

## **Power mit Grips und Erfolg am Markt**

### **Dynamisches Power Management am Beispiel eines Systemdesigns mit Intel ® PXA27x Architektur und Microsoft ® Windows ® CE 5.0**

#### **Energiesparen im Embedded Computing**

Energiesparen ist nicht nur ein zentrales Thema der modernen Industriegesellschaft, sondern inzwischen auch mehr und mehr das Thema eines erfolgreichen embedded Computer-Designs. Die Geräte werden immer leistungsfähiger und komplexer. Die Integrationsdichte nimmt zu und damit die Vielfalt an Funktionen, die mit kaum handtellergrößen Geräten realisiert werden können. Kleine Hochleistungs-CPU's, sehr viel Speicher, hochauflösende Farbdisplays, drahtlose Kommunikation, viele Schnittstellen für Peripherie, verbunden mit embedded Betriebssystemen, ermöglichen auf kleinstem Raum Systemeigenschaften, die vor Jahren ausschließlich leistungsfähigen Desktopsystemen vorbehalten waren. Mobile Geräte, die multimediale Daten, wie Audio-, Bild- und Videoinformationen verarbeiten und darstellen können, gleichzeitig über Netzwerke kommunizieren und auch noch aufwendige Anwendungsprogramme abwickeln, sind am Markt immer gefragter und finden ihre Einsatzgebiete im industriellen als auch im Consumerumfeld. Bei all dieser Funktionsvielfalt muss aber der Energieverbrauch der Geräte niedrig bleiben. In rauen Betriebsumgebungen sind oftmals lüfterlose Designs mit geringer Wärmeabstrahlung gefordert, oder im mobilen Einsatz soll ein möglichst langer netzunabhängiger Betrieb möglich sein. Gerade hier steht und fällt der Markterfolg der Geräte mit der Dauer des netzunabhängigen Betriebs. Nachdem die Technologien im Bereich Batterie- bzw. Akkumulatoren in der jüngsten Vergangenheit keine bahnbrechenden Innovationen vorweisen, wird das gesamte Power Management des Geräts zu einem Schlüsselfaktor für ein energiesparendes Systemdesign und seinen Erfolg am Markt.

#### **1) Systemkomponenten und Power Management**

Sämtliche Systemkomponenten wirken sich in komplexen Abhängigkeiten auf den Energieverbrauch aus. Die Betriebszustände von Hardware, wie CPU, Speicher, Peripherie, Display, von Software, wie Betriebssystem, Treibern und Anwendungen, mit ihren vielseitigen Ein-Ausgabeansforderungen, müssen für optimalen Energieverbrauch aufeinander abgestimmt sein. Darüber hinaus sind für das Gerätedesign die Auswirkungen der Wärmeentwicklung in Bezug auf Kühlung, Wärmeabfuhr und Einsatzbedingungen zu berücksichtigen. Ein effizientes Power Management nimmt somit Einfluss folgende Systembereiche:

- Halbleiterbauteile
- Hardwarekomponenten und -layout
- Betriebssystem- und Treiberanpassung
- Gehäusedesign
- Anwendungsentwicklung

In der Vergangenheit konnten sich die an einem Projekt beteiligten Entwicklungspartner noch mehr oder weniger auf die Elektronik/Softwareentwicklung und das Gerätedesign konzentrieren. Inzwischen erfordern die leistungsfähigen, hoch integrierten Systemkomponenten in Abstimmung auf das geforderte Einsatzprofil, die Beherrschung immer mehr neuer Technologien, um die komplexen Systeme zeitgerecht auf dem Markt zu platzieren. Eine Auswahl dieser Technologien und das dazugehörige Know How werden im Folgenden erläutert.

## **2) Halbleiterbauteile und Power Management**

Sämtliche Hardwarebestandteile, von der CPU, über die Speicherkomponenten (zunehmend großvolumige Festplatten in mobilen Geräten) zu Displays, Kommunikationsschnittstellen und Systembus, besitzen spezifische elektrische Eigenschaften, die wiederum spezielle Power Management-Möglichkeiten aufweisen. Die Hersteller der Systemkomponenten bieten dem Gerätedesigner vielseitige Hilfen an, die Entwicklung für die geforderten Anwendungsprofile bezüglich Leistungsaufnahme und Verlustleistung zu optimieren. Am Beispiel der Intel ® PXA 27x Architektur, die ja prädestiniert ist für mobile Geräte wie PDAs, SmartPhones oder intelligente, multimediale mobile Festplatten, soll skizziert werden, welche Technologien und daraus folgende Einflussnahmen auf das Energiesparen dem Systemdesigner zur Verfügung stehen.

### **Die Power Domain Architektur der PXA 27x CPU Familie**

Das interne Design der PXA 270 Architektur ist in 10 funktionale Bereiche eingeteilt, die eine eigenständige Spannungsversorgung benötigen und bezüglich der Energieversorgung als Prozessor Power Supply Domains bezeichnet werden. In Tabelle 1 ist eine Übersicht, mit den dazugehörigen Versorgungsspannungen und zulässigen Toleranzen zusammengefasst.

Tabelle 1: Power Supply Domains

Power Domain	CPU System	spezifizierte Spannung (V)	Toleranz (%)
VCC_BATT	Sleep control subsystem, oscillators, real-time clock	3.0	+/- 25
VCC_IO	Peripheral input/output	3.0, 3.3	+/- 10 @ 3 V
VCC_LCD	LCD input/output	1.8, 2.5, 3.0, 3.3	+/- 20.5 @ 1,8 V +/- 10 V sonst
VCC_MEM	Memory Controller input/output	1.8, 2.5, 3.0, 3.3	+/- 20.5 @ 1,8 V +/- 10 V sonst
VCC_BB	Baseband Interface	1.8, 2.5, 3.0, 3.3	+/- 20.5 @ 1,8 V +/- 10 V sonst
VCC_USIM	Universal Subscriber Identify Module	1.8, 3.0	+/- 20.5 @ 1,8 V +/- 10 V sonst
VCC_USB	Differential USB input/output	3.0, 3.3	+/- 10 @ 3 V
VCC_PLL	Phase-locked loops	1.3	+/- 10
VCC_SRAM	Internal SRAM	1.1	+/-10
VCC_CORE	CPU and other internal units	variable 0.85 – 1.55	-5 und +10

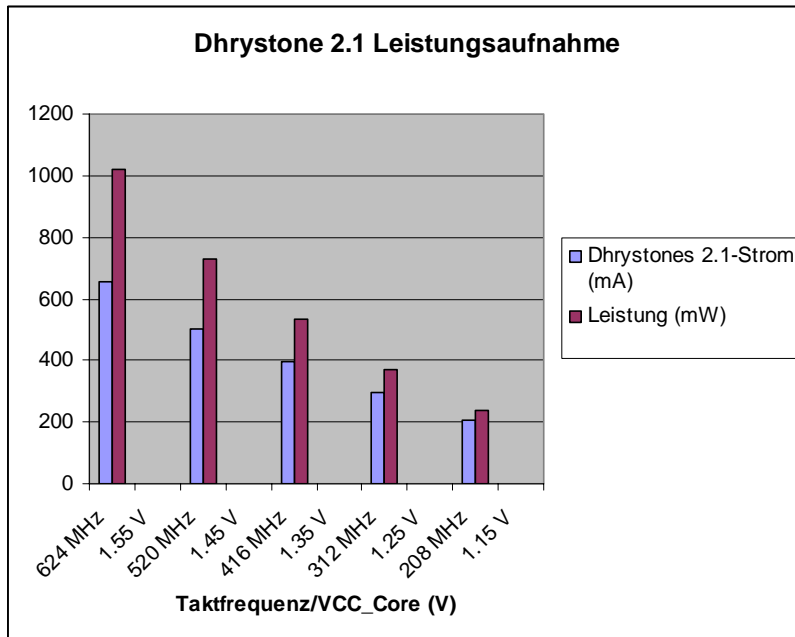
(Quelle: Application Note Intel PXA27x Processor Family, Power Requirements)

Diese Power Domain Architektur ermöglicht ein flexibles Systemlayout, z.B. die Auswahl der geeigneten I/O Versorgungsspannungen für verschiedene Speicher- und Peripheriekonfigurationen und ein effizientes Power Management für verschiedene Einsatzgebiete, z.B. welche Peripheriefunktion bei welchem Einsatzfall verwendet wird. Der Systemdesigner hat auf diese Weise die Möglichkeit das Gerät für spezifische Marktanforderungen anzupassen.

### Stromsparen mit dem Dynamic Voltage Management (DVM)

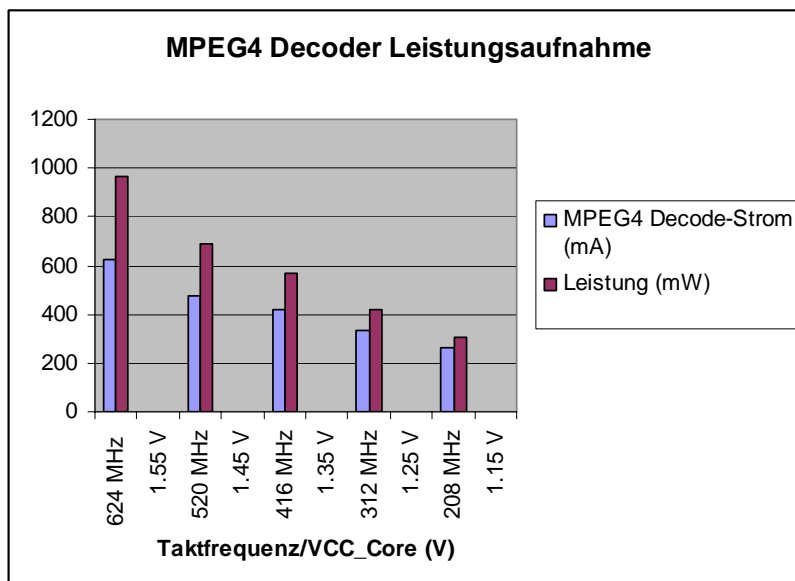
Der PXA27x weist eine ganze Reihe von Eigenschaften für die dynamische Steuerung des Energieverbrauchs auf, zusammenfassend als Dynamic Voltage Management bezeichnet. Dabei werden je nach aktuellem Betriebszustand die Versorgungsspannung und die Taktfrequenz so angepasst, dass möglichst wenig Energie verbraucht wird. Eine interne Power Manager Unit, mit reservierten I/O Signalen für die Kommunikation mit einem externen Power Management Integrated Circuit (PMIC), kann über eine Dynamic Voltage Management Software die Leistungsaufnahme der CPU steuern. PMIC-Komponenten werden für die PXA27x Architektur von einer Reihe von Halbleiterherstellern angeboten und müssen gemäß der gewünschten Gerätefunktionen ausgewählt und integriert werden. Für eine Vielzahl von Anwendungen wird damit signifikant der Stromverbrauch eingespart. In den Diagrammen 1-2 und der Tabelle 2 ist zur Verdeutlichung dieses Zusammenhangs, die Abhängigkeit der Leistungsaufnahme von der Taktfrequenz mit der dazugehörigen Versorgungsspannung der CPU, für typische Benchmarkprogramme zusammengestellt. Alle Tests wurden mit einem Intel PXA270 Entwicklungssystem und Verwendung von Low Level Boot Code durchgeführt.

Diagramm 1: Dhrystone 2.1 Leistungsaufnahme bei verschiedenen Taktfrequenzen



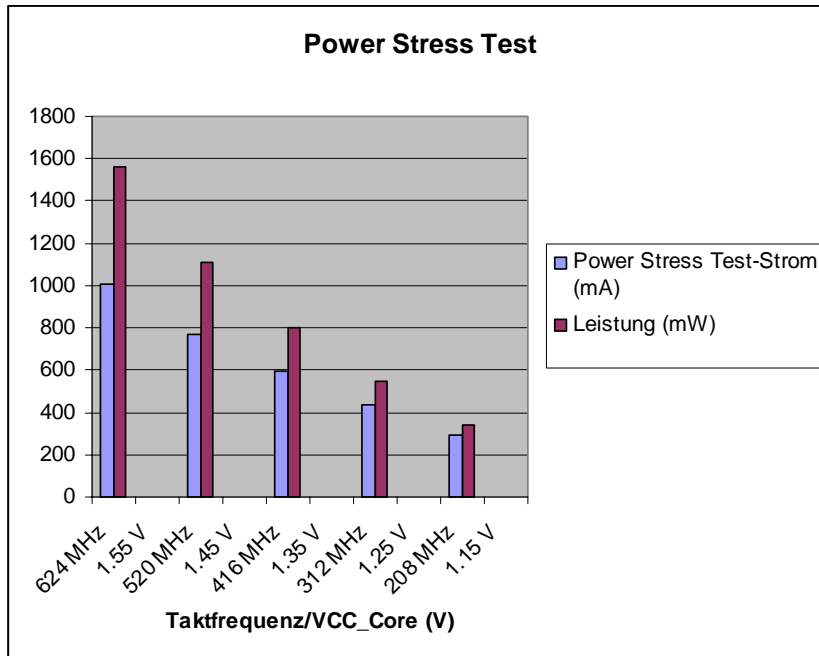
(Dhrystone 2.1 mit  $20 * 10^6$  Zyklen, LCD ausgeschaltet)

Diagramm 2: MPEG4 Decode Leistungsaufnahme bei verschiedenen Taktfrequenzen



(MPEG4 Decodierung mit der Intel IPP Performance Suite v4.0 für Intel PXA 270 CPU unter Linux, QVGA LCD mit Frame Buffer in SRAM)

Diagramm 3: Power Stress Test Leistungsaufnahme bei verschiedenen Taktfrequenzen



(Power Stress Test: Low Level Code zur Ausführung wiederholter 64 bit MAC Instruktionen in einer Endlosschleife, der zu besonders hoher Systemlast der Core Power Domain der Intel PXA270 CPU führt.)

Tabelle 2: PXA27x Versorgungsspannung und Leistungsaufnahme für typische Benchmarks

Frequenz/Spannung	Dhrystone 2.1-Strom (mA)	Leistung (mW)	MPEG4 Decode- Strom (mA)	Leistung (mW)	Power Stress Test-Strom (mA)	Leistung (mW)
624 MHz 1.55 V	658	1019	622	964	1006	1559
520 MHz 1.45 V	503	729	475	689	767	1112
416 MHz 1.35 V	395	533	420	567	594	802
312 MHz 1.25 V	297	371	333	416	436	545
208 MHz 1.15 V	208	239	263	303	295	339

**Anmerkung:** Richtwerte, ohne Verwendung erweiterter Power Management Funktionen

(Quelle: Application Note Intel PXA27x Processor Family, Power Requirements, ohne erweiterte Powermanagement-Funktionen und dynamisches Powermanagement)

Ist es möglich ist, die Anwendungen mit geringeren Taktfrequenzen und Versorgungsspannungen zu betreiben, zeigen diese Ergebnisse deutliche Energieeinspar-Potentiale. Wird von den Softwareebenen des Systems - spezielle Power Management Technologien zu Steuerung der Hardwarekomponenten, Betriebssystem, Treiber und Anwendungen- die aktuelle Systemlast mit den dazugehörigen Leistungsanforderungen ermittelt, kann über die PMIC-Logik und die dazugehörige Dynamic Voltage Management Software die Versorgungsspannung mit der Taktfrequenz so gesteuert werden, dass zu jedem Betriebszustand der günstigste Energieverbrauch eingestellt wird.

### **3) Powermanagement mit Software**

Viele Hardwarekomponenten ermöglichen viele Systemfunktionen und natürlich entsprechend vielfältige funktionale Abhängigkeiten untereinander. Damit diese Funktionen im Entwicklungsprozess beherrschbar sind, sinnvoll für Anwendungen bereitgestellt werden können und auch zügig in neue Produkte einfließen, liefern die Komponentenhersteller zunehmend neue innovative Softwaretechnologien. Ein Beispiel hierfür sind die Intel Power Management Software-Werkzeuge für die PXA270 Prozessoren. In der Regel werden in mobilen embedded Geräten für die Organisation des Systems und als Schnittstelle für die Anwendungen, Betriebssysteme eingesetzt. Auch die Betriebssysteme entwickeln sich stetig weiter, um all die geforderten Funktionen zu unterstützen. So enthält zum Beispiel Windows CE ein eigenes Power Management Subsystem, das sich gemäß der technologischen Fortschritte im Hardwarebereich ebenso mitentwickelt. Für ein effektives Power Management müssen somit die Randbedingungen aus dem künftigen Einsatzprofil, über die genauen Kenntnisse der Hardwarefunktionalität, mit den Möglichkeiten des Betriebssystems kombiniert werden.

#### **Powermanagement zwischen Hardware und Betriebssystem**

Hochintegrierte Hardwarekomponenten bieten immer mehr Funktionalität. Multimediale Funktionen, wie z. B. MPEG4 De-Encoding oder die Unterstützung einer ganzen Reihe von Kommunikationsprotokollen (z. B. Bluetooth, Wireless LAN, USB, GSM, UMTS, etc..) sind inzwischen Standardtechnologien in mobilen embedded Devices. Die Vielfalt der Funktionen soll sich in immer schnelleren Entwicklungszyklen am Markt erfolgreich durchsetzen. Damit neue Produktdesigns an der Schere – steigende Funktionalität und Komplexität und schneller Markterfolg unter hohem Wettbewerbsdruck – nicht scheitern, helfen die Hardwarehersteller den Entwicklern mit innovativen Technologien, damit neue Funktionen zügig in zuverlässige Produkte umgesetzt werden können. Wie vorher schon erwähnt, bietet beispielsweise Intel eine ganze Reihe von Software-Technologien an, den Energieverbrauch multimedialer mobiler Geräte mit PXA270 Architektur vielfältig zu optimieren. Diese Komponenten helfen, die Hardware, das Betriebssystem und die Anwendungen für den Einsatzzweck des Geräts individuell anzupassen. Im Einzelnen stehen zur Verfügung:

- **Board Support Packages für Betriebssysteme**, wie zum Beispiel Microsoft Windows CE.NET, Linux oder Symbian.
- **Optimierungen für das On-Chip SRAM**, das interne SRAM ist in vier unabhängig ansteuerbare 64K Speicherbänke organisiert. Wird das System in den Sleep oder Deep Sleep Modus versetzt, können die einzelnen Speicherbänke individuell mit Energie versorgt werden, d.h. wahlweise aktiv oder inaktiv geschaltet werden. Aktuelle Betriebssystemzustände können auf diesem Weg selbst im Deep Sleep Modus gespeichert werden und bei Bedarf ist das System sehr schnell wieder „Up and Running“.
- **Optimierungen für das Enhanced Memory Subsystem**, ermöglichen Einflussnahmen auf die Speicherzugriffszeit, die interne Systembusgeschwindigkeit und wirken sich auf die Busbandbreite aus. Damit wird ein verbesserter Systemdurchsatz erzielt.
- **Optimierung für den Bus Transaction Arbiter**, DMA-, LCD-, USB-, und interen/externer Memory Controller, können je nach gefordertem Leistungsprofil speziell gesteuert werden.
- **Intel® Wireless MMX™ Technology**, Multimedia Instruktionen, ermöglichen hohe Kommunikationsleistung bei geringer Leistungsaufnahme (vor allem im mobilen Einsatz).
- **Wireless Intel SpeedStep® Technology**, dynamische Leistungsanpassung der CPU an die geforderte Systemleistung.
- **Intel® Quick Capture Technology**, Life Video und hochauflösende Bilder vom Kamerasensor zum Display, bei geringem Energieverbrauch.
- **Intel® Integrated Performance Primitives**, eine Software Bibliothek für optimierte Applikationen, die sich für die Intel® Wireless MMX™ Technology eignen.
- **Intel® Software Development Tools**, optimierte Compiler und Debugger
- **Intel® VTune® Analyzer**, Analysewerkzeug für die Leistungsoptimierung

Schon während der Projektierung eines Designs, ist es sinnvoll diese Technologien zu beurteilen und im Hinblick auf das geforderte Einsatzprofil auszuwählen.

Neben CPU-nahen Funktionen, gibt es natürlich noch mehr „Energieräuber“ in einem mobilen Embedded Gerät, die einem effektiven dynamischen Power Management für möglichst langen netzunabhängigen Betrieb unterliegen müssen. LCD Displays, deren Hintergrundbeleuchtung den Umgebungsbedingungen angepasst werden sollen, Audioausgänge mit automatischer Lautstärkeregelung, sowie jede weitere Peripheriefunktion, mit ihren eigenen nach Aufgabe verschiedenen Energieverbrauchsprofilen, müssen den Vorgaben des dynamischen Power Managements folgen. Hier ist die Treibentwicklung gefordert, die die spezifischen Eigenschaften der Peripheriefunktionen optimiert und an das Betriebssystem anpasst. In den generischen Board Support Packages der Hardwarehersteller sind hier natürlich Vorschläge einzusehen, die aber nicht die Vielfalt der möglichen Kombinationen abdecken können. Somit ist in diesem Bereich ein nicht zu unterschätzender Teil der Gesamtentwicklungsaufwände anzusetzen, um in den heute geforderten kurzen Entwicklungszyklen zuverlässige Systeme zu realisieren.

#### 4) Powermanagement auf Betriebssystemebene, am Beispiel Windows CE.NET

Bestandteil des Platform Builders für Microsoft<sup>®</sup> Windows<sup>®</sup> CE.NET ist ein Power Manager. Er steht in Form einer Dynamic Link Library (Pm.dll) zur Verfügung und wird im Source Code mitgeliefert. Aus dem Power Manager werden Power-Zustandsänderungen des Betriebssystems über I/O Control Codes (IOCTLs) an die Device-Treiber übergeben und dort individuell verarbeitet. Auf diese Weise ist es möglich, die Devices unabhängig vom Zustand des Betriebssystems in ihrem Leistungsverbrauch zu optimieren. So können Funktionen des Geräts in den Ruhezustand versetzt werden, während Windows CE aktiv ist und auch der umgekehrte Fall ist denkbar; in Ruhephasen des Betriebssystems, können wichtige Systemfunktionen weiterhin im aktiven Modus verbleiben. Der Power Manager agiert als eine Art Mediator zwischen den Gerätefunktionen, Anwendungen und Power Modi des Betriebssystems.

Folgende Regeln liegen der Kommunikation zwischen diesen drei Bereichen zugrunde:

- Das Betriebssystem definiert Grenzwerte für den minimalen und maximalen Leistungsverbrauch der Devices (= funktionale Einheiten des Systems).
- Die Anwendungen bestimmen minimale Energieverbrauchswerte für geeignete Devices.
- Der Power Manager überlässt den Devices innerhalb der vorgegebenen Grenzen die Steuerung des Energieverbrauchs über die Device-Treiber.
- Falls die minimale Verbrauchsgrenze höher gesetzt ist als die Maximale, wird die Leistung solange wie nötig auf hohem Niveau gehalten.
- Den einzelnen Devices können bis zu fünf Device-Power-Zustände zugeordnet werden.
- Wird das Betriebssystem in den Suspend Modus versetzt, werden Anforderung für minimalen Leistungsverbrauch aus Applikationen zurückgestellt, dieser Zustand hält an, solange das Betriebssystem im Suspend Modus verweilt.
- So genannte System Power States beschreiben einen maximalen Power State für alle Devices. Sie werden vom Entwickler festgelegt und in der Registry und dem Power Manager definiert.

Für das System gelten vier so genannte System Power States:

- On: das Gerät ist in voll aktivem Betrieb und Gebrauch
- UserIdle: der Anwender übt keine aktiven Funktionen am Gerät aus
- SystemIdle: wird nach einer gewissen Periode UserIdle eingestellt, dabei sind Treiber- und Systemprozesse weiterhin aktiv
- Suspend: Treiber und Systemprozesse interagieren nicht mehr mit dem System

Die fünf Device Power States werden vom Power Manager verwaltet und an die Device Treiber übergeben, die gemäß den physikalischen Eigenschaften die Leistung der Devices regeln. Folgende Device Power States sind definiert:

- Full On: das Device ist in Betrieb und arbeitet mit voller Leistung
- Low On: das Device ist voll funktional, wird aber mit reduzierter Leistung betrieben
- Standby: das Device ist inaktiv, wird mit reduzierter Energie versorgt und bei Bedarf in den aktiven Modus versetzt
- Sleep: das Device ist inaktiv wird mit minimaler Energie versorgt und kann sich bei Bedarf aus eigener Kraft in den aktiven Modus versetzen
- Off: das Device ist ausgeschaltet

Ein Device muss außer dem Full On State nicht notwendiger Weise alle anderen Power Zustände unterstützen. Zur Vereinfachung der Treiber-Implementierung können die nicht vorhandenen Modi übersprungen werden und der nächst verfügbare wird eingestellt. Unterstützt beispielsweise ein Device den Low On und Sleep Modus nicht, kann der Power Manager von Full On über Standby direkt in den Off-Zustand gelangen.

Im Windows CE.NET Platform Builder ist ein Beispiel Power Manager integriert, aus dem heraus weitere Optimierungen vorgenommen werden können. Es wird dabei von typischen Anwender- und Systemaktivitäten bei Netzbetrieb ausgegangen. Für Batteriebetrieb oder den Anschluss an eine Docking-Station müssen gemäß dem Anwendungsprofil, die Parameter des Power Managers entsprechend angepasst werden.

## **5) Verlustleistung und Gehäusedesign**

Alle bereits erwähnten Bereiche des Power Managements haben natürlich auch maßgebliche Auswirkungen auf das Gehäusedesign der Geräte. Obwohl erst an dieser späten Stelle erwähnt, beeinflussen alle Aspekte der zu erwartenden Verlustleistung, das Projekt bezüglich des Wärmemanagements bereits von Anfang an. Die richtige Strategie für den Abtransport der thermischen Energie ist vor allem bei mobilen Geräten mit kleinen Abmessung und geringen Gewichten, sowie bei Systemen, die in extremen Betriebsumgebungen lüfterlos im Einsatz sind, von besonderer Bedeutung. Obwohl es oftmals schwierig ist, schon bei der Projektierung genau vorherzusagen, wie die Temperaturverläufe im Gerät genau aussehen werden, ist es empfehlenswert schon möglichst frühzeitig im Projekt die Problematik des Abwärmetransports zu berücksichtigen. Frühe Prototypentests und numerische Simulationsverfahren sind hier wichtige Hilfsmittel, um zügig zum gewünschten Ergebnis zu kommen.

## **6) Power Management und Time to Market**

Die vorangegangene Diskussion der Einflüsse auf den Energiehaushalt eines hochintegrierten embedded Devices zeigt die vielfältigen zu berücksichtigen Faktoren und das nötige Know How für die erfolgreiche Realisierung eines Projekts auf. Folgendes Fazit kann man aus dieser Zusammenstellung ziehen:

- Das Power Management betrifft das ganze System und das gesamte Projekt von der Projektierung bis zur Fertigstellung.
- Die Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch sind extrem vielfältig und benötigen spezialisiertes Know How in den Bereichen: Projektierung, Hardwaredesign, Treiber- und Betriebssystemanpassung sowie Gerätedesign.
- Für den Markterfolg müssen die neuesten Techniken zur Begrenzung der Verlustleistung ausgenutzt werden, denn der Leistungshunger der Komponenten kennt sonst keine Grenzen. Vor allem mobil und netzunabhängig betriebene Geräte sind davon betroffen.
- Der Einsatz neuer Technologien erfordert spezielles Know How, das zur rechten Zeit und effizient in das Projekt einfließen muss.

Nachdem die Entwicklungszyklen kürzer und die Geräte dabei komplexer werden, ist vor allem die zeitgerechte Umsetzung eines Projekts entscheidend für den Markterfolg. Erfahrene Systemintegratoren, wie die Keith & Koep GmbH, die bereits eine Vielzahl von StrongArm/XScale Systemintegrationen erfolgreich auf den Weg gebracht haben, können von entscheidender Hilfe für den Projekterfolg sein. Hier vereint sich das Basis Know How, wie eine Systemintegration – Hardware-Entwicklung, Betriebssystemintegration und Treiberentwicklung - mit dem Wissen über neuesten Technologien der Hersteller, wie zum Beispiel zeitgemäßes Power Management, in eine erfolgreiche Projektumsetzung. Darüber hinaus fließt, gegeben durch die Erfahrungen in der eigenen Produktion, wie auch in der Zusammenarbeit mit den Entwicklungsteams von Auftraggebern und Gehäuseherstellern, das Know How über effizientes Wärmemanagement in das Projekt ein und hilft so, ein zukunftsweisendes Design zeitgerecht und mit Erfolg am Markt zu platzieren.