

# Energieeffiziente Eingebettete Systeme: Dynamische Spannungs- und Frequenzskalierung

Ben Weckend, TU Bergakademie Freiberg

# Agenda

- i. Überblick: eingebettete Systeme
  - i. ASIC Design
- ii. Dynamischen Spannungs- und Frequenzskalierung
  - i. Frequenzskalierung
  - ii. Spannungsskalierung
    - i. Aufbau / Funktion Halbleiter und Transistor
- iii. Grundlegende Stromspar-Mechanismen
  - i. Energieeffizienz beim PCB Design
- iv. Fallstudie, Anwendungen und Zukunftsaussichten
- v. Schlussfolgerung

# Überblick: eingebettete Systeme

- **Kombination von Hardware und Software**, für bestimmte Funktion entwickelt.
- Anwendungen: Wetterstationen, Thermostate, ...
- ROM oder Flash?
- Mikrocontroller oder Mikroprozessor?



[1]

- Erster wichtiger Schritt: **ASIC Design!**

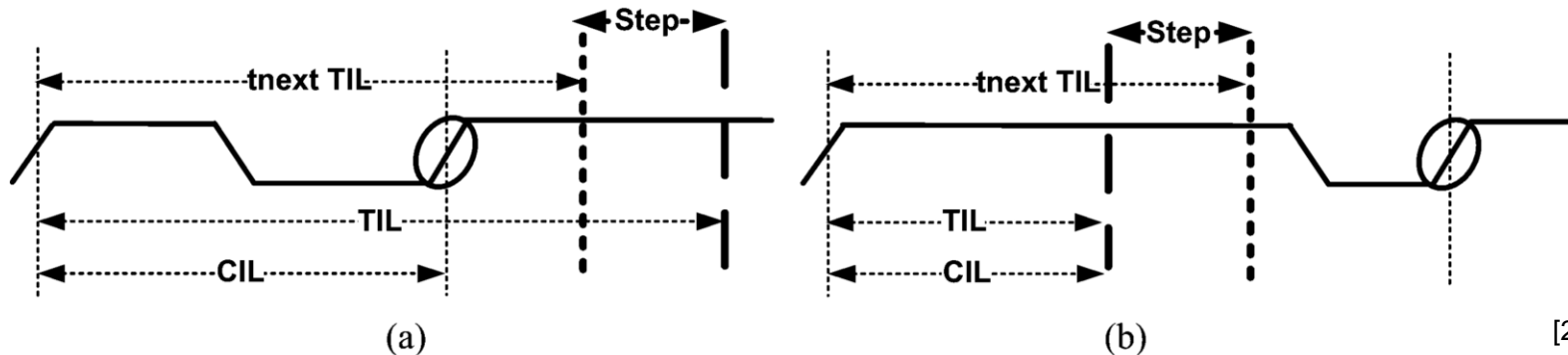
# Dynamischen Spannungs- und Frequenzskalierung

## Frequenzskalierung

- Echtzeitapplikationen:
  - Harte, feste und weiche Applikationen
- Frequenz Wahl: Kompromiss zwischen Leistung und Energieverbrauch

