

### 3.1 Elementare Datentypen, Operationen und ihre Realisierung (siehe 2.1)

### 3.2 Mikroprogrammierung

### 3.3 Einfache Implementierung von MIPS

### 3.4 Pipelining

### 3.5 Superskalare Befehlsausführung

JR - RA - SS02

Kap. 3.4

1

## Superskalarprozessoren

### Erinnerung:

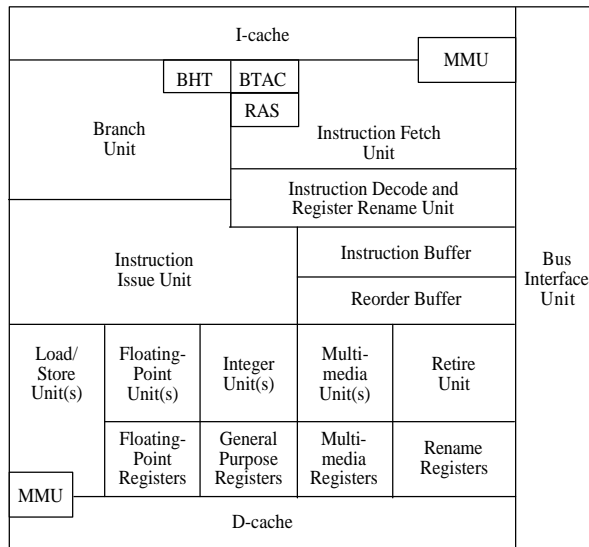
- Scoreboarding und Tomasulo sind die beiden single-issue Techniken, die out-of-order Ausführung ermöglichen
- Tomasulo ist ausgereifter, da es WAW und WAR Hazards auflöst und nicht nur behandelt (scoreboarding)
  
- Bisher: single-issue Prozessoren
- Jetzt: multiple-issue Prozessoren, d.h. superscalar und VLIW Proz.
  - Die meisten heutigen Mikroprozessoren ordnen 4 bis 8 Befehle gleichzeitig an die FEs zu, mit erweitertem Tomasulo Algorithmus
  - VLIW wird häufig in Signalprozessoren eingesetzt.
  - VLIW wird von Intel als EPIC (explicitly parallel instruction computing) by Architektur (IA-64 ISA) in Itanium Prozessoren eingesetzt.

