LE 11
1

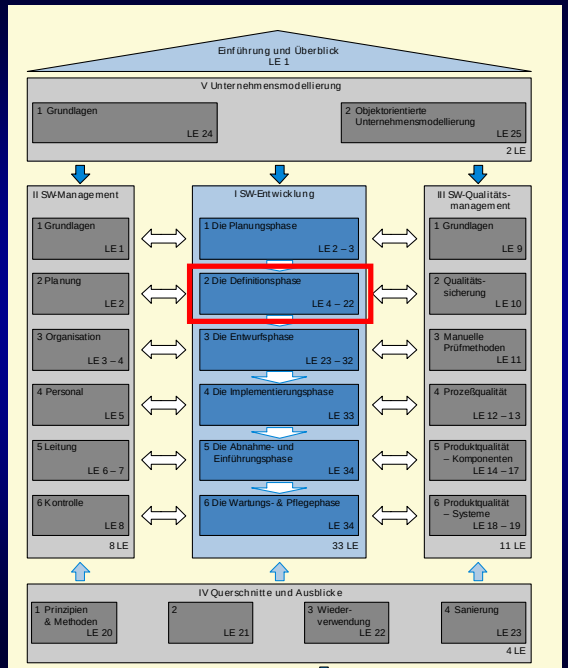
Software-Technik

10 Die Definitionsphase Zustandsorientierte Sicht 1

Prof. Dr. Helmut Balzert
Lehrstuhl für Software-Technik
Ruhr-Universität Bochum

© Helmut Balzert 2001

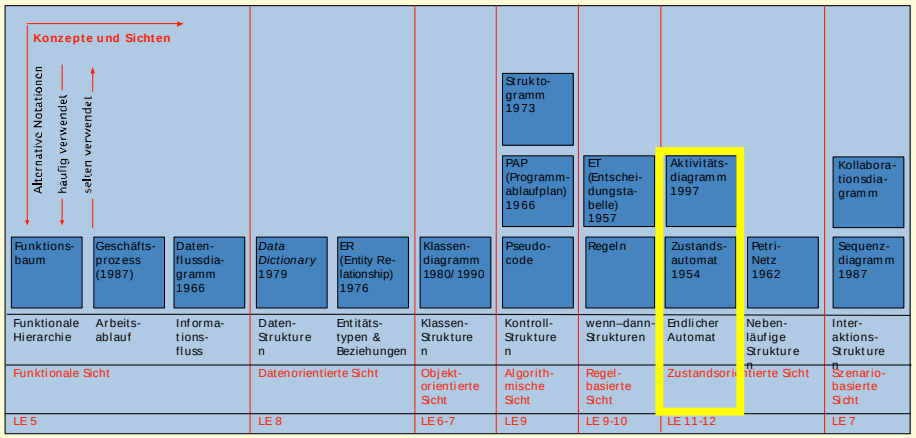
LE 11
2



LE 11
3

Inhalt

- Basiskonzepte: Zustandsorientierte Sicht



LE 11
4

Inhalt

2.16 Zustandsautomaten
2.16.1 Erstellung eines Zustandsautomaten
2.16.2 Alternative Notationen
2.16.3 Zustandsautomat mit Endzuständen
2.16.4 Mealy-Automat vs. Moore-Automat
2.16.5 Zustandsautomat nach Harel
2.16.6 Zustandsautomaten in der objektorientierten Welt
2.16.7 Aktivitätsdiagramme
2.16.8 Einsatz von CASE-Werkzeugen.

LE 11
5

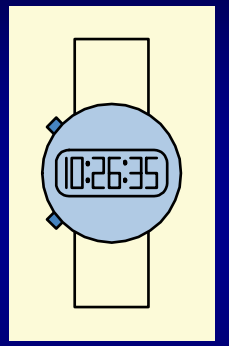
2.16 Zustandsautomaten

- Automat
  - Technisches Gerät, das zu einer Eingabe ein bestimmtes Ergebnis ausgibt
- Zustandsautomat (»endlicher Automat«)
  - Abhängigkeit der Ausgabe von der Historie des Systems
  - Besteht aus einer endlichen Anzahl von internen Konfigurationen (Zuständen)
- Zur Historie:
  - Entwickelt von Huffmann, Moore und Mealy in den Jahren von 1954 bis 1956
  - Idee entstand in Anlehnung an neurale Netze.

LE 11
6

2.16.1 Erstellung eines Zustandsautomaten

- Beispiel
  - Modellierung des Stellens der Uhrzeit einer Digitaluhr mit 2 Einstell-Druckknöpfen
  - Knopf 1
    - Erlaubt es, den Stellmodus (Normalzeit, Stunden stellen, Minuten stellen, Sekunden stellen) sequentiell zu wählen
  - Knopf 2
    - Ermöglicht das Einstellen der Zeit entsprechend dem gewählten Stellmodus.



LE 11
7

2.16.1 Erstellung eines Zustandsautomaten

- 1. Identifikation der Zustände, der Eingaben/ Ereignisse und der Ausgaben/Ergebnisse
  - Zustände
    - Zustand Normalzeit: Nach Einlegen der Batterie
    - Zustand Stunden stellen: Stunden einstellbar
    - Zustand Minuten stellen: Minuten einstellbar
    - Zustand Sekunden stellen
  - Ereignisse
    - Startsignal: Wenn Batterie eingelegt wird
    - Knopf 1 gedrückt: Wenn Knopf 1 gedrückt wird
    - Knopf 2 gedrückt: Wenn Knopf 2 gedrückt wird
    - Es können nicht beide Knöpfe gleichzeitig gedrückt werden.

LE 11
8

2.16.1 Erstellung eines Zustandsautomaten

- Ausgaben/Ergebnisse
  - Stunden blinken
    - Um anzuzeigen, dass der Bediener jetzt in dem Zustand ist, in dem er die Stunden verstellen kann
  - Minuten blinken
  - Sekunden blinken
  - Stunden erhöhen
    - Um 1 erhöhte Anzeige der Stunde
  - Minuten erhöhen
  - Sekunden stellen
    - Anzeige von 00 als Sekundenanzeige
  - Initialisierung
    - Anzeige von 00:00:00.

LE 11
9

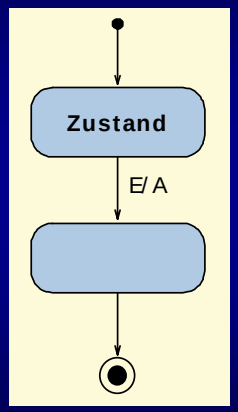
2.16.1 Erstellung eines Zustandsautomaten

- 2. Festlegung der Zustandsübergänge
  - Wenn das Startsignal auftritt
    - dann soll das System in den Zustand Normalzeit übergehen und
    - die Aktion Initialisierung durchführen
  - Wenn der Knopf 1 gedrückt wird und das System ist im Zustand Normalzeit
    - dann soll als Aktion Stunden blinken ausgeführt werden und
    - der Zustand Stunden stellen eingenommen werden
  - In dieser Form überlegt man sich die Übergänge.

