Martin Glinz Harald Gall

Software Engineering

Kapitel 4

Spezifikation von Anforderungen

Universität Zürich
Institut für Informatik

4.1 Grundlagen

4.2 Der Spezifikationsprozess

4.3 Anforderungsgewinnung und -analyse

4.4 Dokumentation von Anforderungen

4.5 Spezifikationsmethoden und -sprachen

4.6 Prüfen von Anforderungen

4.7 Verwalten von Anforderungen

Definitionen und grundlegende Begriffe – 1

Anforderung (requirement) – 1. Eine Bedingung oder Fähigkeit, die von einer Person zur Lösung eines Problems oder zur Erreichung eines Ziels benötigt wird.
2. Eine Bedingung oder Fähigkeit, die eine Software erfüllen oder besitzen muss, um einen Vertrag, eine Norm oder ein anderes, formell bestimmtes Dokument zu erfüllen. (IEEE 610.12-1990)

Anforderungsspezifikation (requirements specification) – Die Zusammenstellung aller Anforderungen an eine Software.
Synonyme: Anforderungsdokument, Software Requirements Specification.

Definitionen und grundlegende Begriffe – 2

„Die Spezifikation“: Im Alltag nicht immer eindeutig:

- Dokument oder Prozess
- Anforderungs-, Lösungs- oder Produktspezifikation

Pflichtenheft ➜ verschiedene Begriffe:

- Synonym zu Anforderungsspezifikation
- Spezifikation + Überblick über Lösung
- Spezifikation + Elemente der Projektabwicklung

➜ „Pflichtenheft“ mit Vorsicht verwenden

Requirements Engineering

Requirements Engineering (Anforderungstechnik) –

1. Das systematische, disziplinierte und quantitativ erfassbare Vorgehen beim Spezifizieren, d.h. Erfassen, Beschreiben und Prüfen von Anforderungen an Software.

2. Verstehen und Beschreiben, was die Kunden wünschen oder brauchen.

3. Spezifikation und Verwaltung von Anforderungen mit dem Ziel, das Risiko zu minimieren, dass Software entwickelt wird, welche den Kunden nicht nützt oder gefällt.

Anforderungsspezifikation als Risikominimierung

„Wir haben keine Zeit für eine vollständige Spezifikation.“

„Ist uns zu teuer!“

„Bei agilem Vorgehen genügen grobe Stories vollständig.“

➪ falscher Ansatz

Richtige Frage: „Wie viel müssen wir tun, damit das Risiko eine Größe annimmt, die wir bereit sind zu akzeptieren?“

Merkregel:

Der *Aufwand* für das Requirements Engineering soll *umgekehrt proportional* zum *Risiko* sein, das man bereit ist, einzugehen.

Anforderungsspezifikation – Warum

- Kosten senken
  - Geringere Herstellungskosten (Senken der Fehlerkosten!)
  - Geringere Pflegekosten
- Risiken verkleinern
  - Kundenerwartungen besser erfüllen
  - Zuverlässigere Prognosen für Termine und Kosten

