

# Betriebssysteme (BS)

## VL 3.3 – Unterbrechungen, Hardware – x86

**Volkmar Sieh / Daniel Lohmann**

Lehrstuhl für Informatik 4  
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen Nürnberg

WS 20 – 9. November 2020



[https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS20/V\\_BS](https://www4.cs.fau.de/Lehre/WS20/V_BS)

# Unterbrechungen bei x86 CPUs



# Unterbrechungen bei x86 CPUs

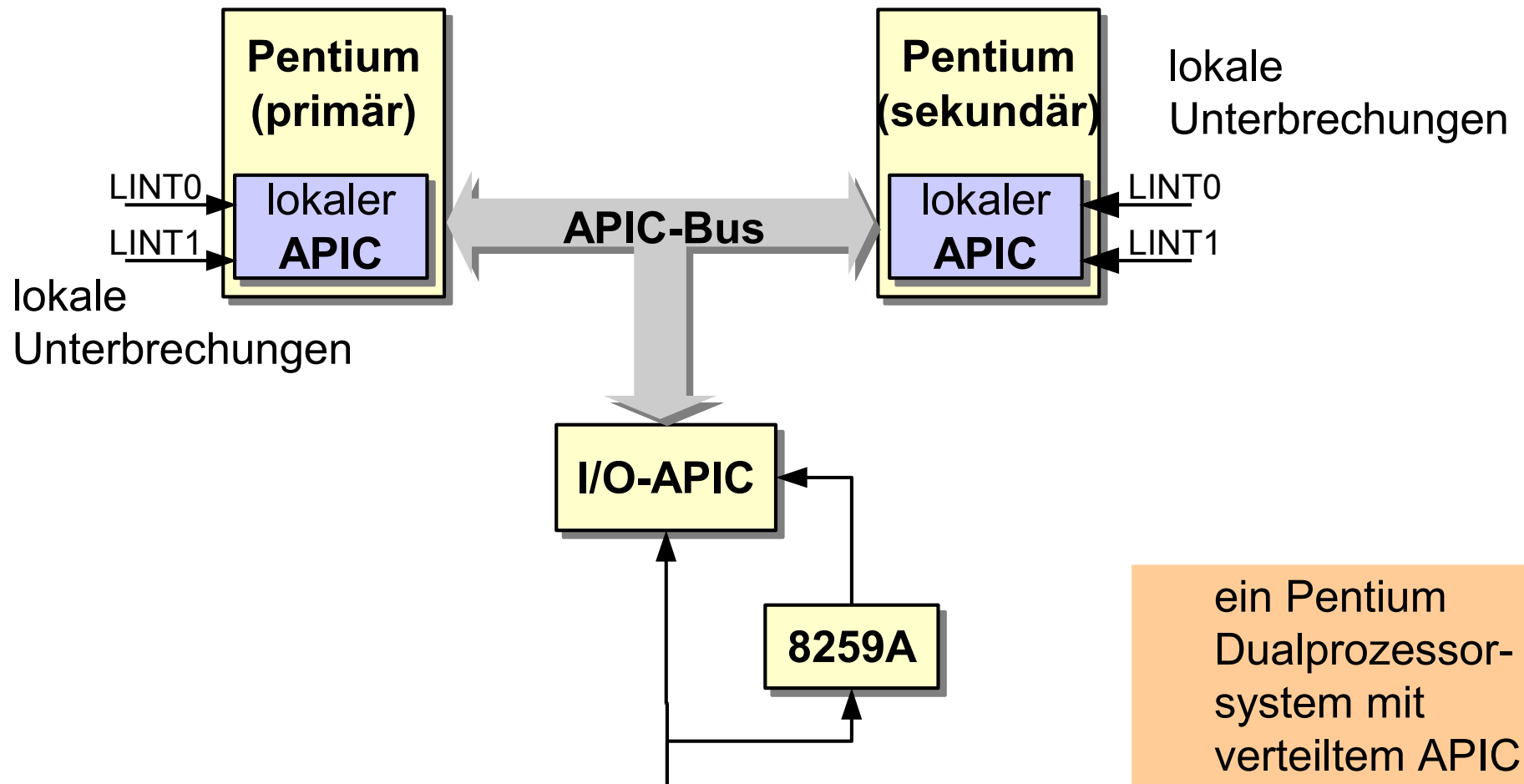
---

- bis einschließlich i486 hatten x86 CPUs nur einen IRQ und einen NMI Eingang
- externe Hardware sorgte für die Priorisierung und Vektornummerngenerierung
  - durch einen Chip namens **PIC 8259A**
    - 8 Interrupt-Eingänge
    - 15 Eingänge bei Kaskadierung von zwei PICs
    - keine Multiprozessorunterstützung
- heutige x86 CPUs enthalten den weit leistungsfähigeren „**Advanced Programmable Interrupt Controller**“ (**APIC**)
  - notwendig für **Multiprozessorsysteme**
  - inzwischen aber auch in allen Einprozessorsystemen aktiv
    - natürlich gibt es den PIC 8259A noch immer 😊