LE 11
10

2.16.2 Alternative Notationen

- Zustandsdiagramm

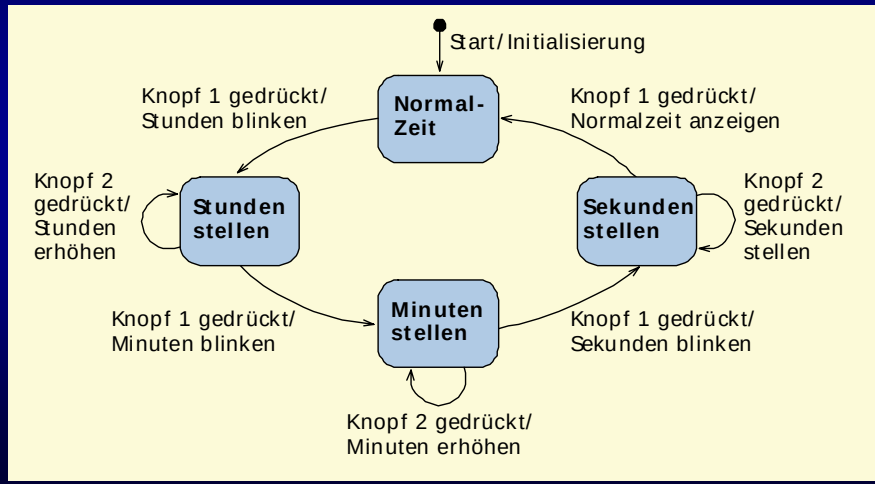


- Zustandstabelle
- Zustandsmatrix.

LE 11
11

2.16.2 Alternative Notationen

- 3. Zustandsautomat zeichnen
  - Zustandsautomat für das Beispiel »Uhr stellen«



LE 11
12

2.16.2 Alternative Notationen

- Zustandstabelle
  - Darstellung als Tabelle oder Matrix
  - Erforderlich, wenn die zeichnerische Darstellung zu unübersichtlich wird
  - Wenn möglich auf Tabellen- oder Matrizendarstellung verzichten
  - Zustandstabelle von »Uhr stellen«

Aktueller Zustand	Ereignis	Aktion	Folgezustand
	Start	Initialisierung	Normalzeit
Normalzeit	Knopf 1 gedrückt	Stunden blinken	Stunden stellen
Stunden stellen	Knopf 1 gedrückt	Minuten blinken	Minuten stellen
	Knopf 2 gedrückt	Stunden erhöhen	Stunden stellen
Minuten stellen	Knopf 1 gedrückt	Sekunden blinken	Sekunden stellen
	Knopf 2 gedrückt	Minuten erhöhen	Minuten stellen
Sekunden stellen	Knopf 1 gedrückt	Normalzeit anzeigen	Normalzeit
	Knopf 2 gedrückt	Sekunden stellen	Sekunden stellen

LE 11
13

2.16.2 Alternative Notationen

- Zustandsmatrix von »Uhr stellen«

ZustandEreignis	Start	Knopf 1 gedrückt	Knopf 2 gedrückt
	Initialisierung		
	Normalzeit		
Normalzeit		Stunden blinken	
		Stunden stellen	
Stunden stellen		Minuten blinken	Stunden erhöhen
		Minuten stellen	Stunden stellen
Minuten stellen		Sekunden blinken	Minuten erhöhen
		Sekunden stellen	Minuten stellen
Sekunden stellen		Normalzeit anzeigen	Sekunden stellen
		Normalzeit	Sekunden stellen

Legende: Aktion / Folgezustand

LE 11
14

2.16.2 Alternative Notationen

- Alternative Zustandsmatrix von »Uhr stellen«

Zu Zustand von Zustand	Normalzeit	Stunden stellen	Minuten stellen	Sekunden stellen
Start	Start			
	Initialisierung			
Normalzeit		Knopf 1 gedrückt		
		Stunden blinken		
Stunden stellen		Knopf 2 gedrückt	Knopf 1 gedrückt	
		Stunden erhöhen	Minuten blinken	
Minuten stellen			Knopf 2 gedrückt	Knopf 1 gedrückt
			Minuten stellen	Sekunden blinken
Sekunden stellen	Knopf 1 gedrückt			Knopf 2 gedrückt
	Normalzeit anzeigen			Sekunden stellen

Legende: Ereignis

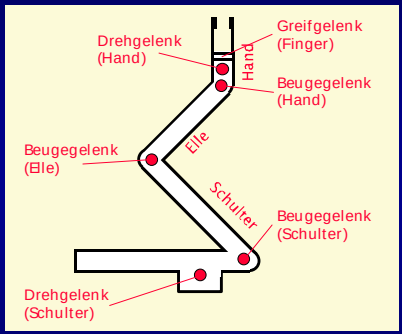
LE 11
15

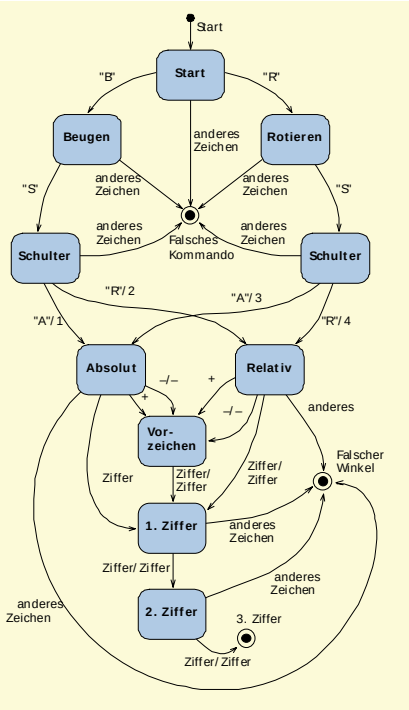
2.16.3 Zustandsautomat mit Endzuständen

- Beispiel »Roboteranimation«
  - Der Roboter soll mit folgenden Kommandos gesteuert werden:
    - BSA = Beugen Schulter Absolut (Ausgabe: 1)
    - BSR = Beugen Schulter Relativ (Ausgabe: 2)
    - RSA = Rotieren Schulter Absolut (Ausgabe: 3)
    - RSR = Rotieren Schulter Relativ (Ausgabe: 4)
    - An die Roboteranimation soll je nach erkanntem Kommando die entsprechende Kommandonummer übergeben werden (1, 2, 3 oder 4)
    - Im Anschluß an das Kommando kommt optional ein + oder – Zeichen gefolgt von einer dreistelligen Zahl.