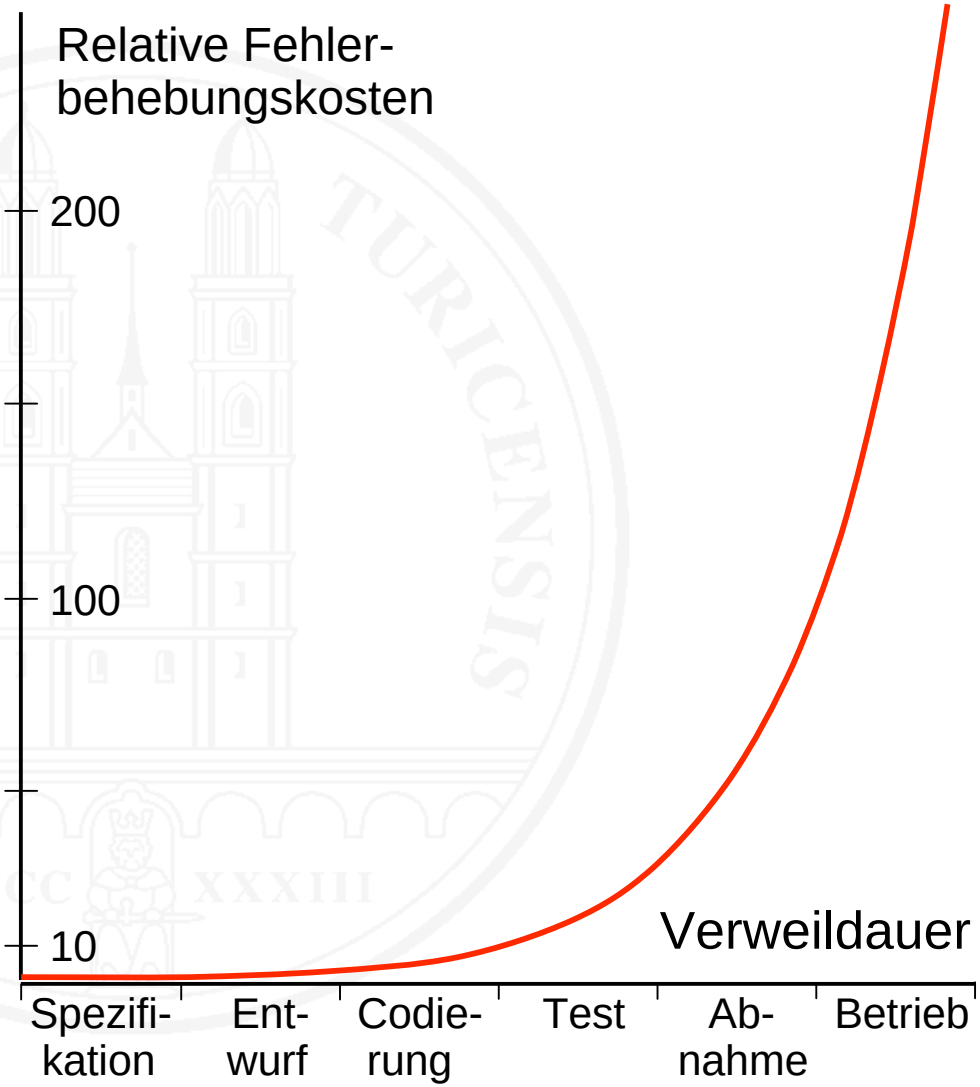
Mehr verdienen!

Zufriedenere Kunden!

☞ Die wirtschaftliche Wirkung von Requirements Engineering ist immer indirekt; das RE selbst kostet nur!

Anforderungsspezifikation – Warum (2)

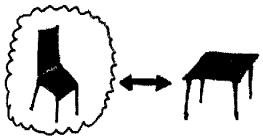
Kosten für die Behebung von Fehlern abhängig von ihrer Verweildauer in der Software



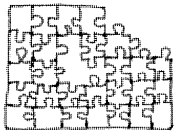
Wirtschaftlichkeit der Anforderungsspezifikation

- Wenig Anforderungs-fehler machen
- Möglichst viele der den-noch gemachten Fehler früh finden

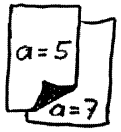
Merkmale einer guten Anforderungsspezifikation



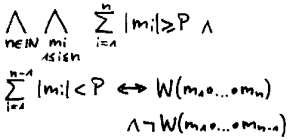
Adäquat – beschreibt das, was der Kunde will bzw. braucht



Vollständig – beschreibt alles, was der Kunde will bzw. braucht



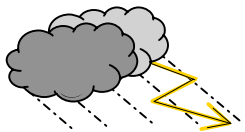
Widerspruchsfrei – sonst ist die Spezifikation nicht realisierbar