# Die APIC Architektur

- ein APIC *Interrupt*-System besteht aus lokalen APICs auf jeder CPU und einem I/O APIC



ein Pentium Dualprozessorsystem mit verteiltem APIC Interrupt-System

## Unterbrechungsanforderungen



# Der I/O APIC

---

- heute typischerweise in der *Southbridge* von PC Chipsätzen integriert
- normalerweise 24 *Interrupt*-Eingänge
  - zyklische Abfrage (Round-Robin Priorisierung)
- für jeden Eingang gibt es einen 64 Bit Eintrag in der ***Interrupt Redirection Table***
  - beschreibt das Unterbrechungssignal
  - dient der Generierung der APIC-Bus Nachricht



# Der I/O APIC

## Aufbau (Bits) eines Eintrags in der *Interrupt Redirection Table*

63:56	<b>Destination Field</b> je nach Bit 11:	– R/W. 8 Bit Zieladresse. APIC ID der CPU ( <i>Physical Mode</i> ) oder CPU Gruppe ( <i>Logical Mode</i> )
55:17	<reserviert>	
16	<b>Interrupt-Mask</b>	– R/W. Unterbrechungssperre.
15	<b>Trigger Mode</b>	– R/W. <i>Edge-</i> oder <i>Level-Triggered</i>
14	<b>Remote IRR</b>	– RO. Art der erhaltenen Bestätigung
13	<b>Interrupt Pin Polarity</b>	– R/W. Signalpolarität
12	<b>Delivery Status</b>	– RO. Interrupt-Nachricht unterwegs?
11	<b>Destination Mode</b>	– R/W. <i>Logical Mode</i> oder <i>Physical Mode</i>
10:8	<b>Delivery Mode</b>	– R/W. Wirkung bei Ziel-APIC
	000 – <i>Fixed</i> :	Signal an alle Zielprozessoren ausliefern
	001 – <i>Lowest Priority</i> :	Liefern an CPU mit aktuell niedrigster Prio.
	010 – SMI:	<i>System Management Interrupt</i>
	100 – NMI:	<i>Non-Maskable Interrupt</i>
	101 – INIT:	Ziel-CPU initialisieren (Reset)
	111 – ExtINT:	Antwort an PIC 8259A
7:0	<b>Interrupt Vector</b>	– R/W. <b>8 Bit Vektornummer (16 – 254)</b>