LE 11
16

2.16.3 Zustandsautomat





LE 11
17

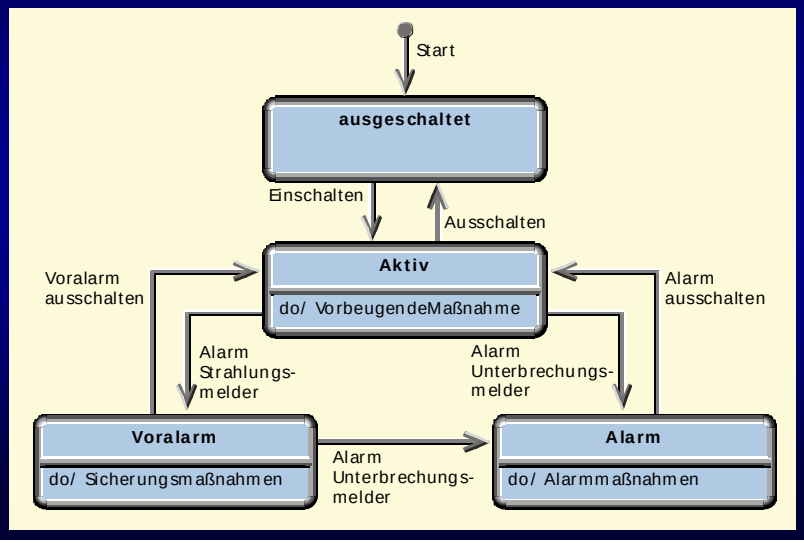
2.16.4 Mealy-Automat vs. Moore-Automat

- Bisher **Mealy-Automaten:**
  - Die Ausgaben bzw. Aktionen sind an die **Zustandsübergänge gekoppelt**
  - Vorstellung:
    - Übergänge benötigen kurze **Zeitdauer**
    - **Zustände** repräsentieren **Zeitperioden bzw. Zeitintervalle**
  - **Übergänge** stellen **Zeitpunkte** dar, an denen sich die Verhaltensweise ändert
- Beim **Moore-Automaten:**
  - Ausgaben bzw. Aktionen an die **Zustände gebunden**
  - In einem Zustandsdiagramm werden die Ausgaben unterhalb der Zustandsnamen eingezeichnet.

LE 11
18

2.16.4 Mealy-Automat vs. Moore-Automat

- Moore-Automat für eine Alarmanlage



LE 11
19

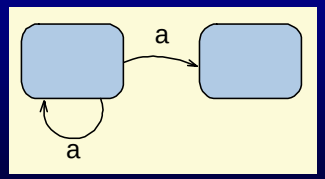
2.16.4 Mealy-Automat vs. Moore-Automat

- Mealy- und Moore-Automaten sind **äquivalent**
  - Sie können jeweils ineinander überführt werden
  - Voraussetzung für einen **Moore**-Automaten
    - In dem jeweiligen Zustand erfolgt genau eine Ausgabe bzw. eine Aktion
  - Ein Moore-Automat lässt sich in einen äquivalenten Mealy-Automaten transformieren
    - An jeden Zustandsübergang wird diejenige Ausgabe gekoppelt, die im Moore-Automat von dem Zustand generiert wird, der nach dem Zustandsübergang angenommen wird.

LE 11
20

2.16.4 Mealy-Automat vs. Moore-Automat

- Mealy- und Moore-Automaten sind **deterministische** Automaten
  - Von einem Zustand aus gibt es zu einer Eingabe höchstens einen Zustandsübergang
- **Nichtdeterministische** Automaten
  - Von einem Zustand aus gibt es bei derselben Eingabe null, eine oder mehr Zustandsübergänge



  - Spielen in der Software-Technik keine Rolle.

LE 11
21

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

- Zur Historie
  - **Prof. Dr. David Harel**
    *12.4.1950 in London
    Professor für Mathematik am Weizmann-Institut in Rehovot, Israel
  - Erfinder des Harel-Automaten *(statecharts)* (1983, veröffentlicht 1987)
  - Mitentwickler des Statemate-CASE-Systems (1984-1987, veröffentlicht 1988 und später).

LE 11
22

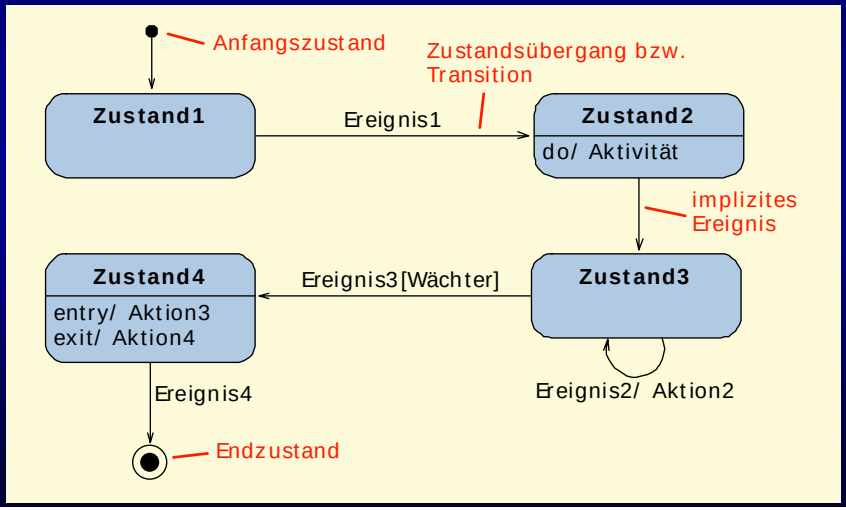
2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

- Erweiterung der bisherigen Konzepte
  - Modellierung komplexer Zusammenhänge
  - Neue Konzepte des **Harel-Automaten**
    - Hybride Zustandsautomaten
    - Bedingte Zustandsübergänge
    - Hierarchische Zustandsautomaten
    - Zustände mit Gedächtnis
    - Nebenläufige Zustände.

LE 11
23

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

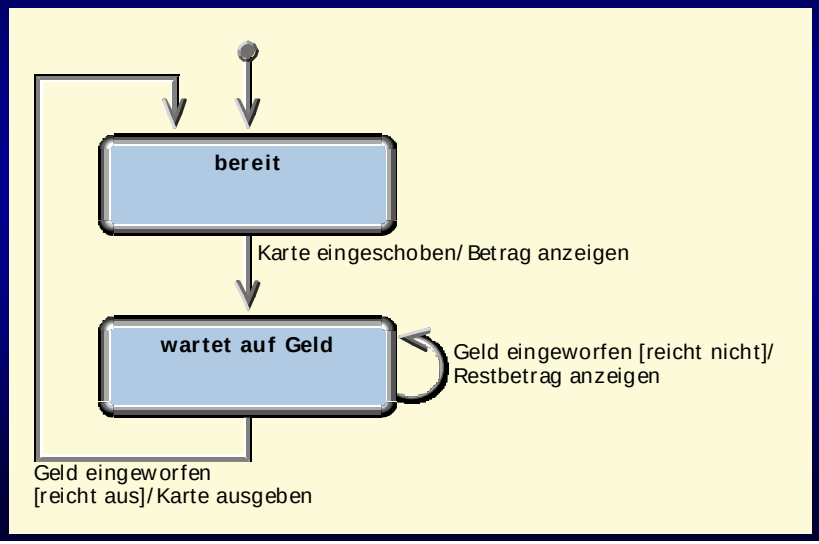
- Hybride Zustandsautomaten
  - Kombination von Mealy- und Moore-Automaten