### Wie wird dynamisch skaliert?

- $TIL$  - target interval length &  $CIL$  - current interval length

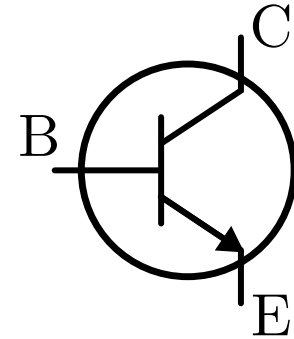
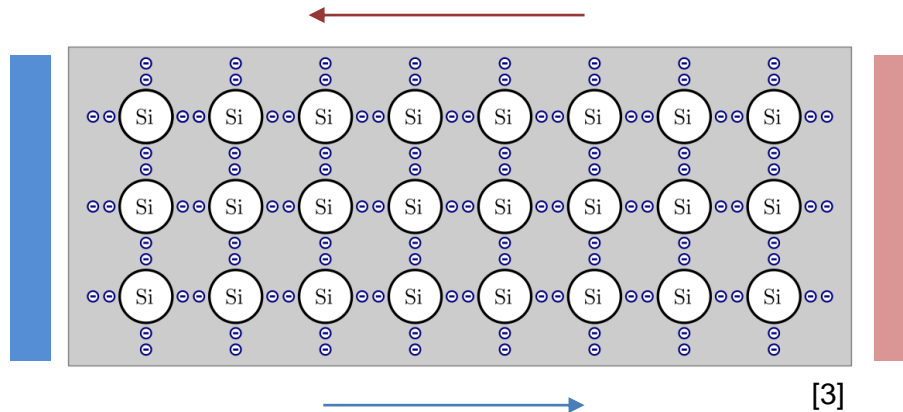


[2]

# Dynamischen Spannungs- und Frequenzskalierung

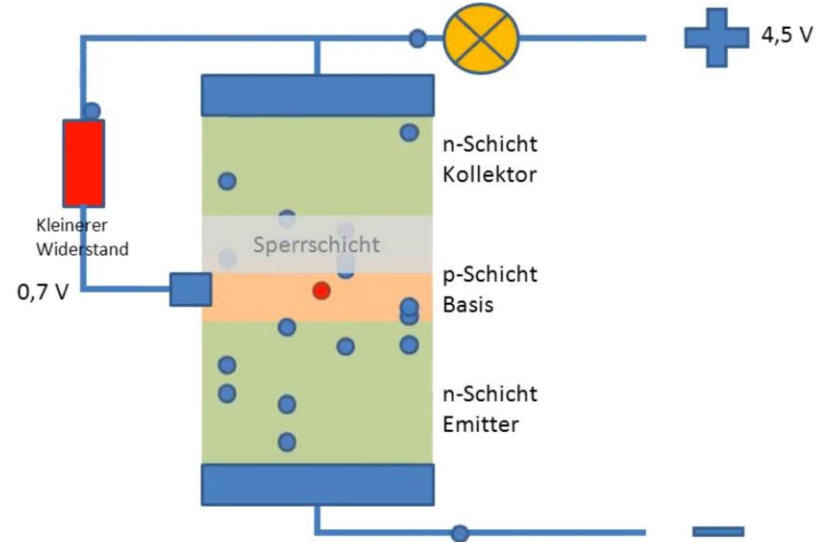
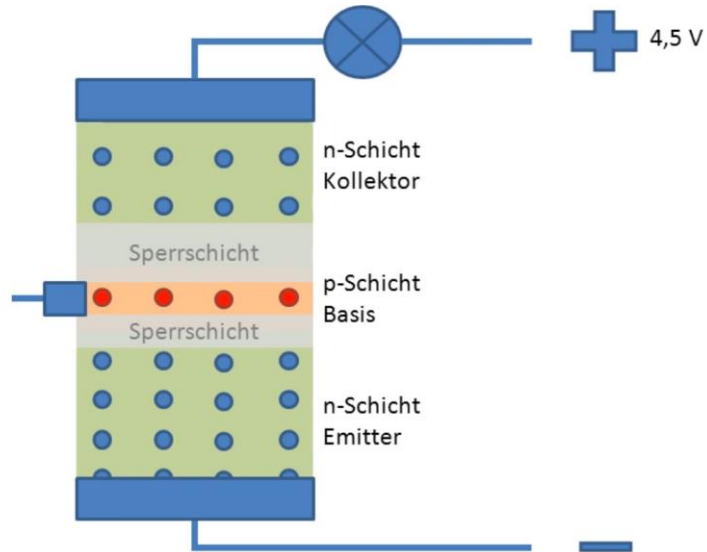
## Spannungsskalierung

- Strom sparen durch erhöhte Frequenz?
  - Unterschied statische und dynamische Leistung



# Dynamischen Spannungs- und Frequenzskalierung

## Aufbau / Funktion Halbleiter und Transistor



[4]