JR - RA - SS02

Kap. 3.4

2

### Komponenten eines Superskalarprozessors

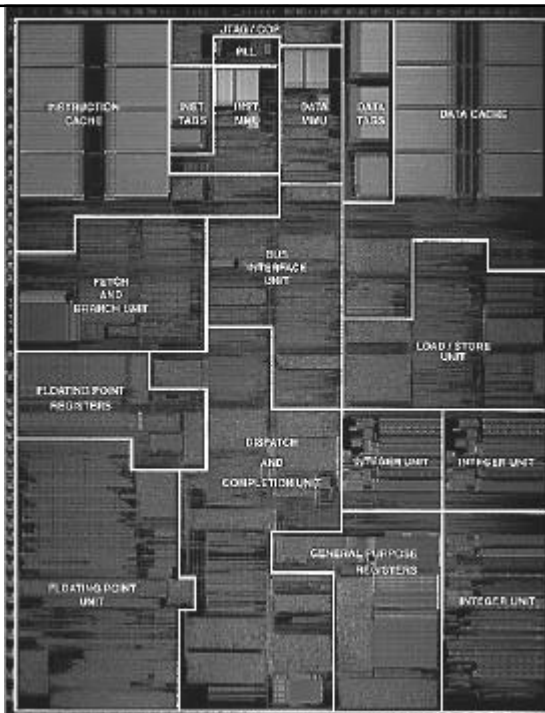


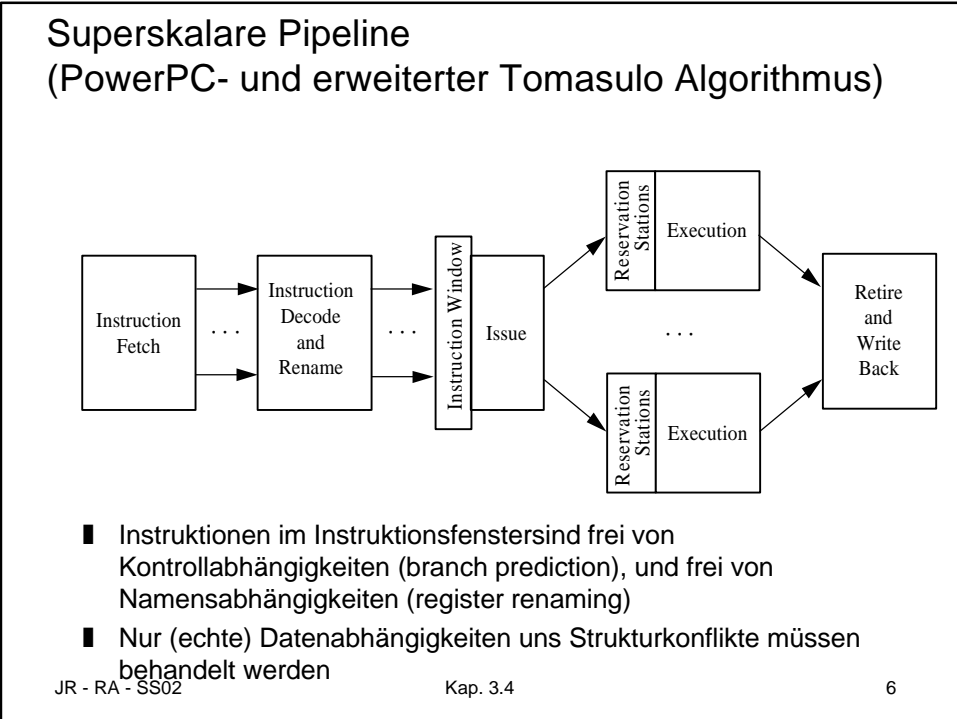
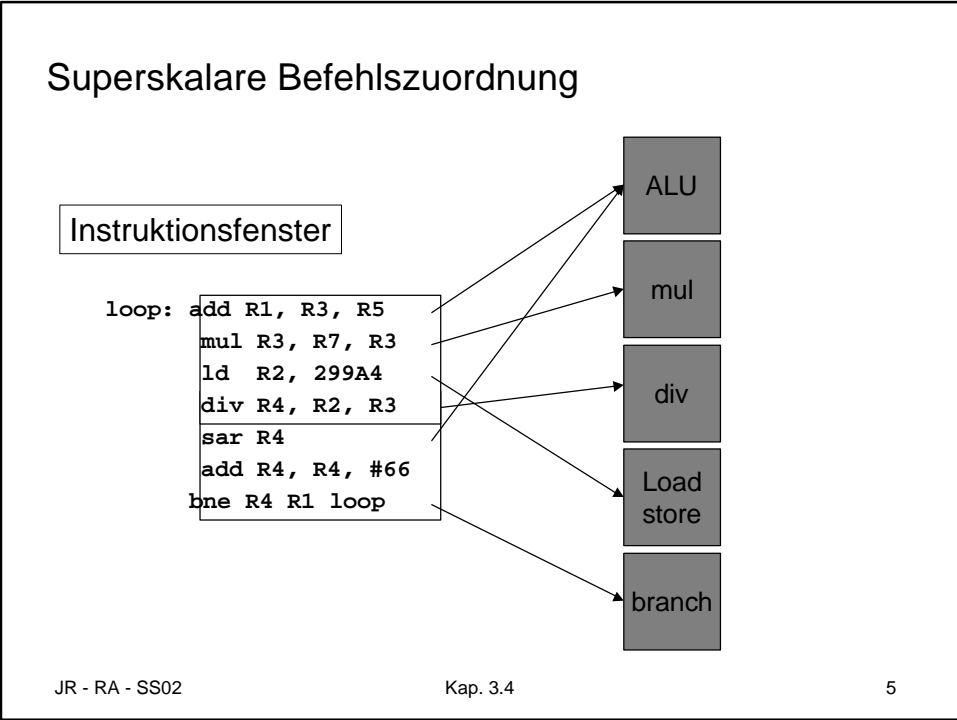
JR - RA - SS02

Kap. 3.4

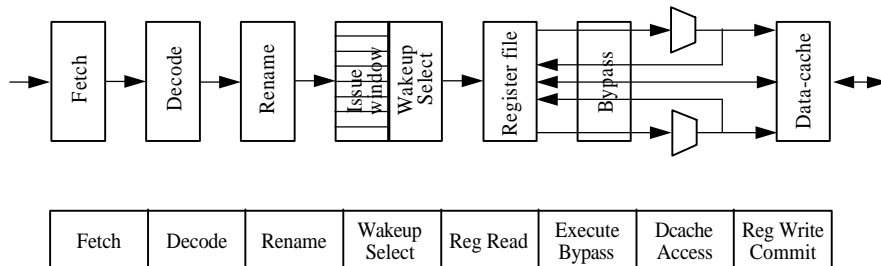
3

Floorplan des PowerPC 604





## Superskalare Pipeline ohne Reservation Stations



JR - RA - SS02

Kap. 3.4

7

## Issue (Zuweisung)

- Die **Zuweisungslogik** untersucht die wartenden Befehle im Befehlsfenster und weist sie simultan den FEs zu (Zuordnungsbandbreite = Zahl der zugewiesenen Instruktionen pro Zyklus)
- Die Programmreihenfolge der zugewiesenen Instruktionen wird im reorder buffer gespeichert
- die Instruktionzuweisung :
  - kann **in-order** oder **out-of-order** sein
  - berücksichtigt Datenabhängigkeiten und Ressourcenbeschränkungen
  - kann in mehrere Stufen eingeteilt werden
    - prüfen der Strukturkonflikte / prüfen der Datenabhängigkeiten
    - evl. Werden Datenabhängigkeiten in reservation stations (RS) vor den funktionalen Einheiten (FE) behandelt