LE 11
24

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

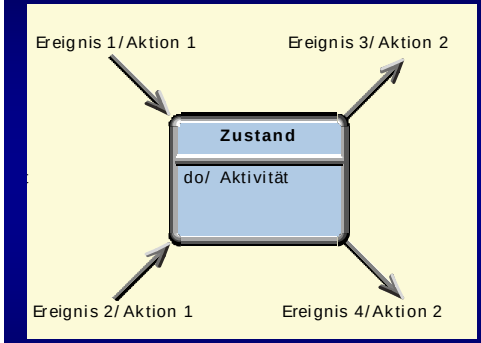
- Kartenautomat im Parkhaus

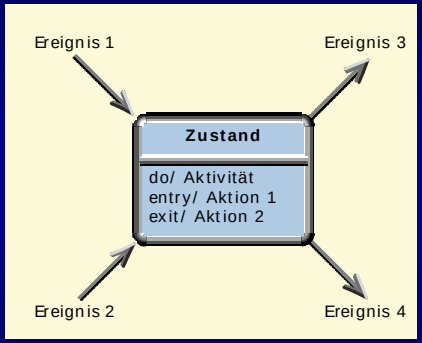


LE 11
25

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

- **Aktionen vs. Aktivitäten**

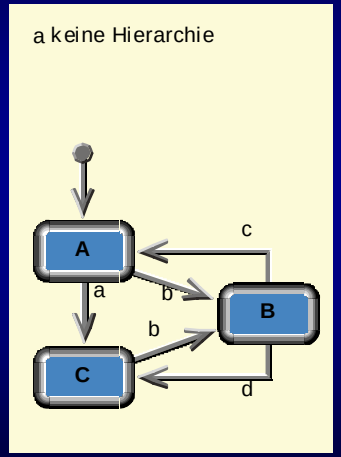


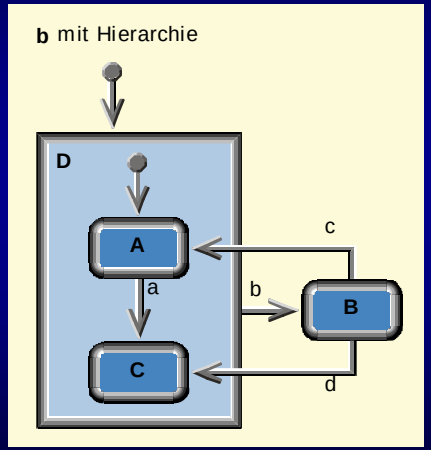


LE 11
26

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

- **Hierachischer Zustandsautomat**

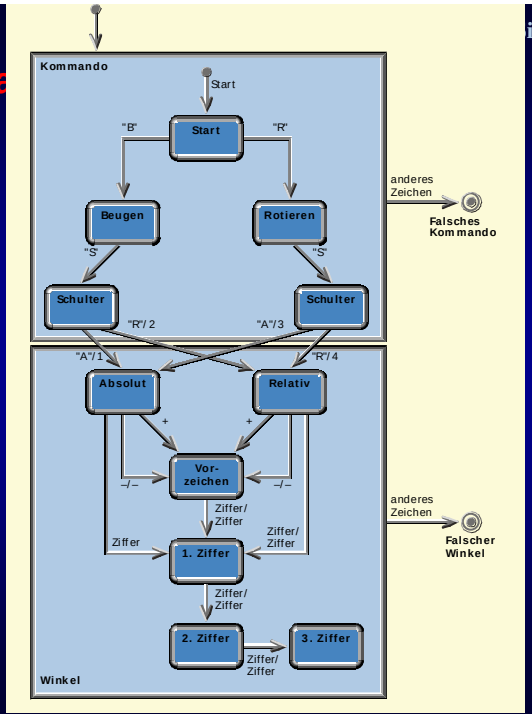




LE 11
27

2.16.5 Zustandsa

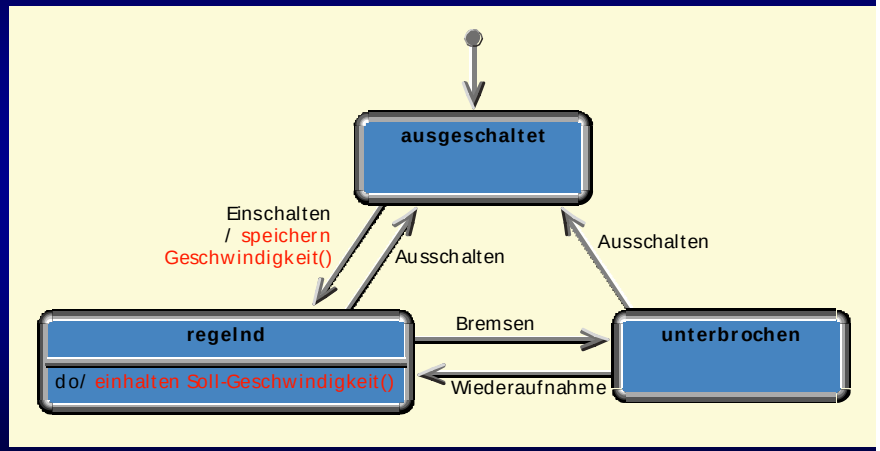
- **Beispiel für »Kommando erkennen«**



LE 11
28

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

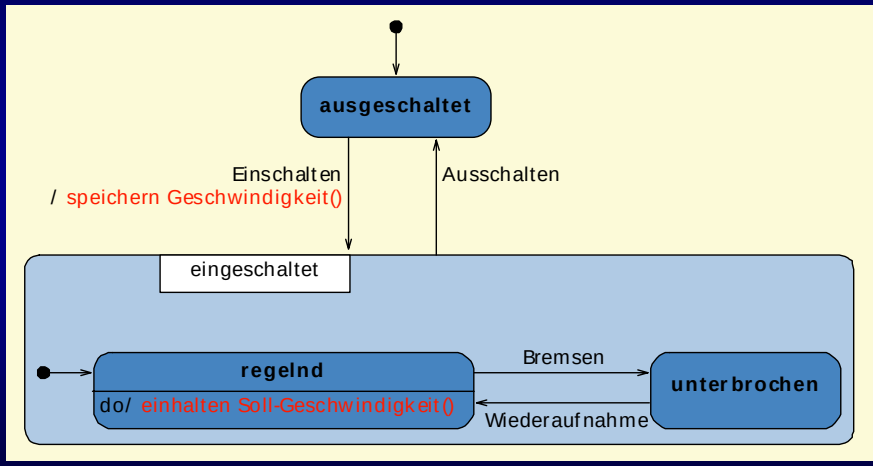
- **Beispiel »Tempomat« (nicht hierachisch)**



LE 11
29

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

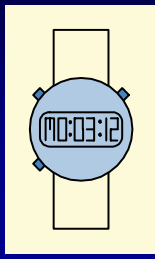
- Beispiel »Tempomat« (hierachisch)

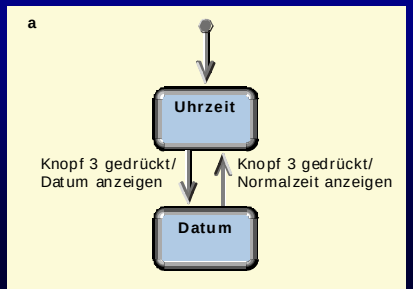


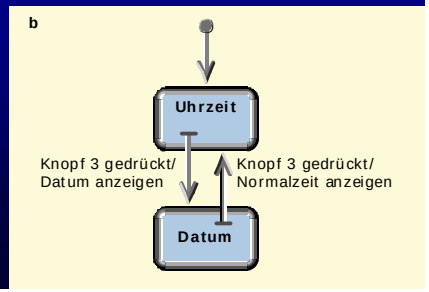
LE 11
30

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

- Beispiel »Stellen einer Digitaluhr«
  - Alternativ zur Uhrzeit kann das Datum angezeigt werden
    - Format: Wochentag, Tag, Monat
  - Druckknopf 3 erlaubt das Umschalten von Datum auf Uhrzeit und umgekehrt
  - Knöpfe 1 & 2: Datum stellen



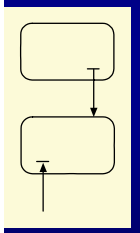




LE 11
31

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

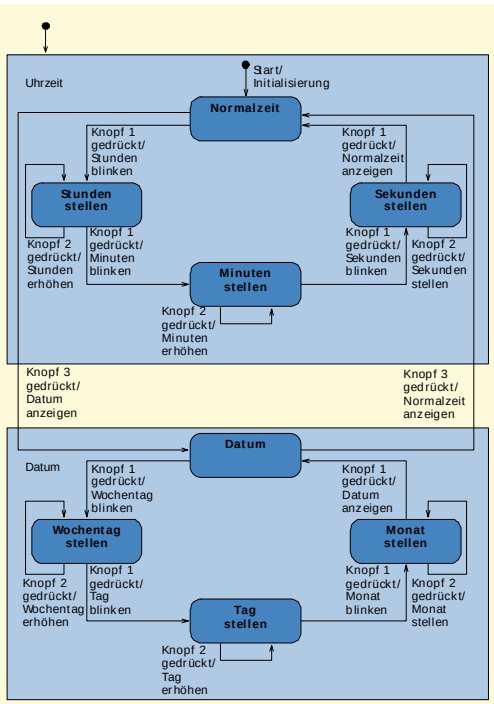
- Modellierung Uhrzeit und Datum: Modell b
  - Der Übergang von Uhrzeit nach Datum erfolgt nur von einem noch festzulegenden Zustand in Uhrzeit (nach Drücken von Knopf 3)
  - Grafische Darstellung:
    - Der Pfeil beginnt innerhalb des Oberzustandes
    - Das Pfeilende wird durch einen kleinen, zum Pfeil waagerechten Strich gekennzeichnet
  - Verfeinerung der Uhr anhand des Modells b
  - Ein Pfeil kann auch in einen Oberzustand mit einem waagerechten Strich an der Pfeilspitze enden



LE 11
32

2.16.5 Zustandsaut

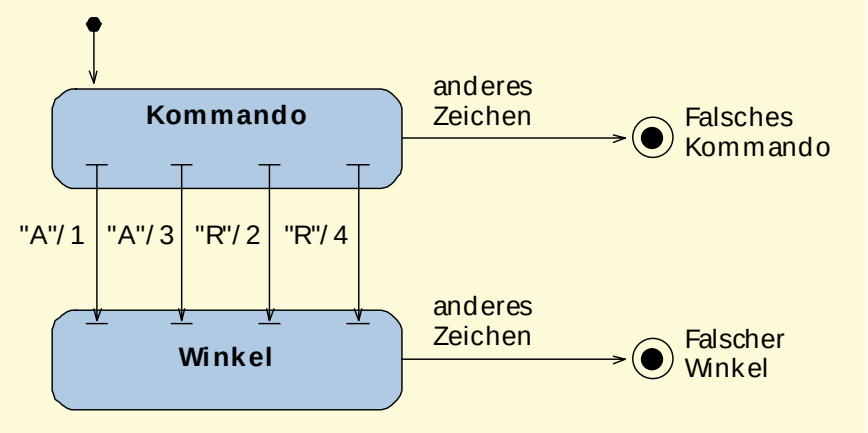
- Verfeinerung des Modells b



LE 11
33

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

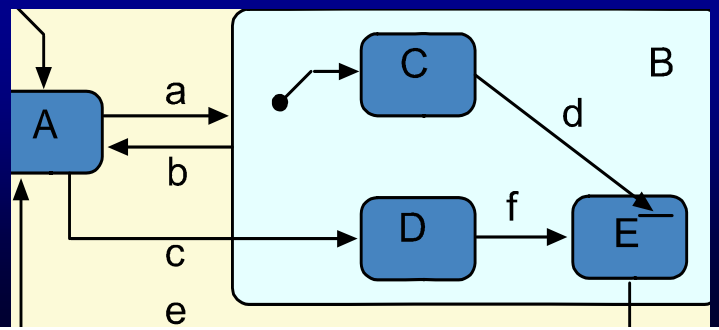
- Oberzustände von »Kommando erkennen«
  - Ohne Hierarchie