# Dynamischen Spannungs- und Frequenzskalierung

## Spannungsskalierung

Eine höhere Leistung bedeutet:

### PRO

- Verbesserte Leistungsfähigkeit
- Schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeit

### CONTRA

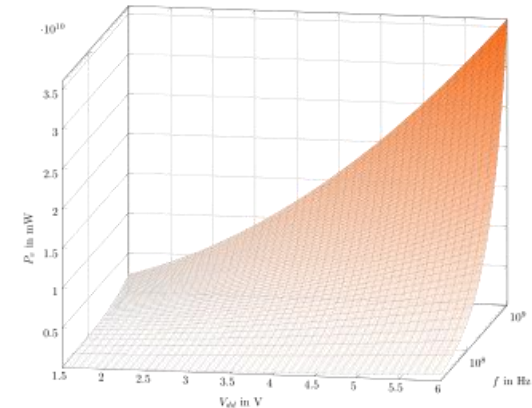
- Wärmeentwicklung
- Geringe Lebensdauer
- Erhöhter Energieverbrauch

[6]

CPU-Frequenz und Betriebsspannung eines Intel Pentium M

Prozessors	
Frequenz(GHz)	Spannung( $V_{CC}$ )
1.6	1.484
1.4	1.420
1.2	1.276
1.0	1.164
0.8	1.036
0.6	0.956

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



# Grundlegende Stromspar-Mechanismen

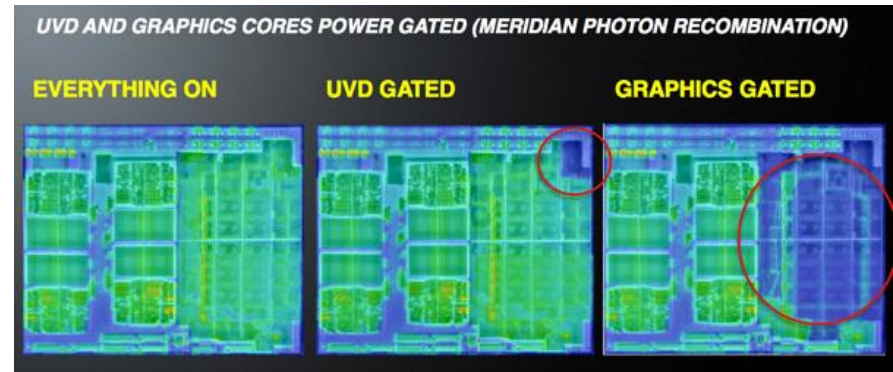
- Cache-Hierarchien optimieren
- Power Gating → deaktivieren bestimmter Bereiche
- Clock Gating → deaktivieren des Taktsignale zu bestimmten Teilen

## Sleepmodi:

- Idle
- Standby-Modus
- Power-Down-Modus

## Warum lohnt sich Clock Gating?:

- Schneller
- Granularität



[7]



# Grundlegende Stromspar-Mechanismen

## Energieeffizienz beim PCB Design

- Low-Power-Peripheriegeräte
- Optimierung der Stromversorgung
  - Durch den richtigen Spannungsregler
    - Linearregler oder Schaltregler
- Optimierung von Layout und Routing

# Fallstudie, Anwendungen und Zukunftsaussichten

## Anwendungen:

- Herzschrittmacher
- Sonde/Weltraum
- Armbanduhren und Handys



[8]

## Zukunftsaussichten:

- Feinere Granularität
- Heterogene Systeme



[9]