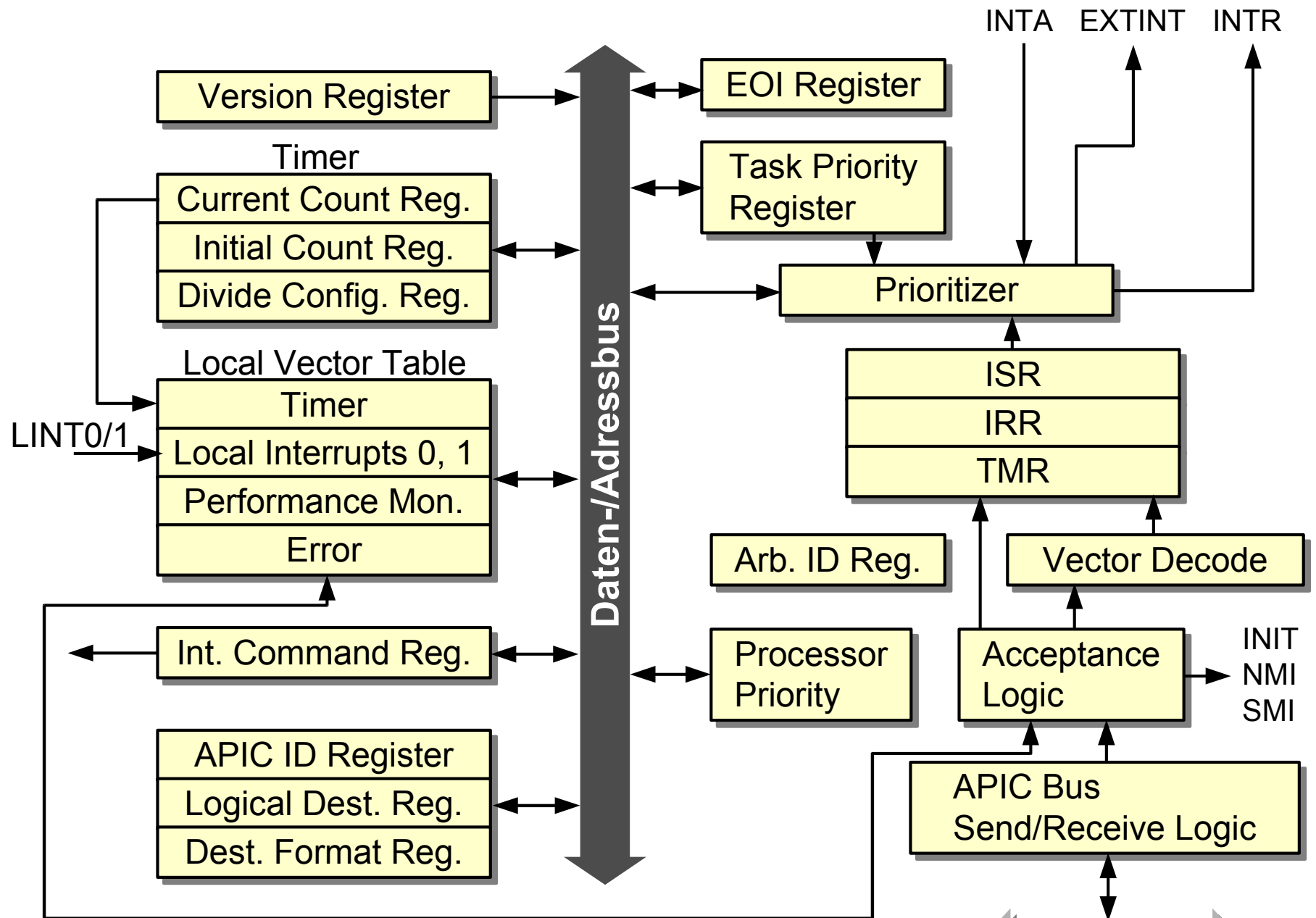
# Local APICs

---

- empfangen Unterbrechungsanforderungen vom APIC Bus
- führen die Auswahl und Priorisierung durch
- können zwei lokale Unterbrechungen direkt verarbeiten
- enthalten weitere Funktionseinheiten
  - Eingebauten *Timer, Performance Counter*
  - *Command-Register*
    - um selber APIC-Nachrichten zu verschicken
    - insbesondere Inter-Prozessor-Interrupt (IPI)
- programmierbar über 32 Bit Register ab 0xfee00000
  - memory mapped (ohne externe Buszyklen)
  - jede CPU programmiert „ihren“ *Local APIC*



# Local APICs - Register



# APIC Architektur - Zusammenfassung

---

- flexible Verteilung an CPUs im x86 Multiprozessorsystem
  - fest, Gruppen, an die CPU mit der geringsten Priorität
  - Liegen mehrere IRQs an, so wird nach Vektornummer priorisiert
- Vektornummer 16-254 können frei zugeordnet werden
  - sollte (an sich) reichen, um „sharing“ zu vermeiden
- *Local* APIC erwartet explizites EOI
  - dafür muss die Software sorgen
- Mit APIC unterstützt x86 prinzipiell auch Prioritätsebenen
  - Systemsoftware muss jedoch entsprechend agieren (Unterbrechungen freigeben, evtl. *Task-Priority-Register* verwenden)



# Agenda

---

Einordnung  
Grundlagen  
Hardware-Architekturen  
**Zusammenfassung**



# Zusammenfassung und Ausblick

---

- Unterbrechungsbehandlungshardware befasst sich mit ...
  - Priorisierung
  - Zuordnung und Ausführung einer Behandlungsroutine
  - Zustandssicherung und geschachtelter Ausführung
- moderne Unterbrechungsbehandlungshardware kann ...
  - Unterbrechungsvektoren frei zuordnen
  - „*sharing*“ von Unterbrechungsvektoren vermeiden
  - Unterbrechungen im Multiprozessorsystem flexibel zuordnen
- das Betriebssystem muss ...
  - Probleme wie „*spurious interrupts*“ und „*interrupt storms*“ einkalkulieren.
  - das eingetretene Ereignis aus der Behandlungsroutine an die höheren Ebenen und letztendlich zum Anwendungsprozess weiterleiten.