LE 11
34

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

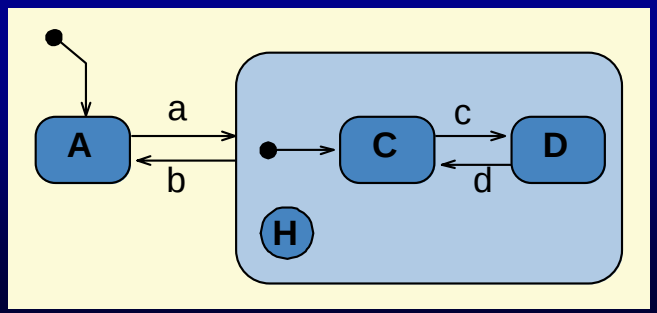
- Erlaubte Zustandsübergänge
  - Zwischen Zuständen gleicher Ebene
  - In einen Unterzustand
  - Aus einem Unterzustand
  - In einen Oberzustand
  - Aus einem Oberzustand



LE 11
35

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

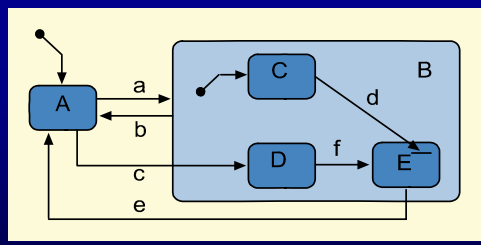
- Zustände mit Gedächtnis
  - Beim Übergang in einen (Ober-) Zustand mit Unterzuständen ist es oft wünschenswert, in den zuletzt eingenommenen Zustand zurückzukehren
  - Der Oberzustand wird mit einem »H« (für *History)* gekennzeichnet



LE 11
36

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

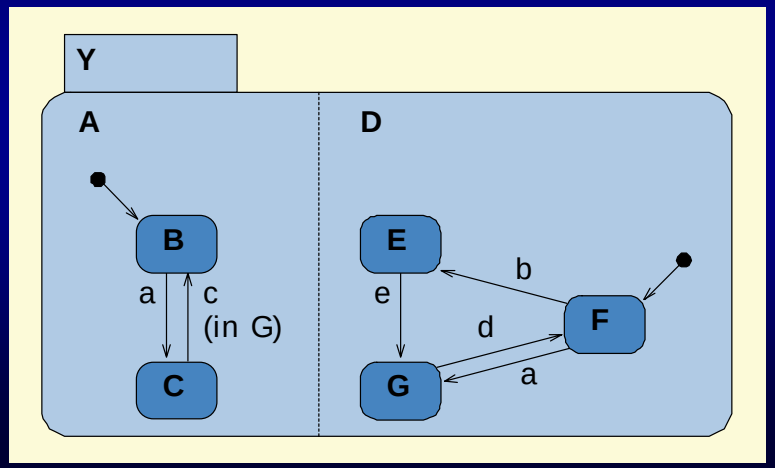
- Verschachtelter Automat mit Gedächtnis
  - Erstes Auftreten des Ereignisses »a«
    - Übergang in den Unterzustand »C«
  - Anschließend das Ereignis »c«
    - Übergang in den Zustand »D«
  - Ereignis »b«
    - Übergang in »A«
  - Wieder Ereignis »a«
    - Zustand »D« (statt »C«).



LE 11
37

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

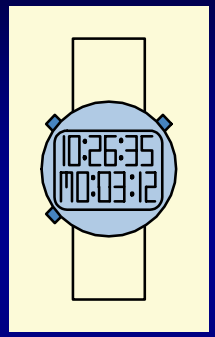
- **Nebenläufige Zustände**
  - **Oberzustand kann aus Unterzuständen bestehen, in denen sich das System gleichzeitig befindet**



LE 11
38

2.16.5 Zustandsautomat nach Harel

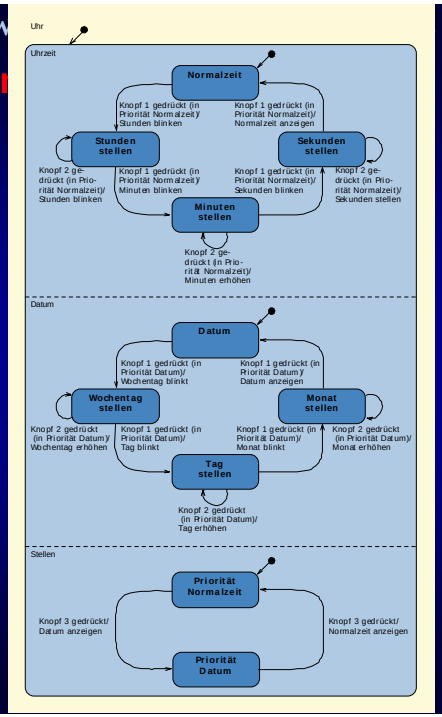
- **Erweiterung der Digitaluhr**
  - **Gleichzeitiges Anzeigen von Datum und Uhrzeit**
  - **Nach dem Einlegen der Batterie werden Datum und Uhrzeit angezeigt, die Uhrzeit kann eingestellt werden**
  - **In der Komponente Stellen wird durch Drücken von Knopf 3 festgelegt, ob die Uhrzeit oder das Datum gestellt werden kann**