Verständlich – für alle Beteiligten, Kunden wie Informatiker

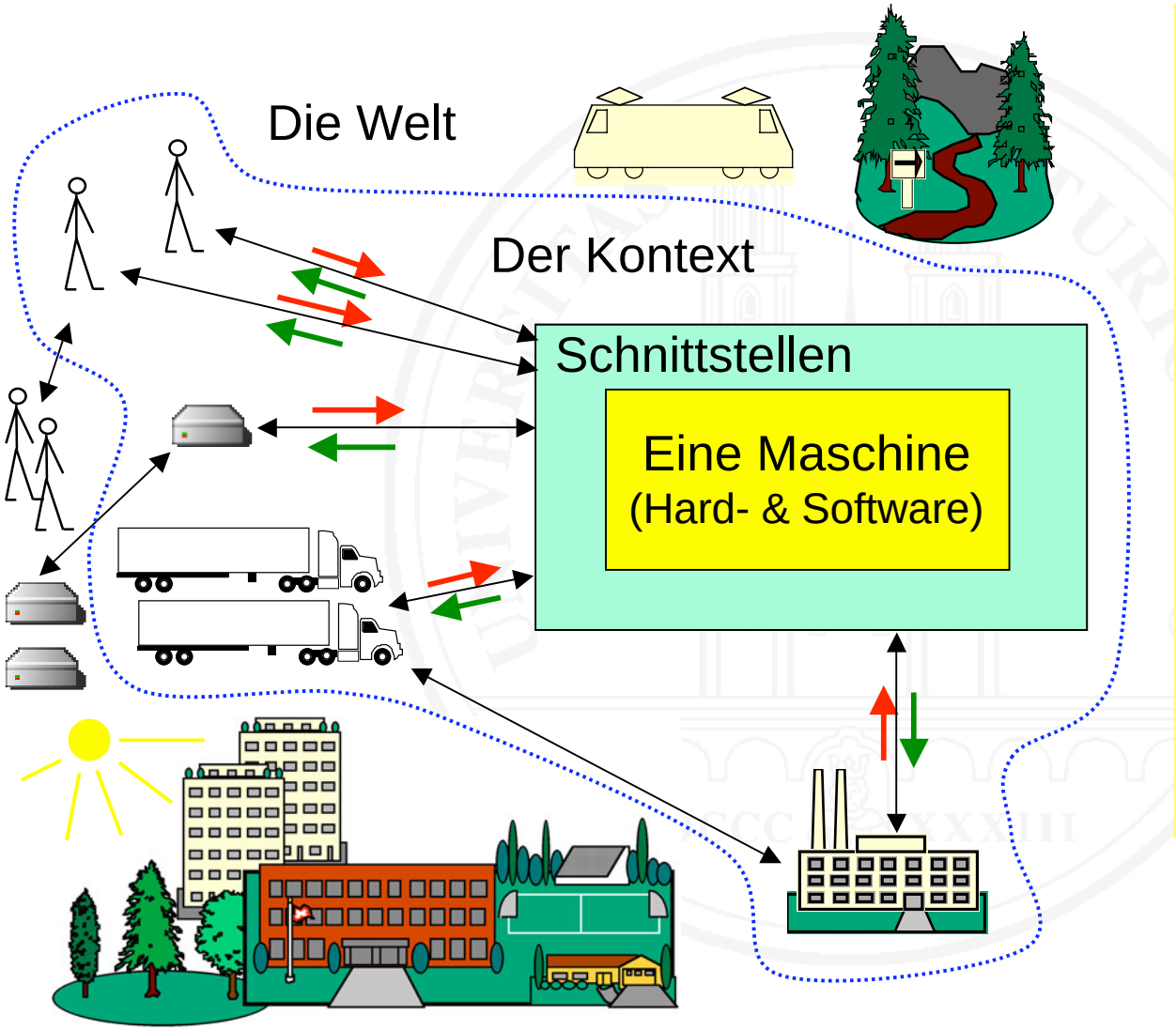
Eindeutig – vermeidet Fehler durch Fehlinterpretationen

Prüfbar – feststellen können, ob das realisierte System die Anforderungen erfüllt



Risikogerecht – