

Mehr Power für den Pinguin!

Energieverbrauch mobiler Linuxgeräte optimieren

Agenda

- 1) Grundlagen Energiesparen
- 2) Bastelrezepte unter Linux
- 3) Einige Use Cases

Teil 1

Grundlagen des Energiesparens

Warum Energie sparen? Was bringt es?

- Längere Batterielaufzeit
- Geringere Wärmeentwicklung
- Weniger Geräusentwicklung
- Längere Geräte-Lebensdauer (mit Einschränkungen!)



Mehr Spaß mit dem Laptop und dem Smartphone bei Konferenzen, auf Reisen, und beim LUG-Treffen!

Grundlegende Elektrotechnik

• Elektrische Ladung	Q	[C]	Coulomb	$Q = I * t$	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} * 1 \text{ s}$
• Spannung	U	[V]	Volt	$U = E / Q$	$1 \text{ V} = 1 \text{ J} / 1 \text{ C}$
• Strom	I	[A]	Ampere	$I = Q / t$	$1 \text{ A} = 1 \text{ C} / 1 \text{ s}$
• Leistung	P	[W]	Watt	$P = U * I$	$1 \text{ W} = 1 \text{ A} * 1 \text{ V}$
• Energie	E	[J]	Joule	$E = P * t$	$1 \text{ J} = 1 \text{ W} * 1 \text{ s}$

1 kWh = 1000 Wh

1 Wh = 3600 J

1 Ws = 1 J

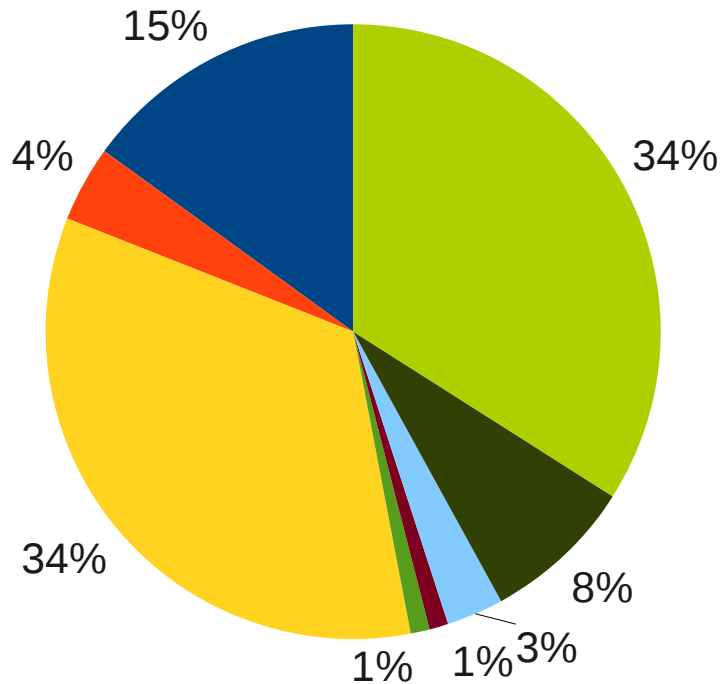
Bei Batterien häufig auch: Ah (Amperestunden). Keine Energieangabe!

Die 2 Prinzipien des Stromsparens

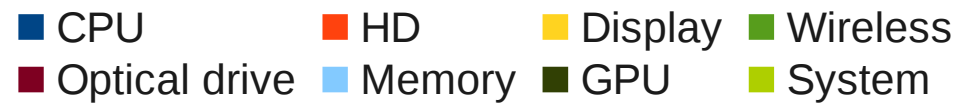
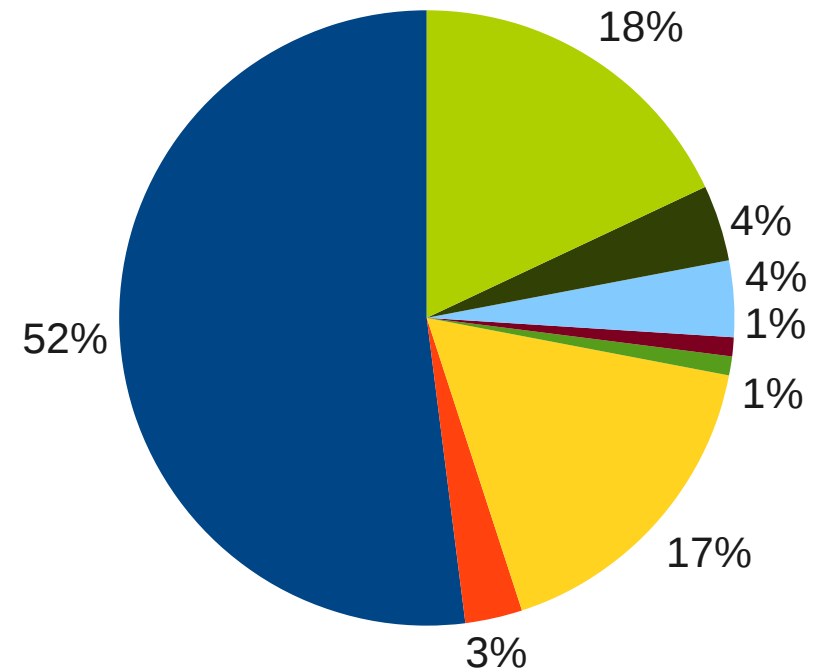
- Wenn du es nicht brauchst, schalte es ab.
- Wenn es was zu tun gibt, mache es so schnell wie möglich.
(Race to Idle)

Leistungsaufnahme Komponenten eines Laptops (ThinkPad R40)

Idle, full brightness (13 W)



CPU test, full brightness (26 W)



ACPI Power Management States

Global States	
G0 / S0	Working
G1 / S1	CPU stop
G1 / S2	CPU powered off
G1 / S3	Suspend to RAM
G1 / S4	Suspend to Disk
G2 / S5	Soft Off
G3	Mechanical Off

Processor States	
C0	Operating
C1	Halt
C2	Stop
C3	Sleep
Cx	(Deeper Sleep etc.)

Device States	
D0	Fully On
D1	Intermediate A
D2	Intermediate B
D3	Off

Performance States	
P0	Max. Frequency / Voltage
P1	Lower than P0
Pn	Lower than P(n-1)

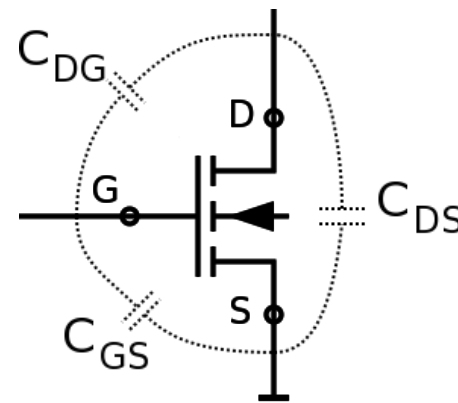
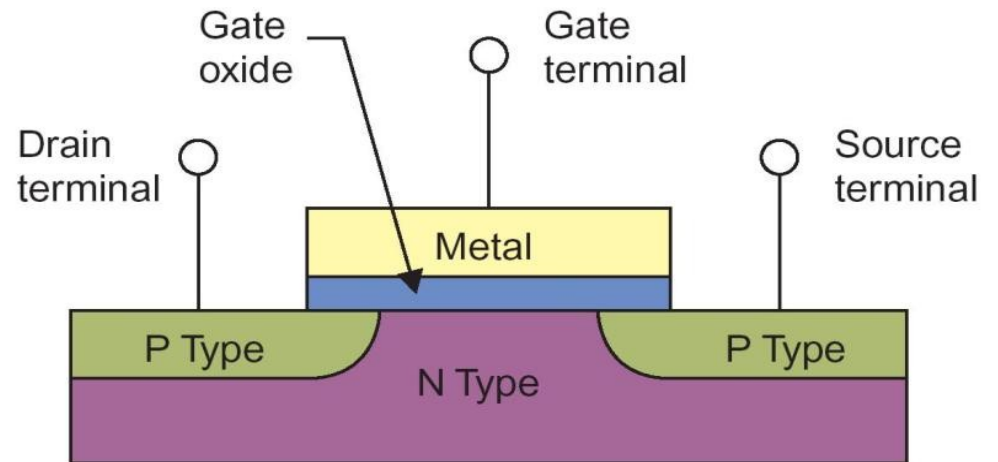
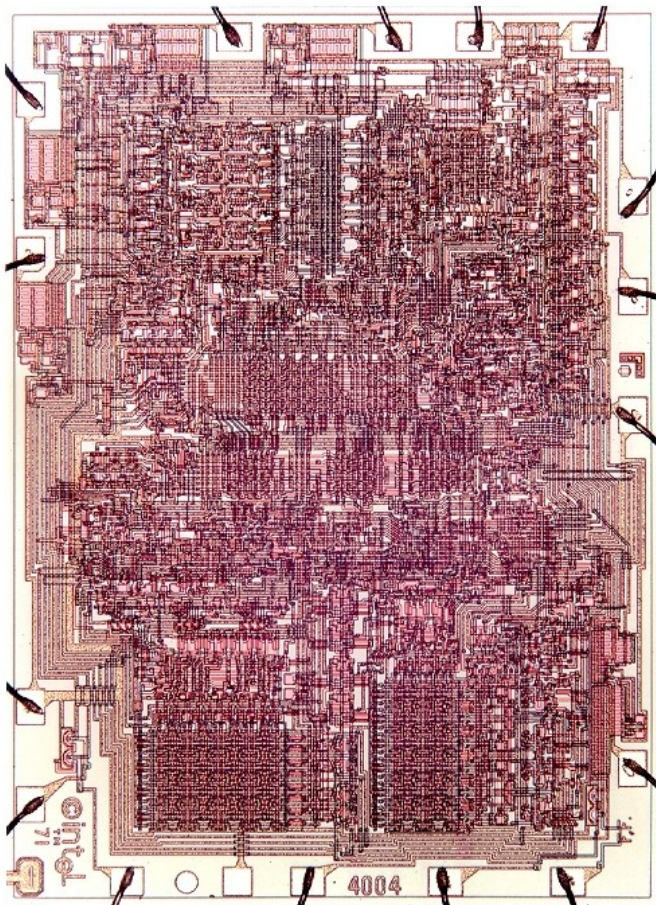
CPU: ACPI C- und P-States

Beispiel: Pentium M „Dothan“ 90 nm, 1.8 GHz

State		TDP HFM	TDP LFM	Latency
C0	Operating	21 W	7,5 W	-
C1	Halt	10,9 W	3,3 W	1 μ s
C2	Stop Clock	10,5 W	3,2 W	1 μ s
C3	Sleep	8,8 W	2,5 W	85 μ s
C4	Deep Sleep	0,8 W	0,7 W	185 μ s

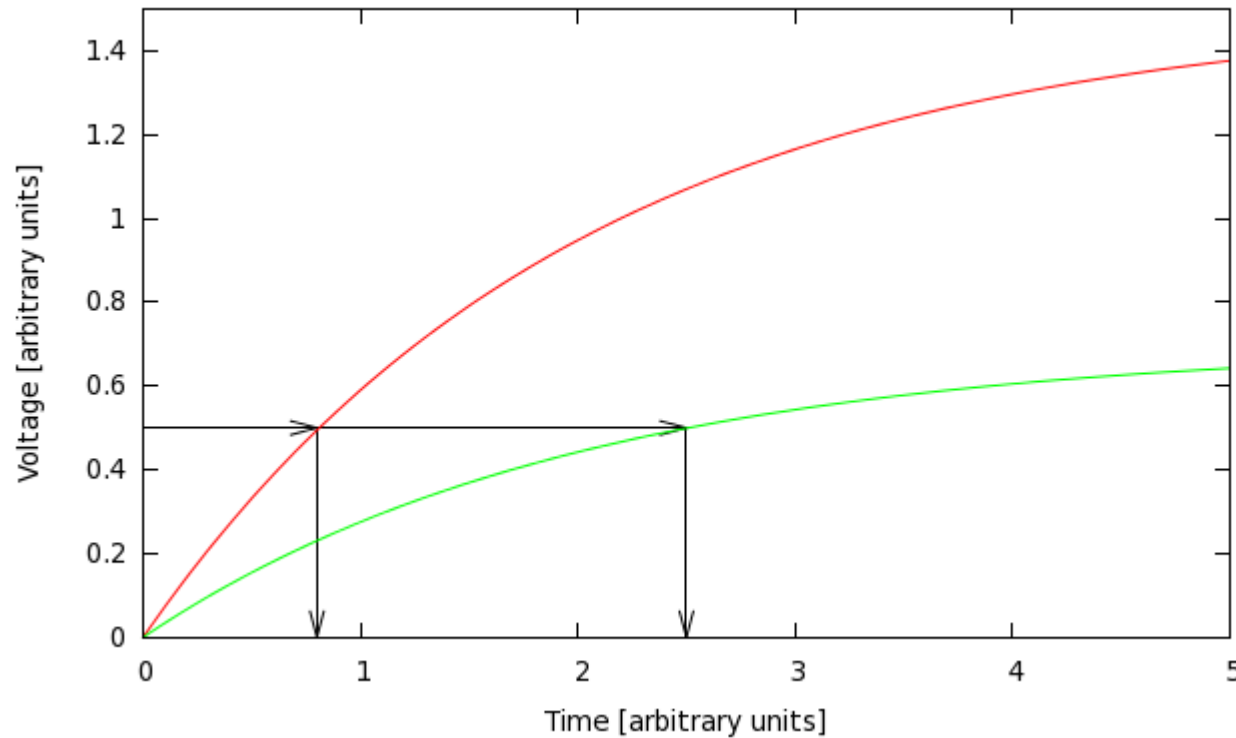
State	Freq	Voltage
P0	1800 MHz	1340 mV
P1	1600 MHz	1292 mV
P2	1400 MHz	1228 mV
P3	1200 MHz	1164 mV
P4	1000 MHz	1116 mV
P5	800 MHz	1052 mV
P6	600 MHz	988 mV

Exkurs: Kapazitäts-Effekte bei CMOS/MOSFET

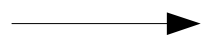


Unvermeidbare
Streukapazitäten!

Exkurs: Kapazitäts-Effekte bei CMOS/MOSFET



$$V(t) = V_0 \left(1 - e^{\left(\frac{-t}{t_0}\right)}\right)$$



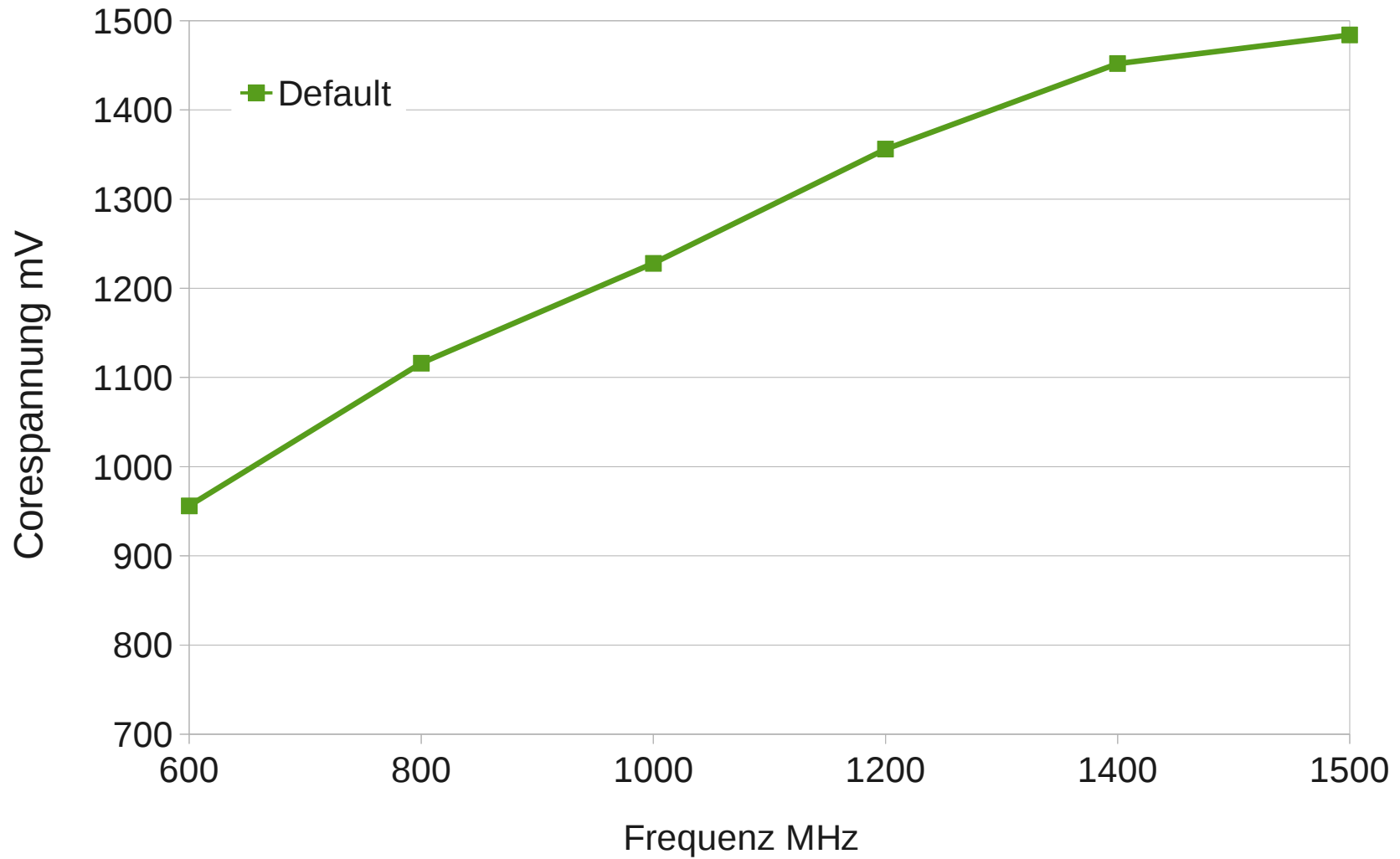
Höhere Spannung, Schnelles Durchschalten
Niedrigere Spannung, Langsames Durchschalten

$$P \sim V^2 \cdot f$$



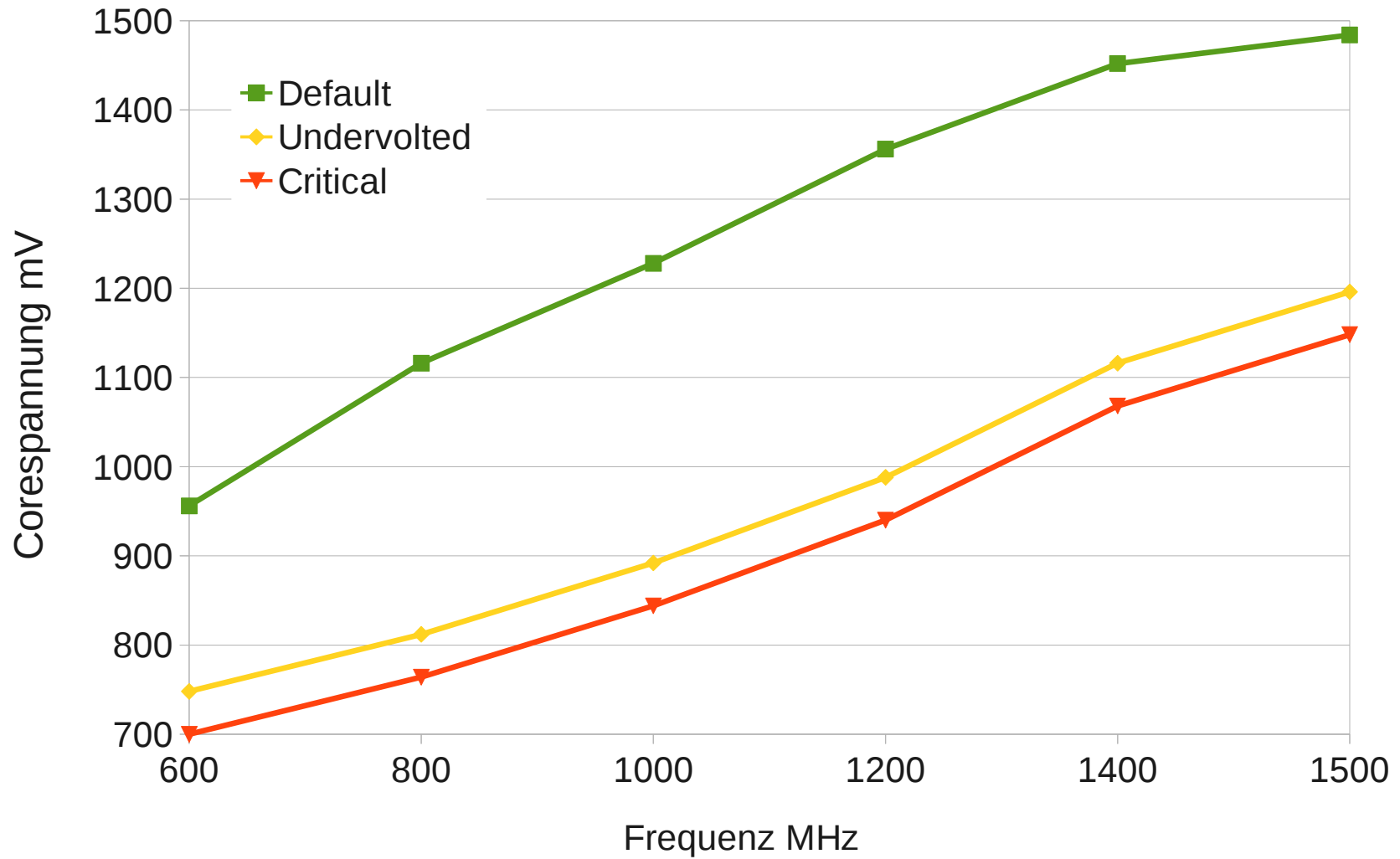
Leistungsaufnahme: Quadratisch mit Spannung
Linear mit Frequenz

Frequency / Voltage scaling



Defaultwerte für einen Pentium M „Banias“ 120 nm, 1.5 GHz

Frequency / Voltage scaling: Undervolting



Teil 2

Energiesparbausteine unter Linux

Allgemeine Maßnahmen zur Energieoptimierung

- Bildschirmhelligkeit reduzieren
- Neuesten Kernel bzw. neueste Distribution verwenden
- Nicht verwendete Komponenten abschalten (Bluetooth, WLAN etc.)
- Bei größeren Pausen System in Suspend setzen
- CPU-Wakeups vermeiden:
 - Desktop- / Taskbar-Applets reduzieren
 - Animationen / JavaScript im Browser vermeiden (laufen im Tab weiter!)
 - Instant Messenger / Skype sparsam einsetzen
 - Allgemein: Alles was blinkt, tündelt oder sich bewegt erzeugt Wakeups
- Aufgaben mit hoher CPU-Last nicht im Batteriebetrieb (Kernel kompilieren usw.)

Kernelkonfiguration für Energieoptimierung

Kernelfeature

Option

- Tickless Kernel
CONFIG_NO_HZ
- Power Management
CONFIG_PM
- Run-Time Core PM
CONFIG_PM_RUNTIME
- ACPI support
CONFIG_ACPI
- Frequency scaling
CONFIG_CPU_FREQ
- 'Ondemand' governor
CONFIG_CPU_FREQ_GOV_ONDEMAND
- CPUFreq P-states driver
(depending on processor)
- CPUIdle driver
CONFIG_CPU_IDLE

Weiteres siehe:

http://www.thinkwiki.org/wiki/How_to_reduce_power_consumption#Kernel_settings_and_patches

CPU drivers: cpufreq (P-states driver frequency scaling)

Governors:

- Performance: Frequenz permanent auf Maximum
- Powersave: Frequenz permanent auf Minimum
- Ondemand: Frequenz dynamisch nach Prozessorload (empfohlen)
- Conservative: Wie Ondemand; Frequenzwechsel erfolgt weicher
- Userspace: Frequenz manuell setzen (über `scaling_setspeed`)

- Interface zum Kerneltreiber: `/sys/devices/system/cpu`
- Governor-typische Parameter: `/cpu[N]/cpufreq/[governor]`
- Statistische Informationen: `/cpu[N]/cpufreq/stats`

CPU drivers: cpuidle (C-states driver)

Governors:

Menu: Sleep State Wechsel optimiert für Tickless Kernels

Ladder: Sleep State Wechsel optimiert für Regular Tick Kernel

Interface zum Kernaltreiber:

`/sys/devices/system/cpu`

`/cpu[N]/cpuidle/`

Statistische Informationen:

`/cpuidle/state[N]/`

Undervolting: Linux-PHC

- Paket bei www.linux-phc.org (zu Prozessortyp und Kernelversion)
- *acpi_cpufreq.c* (Intel) / *phc_k8.ko* (AMD)
- -> `/sys/devices/system/cpu/cpu[N]/cpufreq`

```
> cat phc_fids # Frequenzliste auslesen
18 16 14 12 10 8 6 # Frequenz = fid * 100 MHz

> cat phc_vids # Aktuelle Spannungen auslesen
40 37 33 29 26 22 18 # Voltage = 700 mV + vid * 16 mV

> echo '36 37 33 29 26 22 18' > phc_vids # Spannung 1800 Mhz um 64 mV reduzieren
```

- Prozessorcharakteristik ausmessen:
 - Konservativ: Vcore moderat herabsetzen
 - Aggressiv: Vcore herabsetzen bis Prozessorfehler auftreten
- Vcore testen min. 15 Minuten Vollast (cpuBurn o.ä.)
- Sicherheitsmarge (~ 48 mV – 64 mV)
- Endgültige Spannungen persistent machen (z.B. in rc.local)

```
# rc.local: Spannungen für Thinkpad T42
echo '25 20 15 12 8 5 3' > /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/phc_vids
```

Systemanalyse Energieverbrauch: Powertop

```
root@ravenclaw:~  
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe  
PowerTOP version 1.13 (C) 2007 Intel Corporation  
  
Cn          Verweildauer      P-States (Frequenzen)  
C0 (Prozessor läuft) (26,6%)      1,80 GHz  26,7%  
              0,0ms ( 0,0%)      1,60 GHz  0,8%  
C1 halt      0,0ms ( 0,0%)      1200 MHz  0,9%  
C2          6,7ms (73,4%)      800 MHz   1,2%  
C3          0,0ms ( 0,0%)      600 MHz   70,2%  
C4          0,0ms ( 0,0%)  
  
Aufwachen pro Sekunde : 109,1 Intervall: 15,0s  
Stromverbrauch (ACPI-Schätzung): 17,9W (1,5 Std.)  
  
Häufigste Ursachen für das Aufwachen:  
59,4% (276,1) [kernel scheduler] Load balancing tick  
13,4% ( 62,4) [ehci_hcd:usb1, uhci_hcd:usb2, uhci_hcd:usb3, uhci_hcd:usb4, radeon, ath, eth0] <interrupt>  
12,9% ( 59,9) /sys/bus/usb/devices/2-1  
  2,1% ( 9,7) Xorg  
  1,9% ( 9,0) [acpi] <interrupt>  
  1,8% ( 8,2) [kernel core] hrtimer_start (tick_sched_timer)  
  1,4% ( 6,5) [ata_piix] <interrupt>  
  1,0% ( 4,9) notification-da  
  0,9% ( 4,2) sensors-applet  
  0,9% ( 4,0) [kernel core] usb_hcd_poll_rh_status (rh_timer_func)  
  0,7% ( 3,4) soffice.bin  
  0,7% ( 3,3) wnck-applet  
  0,5% ( 2,3) pulseaudio  
  0,5% ( 2,2) [Intel 82801DB-ICH4 Modem, Intel 82801DB-ICH4] <interrupt>  
  0,4% ( 1,7) firefox  
  0,2% ( 1,0) cpufreq-applet  
  0,2% ( 1,0) gvfs-afc-volume  
  0,2% ( 0,8) hald  
  0,1% ( 0,7) rtkit-daemon  
  0,1% ( 0,5) udisks-daemon  
  0,1% ( 0,5) [kernel core] e1000_watchdog (e1000_watchdog)  
  0,1% ( 0,4) metacity  
  0,1% ( 0,3) gnome-settings-  
  0,1% ( 0,3) gimp  
  0,0% ( 0,2) [kernel core] dev_watchdog (dev_watchdog)  
  0,0% ( 0,2) sendmail  
  0,0% ( 0,2) hald-addon-acpi  
  0,0% ( 0,1) gnome-power-man  
  0,0% ( 0,1) NetworkManager  
  0,0% ( 0,1) screenshot  
  
Suggestion: Enable Device Power Management by pressing the P key  
  
Q - Beenden R - Aktualisieren P - Enable Runtime PM
```

Komponenten optimieren (Auswahl)

USB autosuspend aktivieren:

```
for i in /sys/bus/usb/devices/*/power/autosuspend; do echo 1 > $i; done
for i in /sys/bus/usb/devices/*/power/level; do echo auto > $i; done
```

Netzwerkkomponenten in Energiesparmodus setzen:

```
iwpriv eth1 set_power 5
ethtool -s eth0 advertise 0x0F
ethtool -s eth0 wol d
```

Festplattenzugriffe vermindern:

```
echo 5 > /proc/sys/vm/laptop_mode
echo 1500 > /proc/sys/vm/dirty_writeback_centisecs
hdparm -B 128 /dev/sd*
```

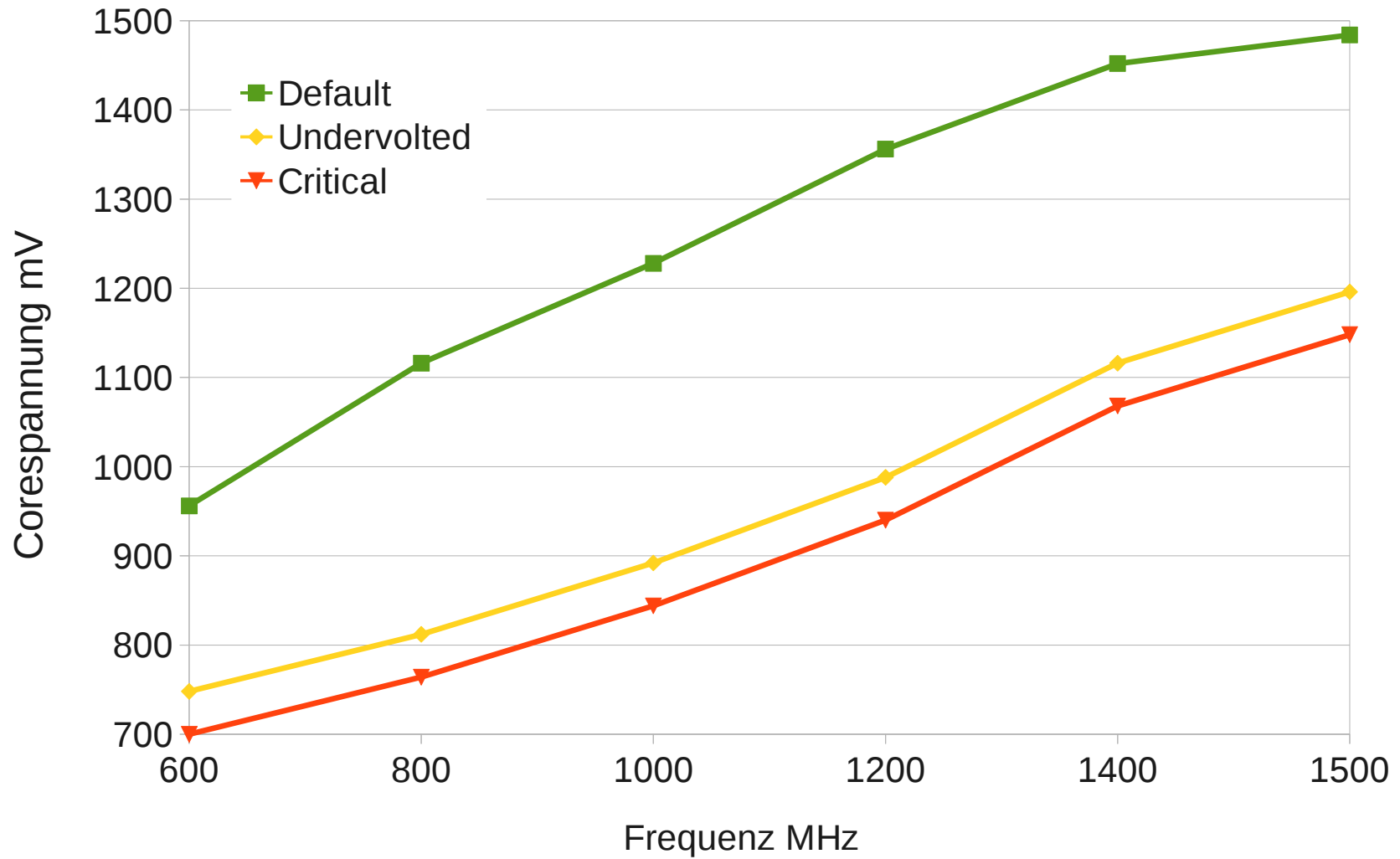
PCMCIA deaktivieren:

```
# /etc/modprobe.d/blacklist.conf
blacklist pcmcia
blacklist yenta_socket
blacklist pcmcia_core
blacklist pcmcia_rsrc
```

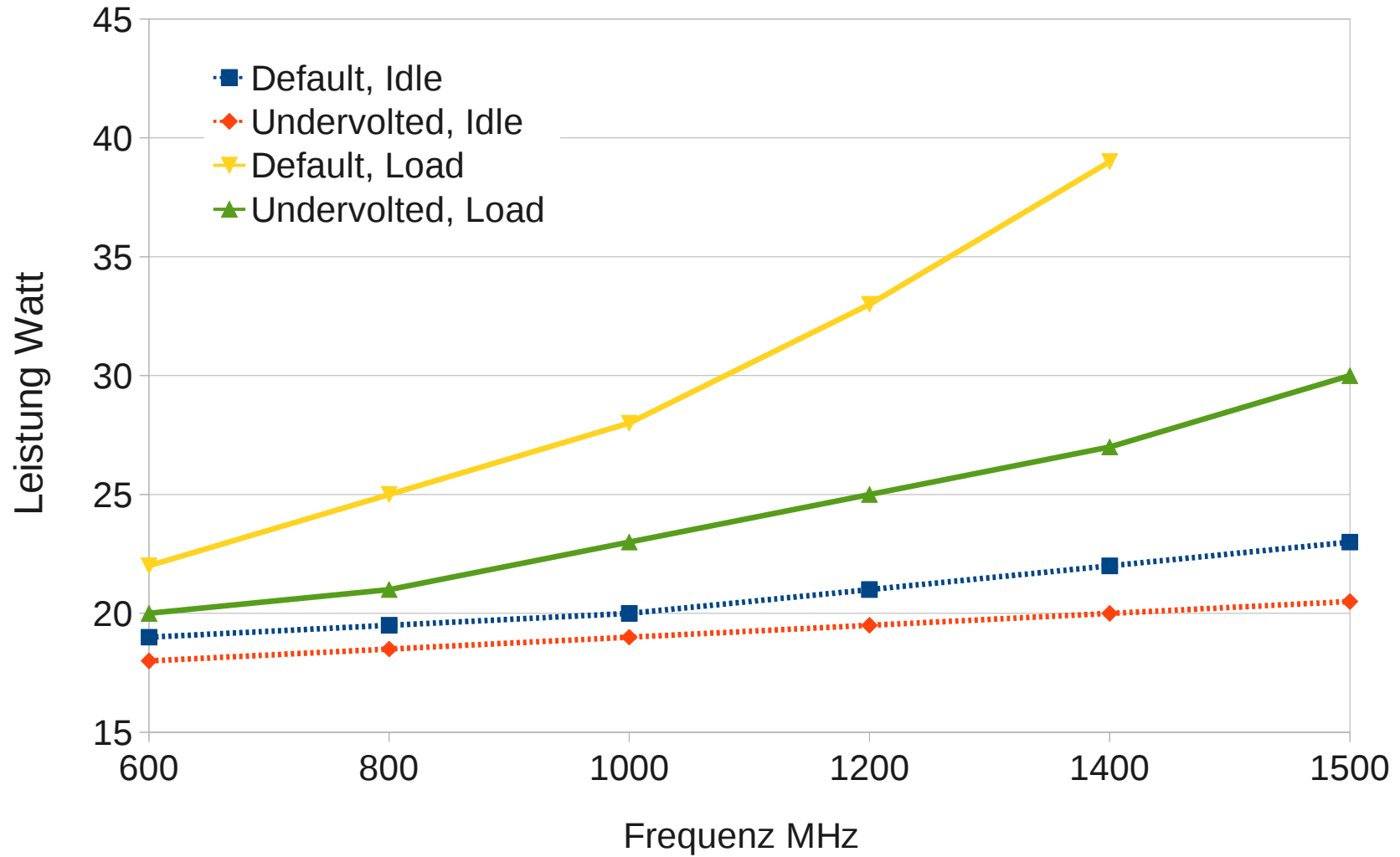
Teil 3

Was bringt das ganze? Einige Use Cases

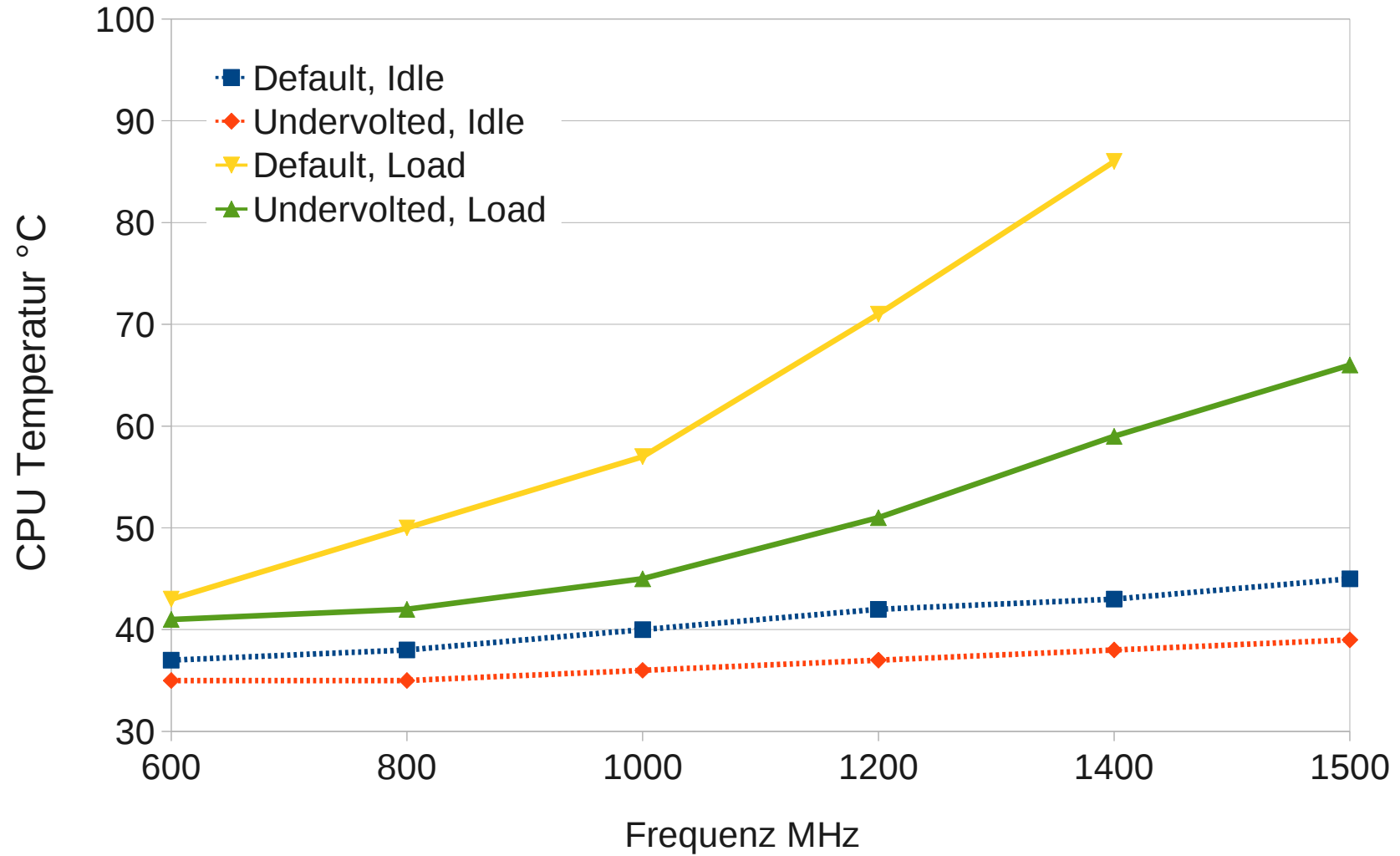
Use Case 1: Undervolting eines IBM Thinkpad T40



Use Case 1: Undervolting, Leistungsaufnahme



Use Case 1: Undervolting, Temperatur



Use Case 2: Energieoptimierung eines IBM Thinkpad T42

IBM Thinkpad T42,
Pentium M 1.8 Ghz, 2 GB, 160 GB HD, SXGA+ 1400x1050, ATI mobility Radeon 9600
Fedora 14, Kernel 2.6.35.10

/etc/rc.local

```
# USB Autosuspend aktivieren
for i in /sys/bus/usb/devices/*/power/autosuspend; do echo 1 > $i; done
for i in /sys/bus/usb/devices/*/power/level; do echo auto > $i; done

# Prozessor undervolten
echo '24 19 14 11 7 4 2' > /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/phc_vids

# Virtual memory: Laptop Modus aktivieren
echo 5 > /proc/sys/vm/laptop_mode

# Festplatten Writeback Time auf 30 Sekunden setzen
echo 3000 > /proc/sys/vm/dirty_writeback_centisecs

# Festplatte Energiesparmodus aktivieren, aber kein Spin-Down
hdparm -B 128 /dev/sda

# GPU Energiesparmodus setzen (ATI radeon KMS)
echo profile > /sys/class/drm/card0/device/power_method
echo auto > /sys/class/drm/card0/device/power_profile

# Ethernet Wake-Up deaktivieren
ethtool -s eth0 wol d
```

Use Case 2: Energieoptimierung eines IBM Thinkpad T42

/etc/X11/xorg.conf

```
# GPU Energiesparoptionen aktivieren (ATI Radeon driver userspace settings)
Section "Device"
    Identifier      "Videocard0"
    Driver          "radeon"
    Option          "ClockGating"      "on"
    Option          "DynamicPM"        "on"
    Option          "AccelMethod"      "XAA"
    Option          "DRI"               "off"
#   Option          "ForceLowPowerMode" "on"
#   Option          "NoAccel"          "on"
EndSection

# Screen Blanking einstellen (hier: Kompletzt deaktivieren)
Section "ServerFlags"
    Option          "BlankTime"        "0"
    Option          "StandbyTime"      "0"
    Option          "SuspendTime"      "0"
    Option          "OffTime"          "0"
EndSection
```

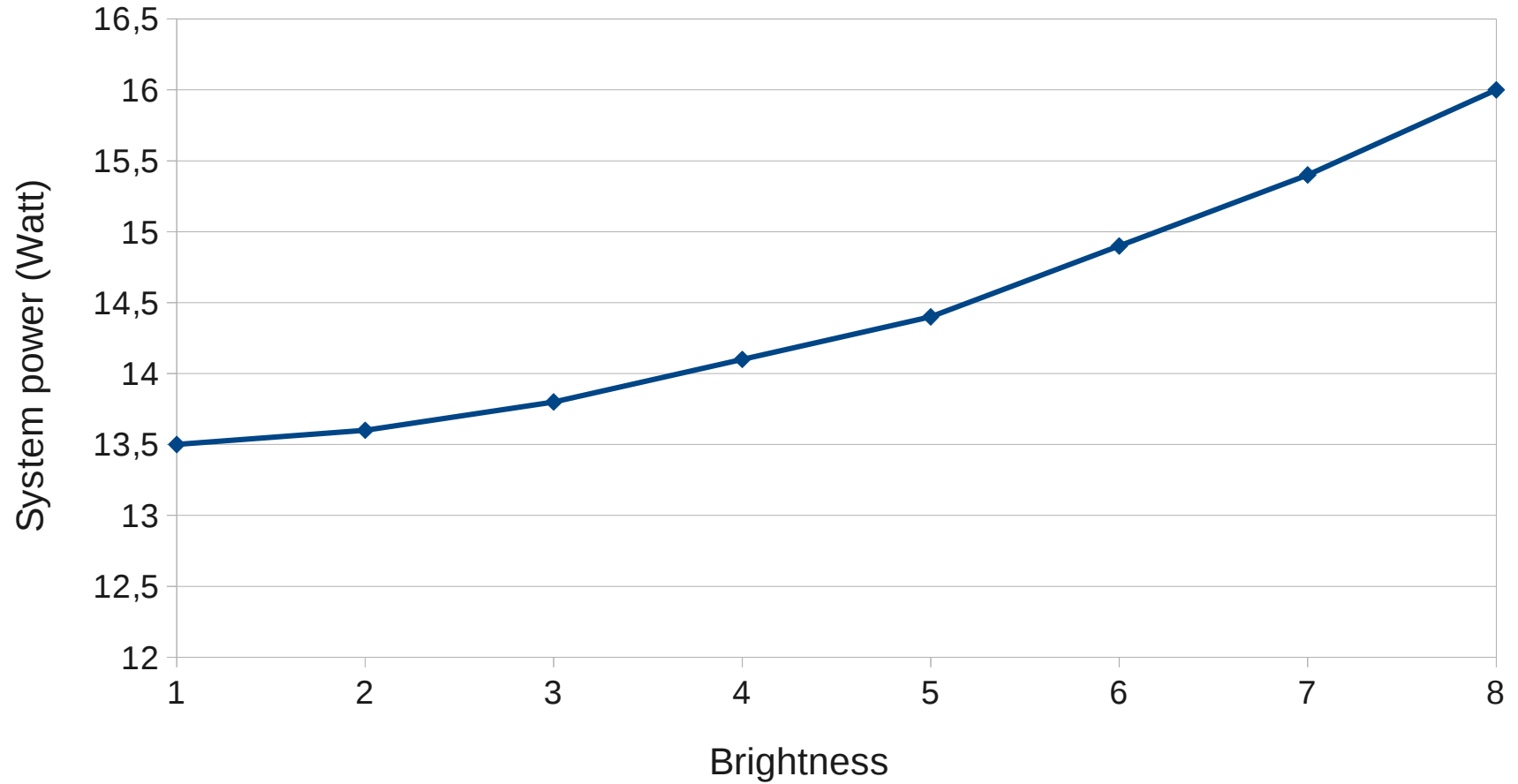
/etc/modprobe.d/blacklist.conf

```
# PCMCIA Kernel Module beim Bootup nicht laden
blacklist pcmcia
blacklist yenta_socket
blacklist pcmcia_core
blacklist pcmcia_rsrc
```

Use Case 2: IBM Thinkpad T42

	Standardeinstellungen		Optimiert	
	Power (Watt)	Temperatur	Power (Watt)	Temperatur
Idle	17,2	41 °C	16,0	39 °C
Play DVD	23,7	43 °C	22,1	41 °C
Video 720p, H264	26,3	53 °C	21,1	45 °C
Kernel kompilieren	32,3	69 °C	24,3	54 °C

Use Case 2: IBM Thinkpad T42



IBM Thinkpad T42, Pentium M 1,8 GHz, Bluetooth & WLAN activated,
PowerTop measurement

Use Case 2: IBM Thinkpad T42

Optimiert, Idle	Power (W)	C0 / C2 / C4	Wakeups/s
Bluetooth WLAN Brightness 8	16,0	1% / 99% / 0%	75
Bluetooth WLAN Brightness 4	14,1	1% / 99% / 0%	75
WLAN only	12,7	1% / 31% / 68%	70
WLAN disconnected	12,2	1% / 9% / 90%	62
WLAN disabled	11,5	1% / 2% / 97%	60

Use Case 3: N900 Linux Smartphone unter Maemo 5

- Bildschirmhelligkeit reduzieren
(Statusbar Brightness Applet)
- Bildschirmvibration deaktivieren
- Desktop Widgets sparsam verwenden
- GSM statt UMTS verwenden
(3G/2G Mode Selection Applet)
- Bluetooth / WLAN nur bei Bedarf einschalten
- Schiebetastatur sparsam verwenden
- Undervolten / SmartReflex aktivieren
(benötigt Enhanced Kernel)
- Hintergrunddienste de-priorisieren
- Virtuellen Speicher optimieren



Use Case 3: N900 Linux Smartphone unter Maemo 5

/home/user/.kernel/myconfig

```
MINFREQ=250
MAXFREQ=600
FREQS="0:22,90 250:28,180 500:30,360 550:33,400 600:36,430"
SMARTREFLEX_VDD1=1
SMARTREFLEX_VDD2=1
GOVERNOR=ondemand
IGNORE_NICE_LOAD=1
UP_THRESHOLD=80
SAMPLING_RATE=200000
POWERSAVE_BIAS=25
```

/home/user/startup.sh

```
# Kernel-Konfiguration laden
kernel-config load myconfig

# Desktop Prozesse im Standbymodus 'nicen'
renice 1 `cat /syspart/applications/standby/background/tasks`

# Virtual Memory optimieren
echo -n "50" > /proc/sys/vm/swappiness
echo -n "1" > /proc/sys/vm/page-cluster
echo -n "1" > /proc/sys/vm/laptop_mode
echo -n "1" > /proc/sys/vm/oom_kill_allocating_task
echo -n "5000" > /proc/sys/vm/dirty_expire_centisecs
echo -n "5000" > /proc/sys/vm/dirty_writeback_centisecs
echo -n "60" > /proc/sys/vm/dirty_background_ratio
echo -n "90" > /proc/sys/vm/dirty_ratio
echo -n "100" > /proc/sys/vm/vfs_cache_pressure
```


Nützliche Links

Tutorials, Anleitungen zum Stromsparen:

<http://www.lesswatts.org/index.php>

http://thinkpad-wiki.org/Linux_Stromsparen

http://www.thinkwiki.org/wiki/How_to_reduce_power_consumption

https://docs.fedoraproject.org/en-US/Fedora/14/html/Power_Management_Guide/index.html

<http://talk.maemo.org/showthread.php?t=49654>

Nützliche Tools:

<http://www.linux-phc.org/>

Linux PHC (Undervolting)

<http://www.linux-phc.org/wiki/doku.php>

Linux PHC Wiki

<http://www.linuxpowertop.org/powertop.php>

Powertop (offizielle Seite)

<http://pages.sbcglobal.net/redelm/>

cpuBURN (Erzeugen von Maximallast, Vorsicht!)

<http://sourceforge.net/projects/bltk/>

BLTK (Erzeugen reproduzierbarer Last)

http://samwel.tk/laptop_mode/

Laptop Mode Tools