LE 11
39

2.16.5 Zustandsautor

- **Uhr mit nebenläufigen Zuständen**



LE 11
40

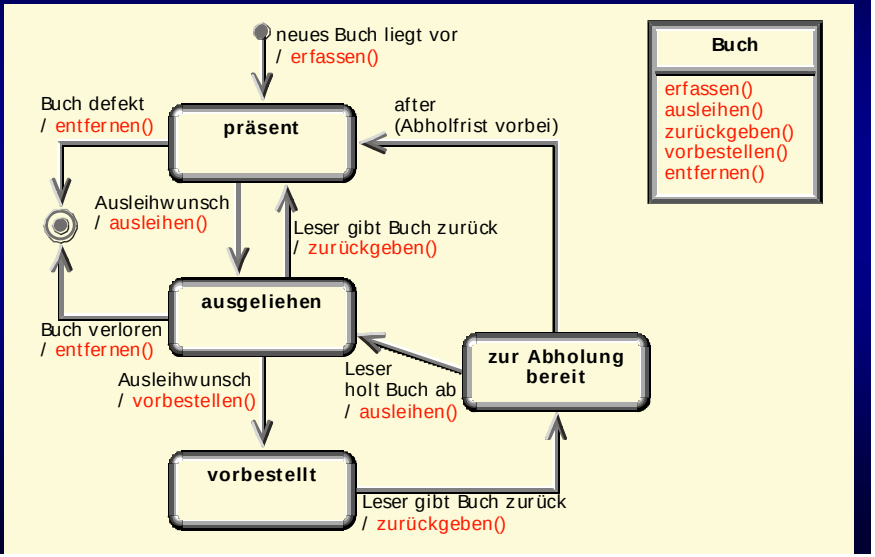
2.16.6 Zustandsautomaten in der OO-Welt

- **Zustandsautomaten...**
  - **...eignen sich gut dazu, das Verhalten von Elementen, z.B. von Objekten oder Interaktionen, zu beschreiben**
  - **...werden am häufigsten dazu eingesetzt, den Lebenszyklus eines Objektes zu modellieren**
  - **Alle Objekte einer Klasse besitzen denselben Zustandsautomaten**
  - **Jedes Objekt kann einen individuellen Zustand einnehmen**
  - **I. Allg. ist es nicht notwendig, für jede Klasse einen Zustandsautomaten aufzustellen.**

LE 11
41

2.16.6 Zustandsautomaten in der OO-Welt

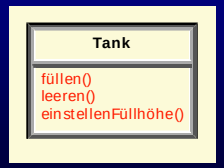
- **Beispiel: Buch**

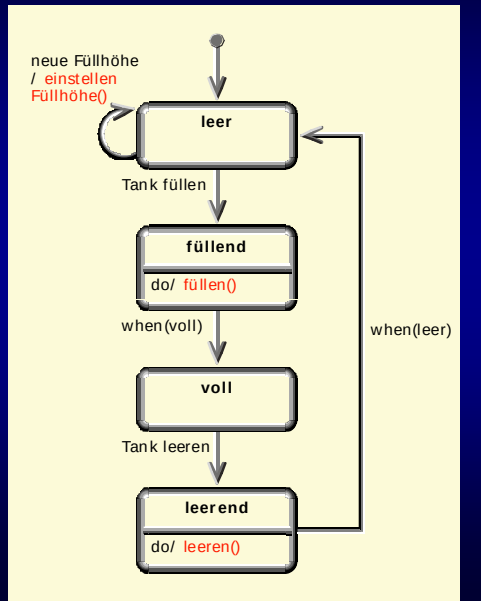


LE 11
42

2.16.6 Zustandsautomaten in der OO-Welt

- **Beispiel: Tank**
  - Der Tank kann die Zustände
    - leer
    - füllend
    - voll
    - leerend
  - annehmen





LE 11
43

2.16.6 Zustandsautomaten in der OO-Welt

- **Zustandsname**
  - Der Zustandsname soll **kein** Verb sein, auch wenn mit dem Zustand eine Verarbeitung verbunden ist
  - Namen wie »**füllend**« wählen, wenn in dem Zustand die Verarbeitung »**Füllen**« ausgeführt wird
  - Innerhalb eines Zustandsautomaten muss jeder Zustandsname eindeutig sein.

LE 11
44

2.16.6 Zustandsautomaten in der OO-Welt

- **Ein Ereignis kann sein:**
  - eine Bedingung, die wahr wird
  - ein Signal
  - eine Botschaft (Aufruf einer Operation)
  - eine verstrichene Zeit *(elapsed time event)* oder
  - das Eintreten eines bestimmten Zeitpunkts

  - In den beiden letzten Fällen handelt es sich um zeitliche Ereignisse.

LE 11
45

2.16.6 Zustandsautomaten in der OO-Welt

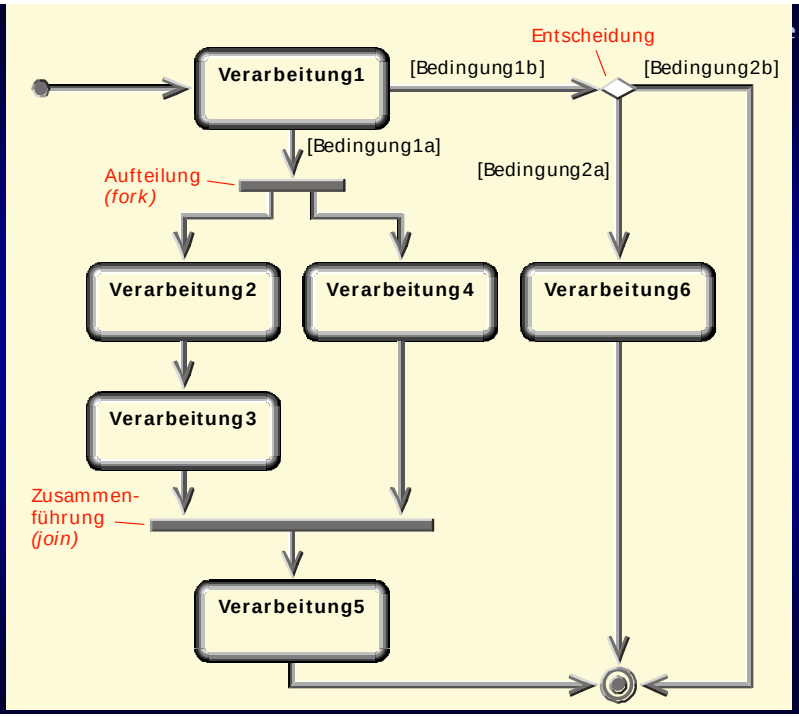
- **Objektlebenszyklus und Klassendiagramm**
  - Als Aktionen und Aktivitäten sind **nur Operationen der jeweiligen Klasse** zulässig
    - Diese Operationen können dann auch Botschaften an andere Objekte schicken
  - Form der Operationsnamen: `Operation()`
  - Ist eine Operation in mehreren Zuständen aktivierbar, dann kann sie abhängig vom jeweiligen Zustand eine **unterschiedliche Wirkung** besitzen
  - Erhält ein Objekt in einem Zustand eine Botschaft, wobei die Operation weder als Aktivität noch als Aktion zur Verfügung steht, dann besitzt die Botschaft **keine Wirkung,** d.h. »das Objekt tut nichts« .

LE 11
46

2.16.7 Aktivitätsdiagramme

- **Aktivitätsdiagramm *(activity diagram)***
  - Stellt eine Variante eines Zustandsautomaten dar
  - Sind *nicht* einzelnen Klassen zugeordnet
  - Vergleichbar mit den »alten« Flussdiagrammen bzw. Programmablaufplänen (PAPs)
  - Ein **Aktions-Zustand** wird verlassen, wenn die mit ihm verbundene Verarbeitung beendet ist (implizites Ereignis)
  - **Zustandsübergänge** können Wächter *(guard conditions)* beinhalten, mit denen die Verzweigung des Kontrollflusses beschrieben wird
  - Weder in einem Aktions-Zustand noch bei einem Zustandsübergang sollen explizite Ereignisse vorkommen.

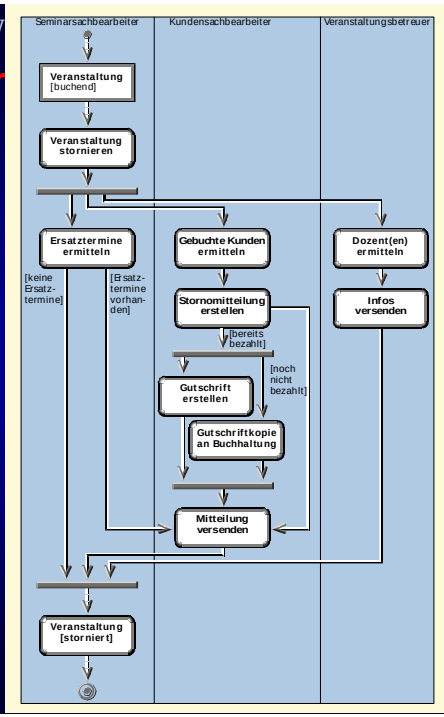
LE 11
47



LE 11
48

2.16.7 Aktivitätsdiagr

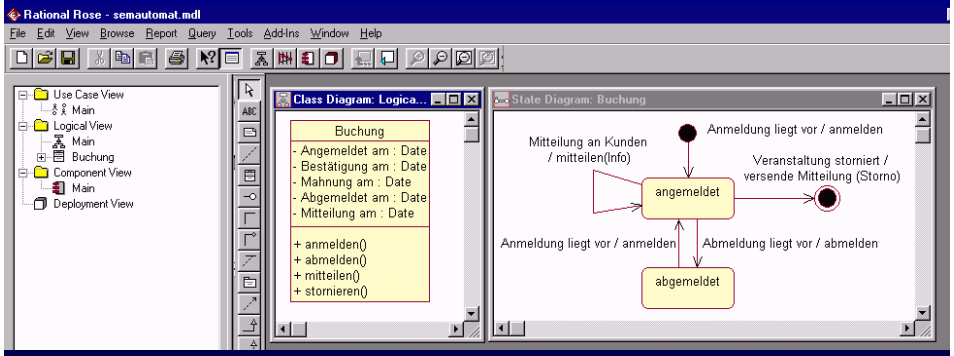
- **Geschäftsprozess Stornieren**



LE 11
49

2.16.8 Einsatz von CASE-Werkzeugen

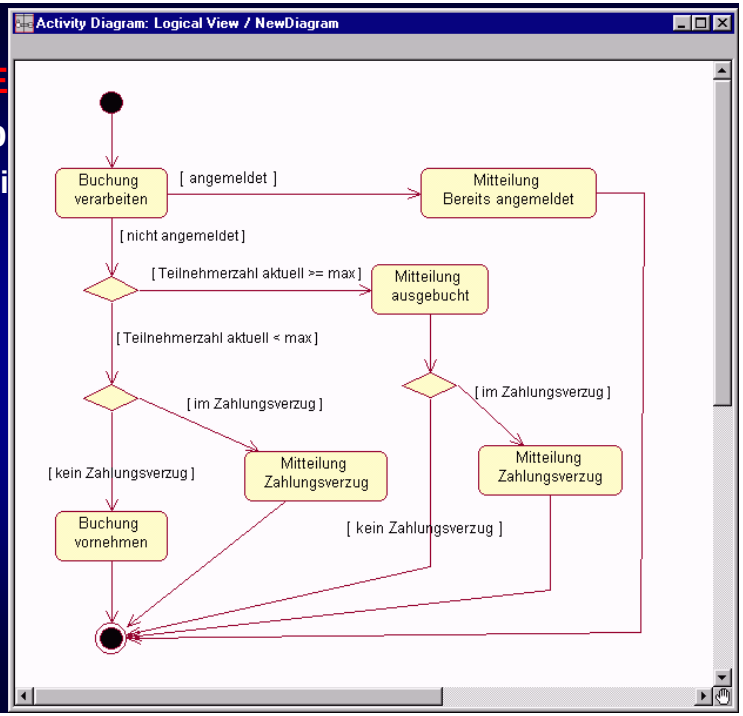
- Klasse Buchung und zugehöriger Zustandsautomat
  - Rational Rose (live)



LE 11
50

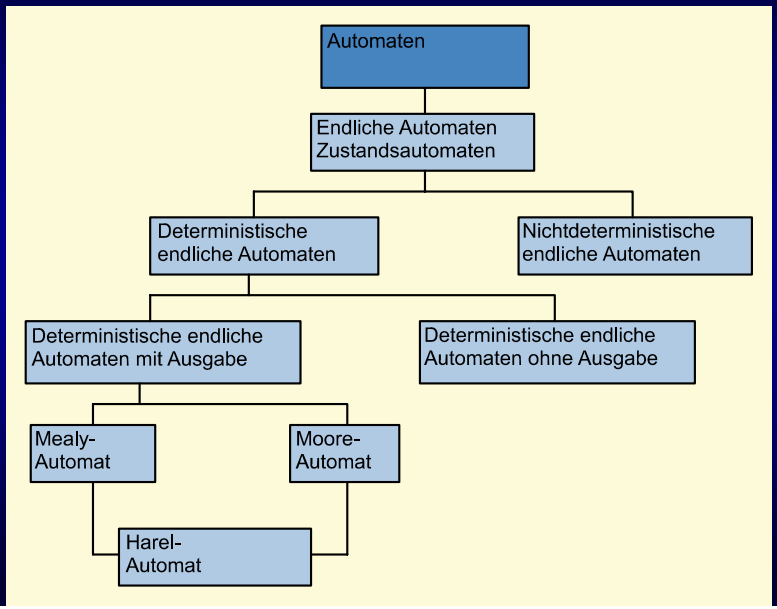
2.16.8 E

- Beisp
  - Rati



LE 11
51

Zusammenhänge



LE 11
52

- Danke!
- Aufgaben
- Diese Präsentation bzw. Teile dieser Präsentation enthalten Inhalte und Grafiken des Lehrbuchs der Software-Technik (Band 1), 2. Auflage von Helmut Balzert, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2001