# Energieeffiziente Eingebettete Systeme: Dynamische Spannungs- und Frequenzskalierung

# Textquellen

- (1) IEEE „Dynamic Voltage and Frequency Scheduling for Embedded Processors Considering Power/Performance Tradeoffs”  
Autoren: Mostafa E. Salehi, Mehrzad Samadi, Mehrdad Najibi, Ali Afzali-Kusha, Masoud Pedram, and Sied Mehdi Fakhraie
- (2) IEEE „Dynamic Voltage and Frequency Management for a Low-Power Embedded Microprocessor”  
Autoren: Masakatsu Nakai, Satoshi Akui, Katsunori Seno, Tetsumasa Meguro, Takahiro Seki, Tetsuo Kondo, Akihiko Hashiguchi, Hirokazu Kawahara, Kazuo Kumano, and Masayuki Shimura
- (3) <https://de.wikipedia.org/wiki/Halbleiter>
- (4) <https://www.youtube.com/watch?v=EYTKQ3dkQ0w>
- (5) <https://reboundeu.com/de/insights/blog/embedded-systems-explained-16/>
- (6) <https://de.digi.com/blog/post/power-management-techniques-in-embedded-systems>
- (7) [https://fastercapital.com/de/thema/dynamische-spannung-und-frequenzskalierung-\(dvfs\).html](https://fastercapital.com/de/thema/dynamische-spannung-und-frequenzskalierung-(dvfs).html)
- (8) [https://de.wikipedia.org/wiki/Complementary\\_metal-oxide-semiconductor](https://de.wikipedia.org/wiki/Complementary_metal-oxide-semiconductor)
- (9) IEEE „Dynamic Voltage and Frequency Scaling For On-Demand Performance and Availability of Biomedical Embedded Systems”  
Autoren: Dejan Raskovic, Member, IEEE, and David Giessel, Member, IEEE
- (10) „Energieeffizienz von Prozessoren in high Performance Computing-Anwendungen der Ingenieur-Wissenschaften”  
Autor: Dmitry Khabi vom Institut für Höchstleistungsrechnen
- (11) IEEE “An Improved Power Gating Technique with Data Retention and Clock Gating”  
Autoren: Mohit Saini, Siddharth Shringi, Abhijit Asati
- (12) [https://www.mikrocontroller.net/articles/Sleep\\_Mode](https://www.mikrocontroller.net/articles/Sleep_Mode)
- (13) „The Impact of GPU DVFS on the Energy and Performance of Deep Learning: an Empirical Study”  
Autoren: Zhenheng Tang, Yuxin Wang, Qiang Wang, Xiaowen Chu
- (14) “A Case Study of Limited Dynamic Voltage Frequency Scaling in Low-Power Processors”  
Autoren: Hwan Su Jung, Ahn Jun Gil, Jong Tae Kim

# Bildquellen

- [1] [https://de.wikipedia.org/wiki/Eingebettetes\\_System#/media/Datei:DHCOM\\_Computer\\_On\\_Module\\_-\\_AM35x.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Eingebettetes_System#/media/Datei:DHCOM_Computer_On_Module_-_AM35x.jpg)
- [2] Dynamic Voltage and Frequency Scheduling for Embedded Processors Considering Power/Performance Tradeoffs  
Mostafa E. Salehi, Mehrzad Samadi, Mehrdad Najibi, Ali Afzali-Kusha, Masoud Pedram, and Sied Mehdi Fakhraie
- [3] <http://grund-wissen.de/physik/elektrizitaet-und-magnetismus/leiter-halbleiter-isolator.html>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=EYTKQ3dkQ0w>
- [5] <https://www.grund-wissen.de/elektronik/bauteile/transistor.html>
- [6] [https://de.wikipedia.org/wiki/Complementary\\_metal-oxide-semiconductor](https://de.wikipedia.org/wiki/Complementary_metal-oxide-semiconductor)
- [7] <https://www.anandtech.com/show/4444/amd-llano-notebook-review-a-series-fusion-apu-a8-3500m/4>
- [8] [https://www.st.com/content/st\\_com/en/arm-32-bit-microcontrollers/arm-cortex-m4.html](https://www.st.com/content/st_com/en/arm-32-bit-microcontrollers/arm-cortex-m4.html)
- [9] <https://www.notebookcheck.com/NVIDIA-GeForce-RTX-2080-Ti-Desktop.400706.0.html>