichte-240908-10.html
- [21] <http://www.netzwelt.de/news/80684-netzwelt-wissen-laptop-prozessoren-intel.html>
- [22] http://www.tecchannel.de/pc_mobile/prozessoren/2033214/test_intel_core_i5_2500k_und_core_i7_2600k_sandy_bridge_mit_turbo_und_avx/index6.html
- [23] <http://www.pc-erfahrung.de/hardware/prozessor/prozessor-mikroarchitekturen.html>
- [24] <http://de.wikipedia.org/wiki/ARM-Architektur>
- [25] http://de.wikipedia.org/wiki/Anwendungsspezifische_integrierte_Schaltung
- [26] http://de.wikipedia.org/wiki/Reduced_Instruction_Set_Computer

- [27] <http://www.zdnet.de/news/41557943/nvidia-arbeitet-an-arm-prozessoren-fuer-supercomputer.htm>
- [28] http://juwel.fz-juelich.de:8080/dspace/bitstream/2128/2604/1/Juel_4149_Dillinger.pdf
- [29] <http://www.elektroniknet.de/bauelemente/news/article/27879/0/>
- [30] <http://www.planet3dnw.de/vbulletin/showthread.php?t=362621&garp=12>
- [31] <http://de.wikipedia.org/wiki/GPGPU>
- [32] http://www.nvidia.de/page/gpu_computing.html
- [33] http://ht4u.net/reviews/2009/leistungsaufnahme_graka/index11.php
- [34] <http://de.wikipedia.org/wiki/Netzteil>
- [35] <http://www.infobitte.de/free/lex/wpdeLex0/online/s/sc/Schaltnetzteil.htm>
- [36] http://winfwiki.wi-fom.de/index.php/Green_IT#Netzteile_und_USV
- [37] <http://www.stromverbrauchinfo.de/stromsparender-pc.php#netzteil>