JR - RA - SS02

Kap. 3.4

8

## Reservation Station(s)

- Verschiedene Definitionen in der Literatur:
  - A **reservation station** is a buffer for a **single** instruction with its operands (original Tomasulo paper, Flynn's book, Hennessy/Patterson book).
  - A **reservation station** is a buffer (in front of one or more FUs) with **one or more entries** and each entry can buffer an instruction with its operands (e.g. PowerPC literature).
- Abhängig vom Prozessor sind RS Puffer für mehrere FEs oder jede FE hat ihre eigene RS
- Befehle warten auf ihre Operanden in den RS wie in Tomasulos Algorithmus

## Dispatch (PowerPC- and enhanced Tomasulo-Scheme)

- Eine Instruktion wird „**dispatched**“ von einer RS in die FE wenn alle Operanden zur Verfügung stehen und die Ausführung beginnt
- Sind alle Operanden verfügbar und die FE ist nicht aktiv, dann startet die Ausführung direkt im Zyklus nach der Zuordnung
- ..., d.h. „dispatch“ ist normalerweise keine Pipelinestufe
- Ein Befehl wartet in einer RS keinen bis mehrere Zyklen
- Dispatch und Ausführung werden nicht zwingend in der Programmreihenfolge durchgeführt
- Es gibt auch andere Definitionen von „dispatch“

## Completion

- Wenn die FE die Ausführung beendet hat und das Ergebnis bereit steht zum Zurückschreiben (evl. Forwarding), dann heißt sie „**complete**“.
- Befehlsbeendigung findet nicht in der Programmreihenfolge statt.
- Während der Beendigung wird die RS freigegeben und der Zustand der Ausführung wird im **reorder buffer** abgelegt

## Commitment ("Verbindlichkeit")

- Nach der Beendigung werden die Befehle in ihre Programmreihenfolge zurücksortiert (**committed**)
- Ein Befehl kann zurücksortiert werden:
  - wenn alle vorherigen Instruktionen bereits zurücksortiert wurden oder im aktuellen Zyklus zurücksortiert werden können
  - wenn kein Interrupt vor der Instruktion stattgefunden hat
  - wenn sich der Befehl nicht mehr auf einem spekulativen Pfad befindet (branch prediction)
- Durch das Zurücksortieren wird das Ergebnis endgültig in das Zielregister geschrieben,
  - üblicherweise durch das Rückschreiben des Wertes aus einem Renameregister in ein Architekturregister

## Retirement ("Ruhestand")

- Ein Befehl „geht in den Ruhestand“ (**retires**) wenn der entsprechende Eintrag im reorder buffer freigegeben wird
  - weil die Instruktion committed wird (Ergebnisse werden permanent gemacht)
  - weil die Instruktion entfernt wird (Ergebnisse werden verworfen)

## Definition "Superscalar"

### ■ Definition:

**Superscalar machines are distinguished by their ability to (dynamically) issue multiple instructions each clock cycle from a conventional linear instruction stream.**

- Im Gegensatz zu VLIW Prozessoren; diese benutzen ein langes Befehlsword das eine feste Anzahl von Befehlen enthält, die gleichzeitig geladen, dekodiert, zugewiesen und ausgeführt werden

## Zusammenfassung

- Befehle werden aus einem sequentiellen Befehlsstrom entnommen und dynamisch von der Hardware and FEs zugewiesen
- Es kann mehr als ein Befehl zugeordnet werden (deshalb superskalar im Gegensatz zu skalar)
- Die Zahl der Befehle, die gleichzeitig zugewiesen wird, ist von der Hardware bestimmt und definiert die maximale Zuordnungsbandbreite
- Die Zuordnung kann in oder außerhalb der Programmreihenfolge stattfinden
- Einr Voraussetzung ist die Existenz mehrerer funktionaler Einheiten
- Die superskalar Technik ist eine Mikroarchitekturtechnik, kein externes Architekturmerkmal

JR - RA - SS02

Kap. 3.4

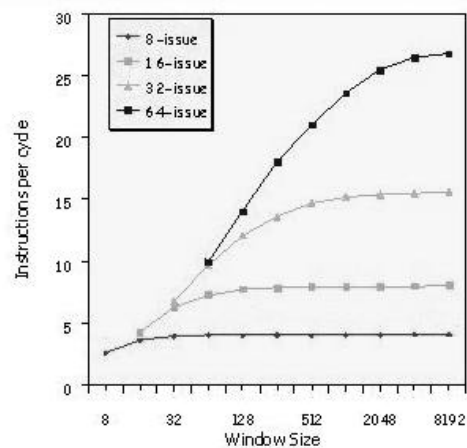
15

## Zuordnungsbandbreite und Fenstergröße

- Wie viel Befehlsebenenparallelität steckt in Programmen (Spec95)?

- optimale Fetch-Einheit
- perfekte Zuordnungseinheit
- perfekte Sprungvorhersage
- jede FE mit eigener Pipeline
- realistische Latenzzeiten

[Gupta et. al]



JR - RA - SS02

Kap. 3.4

16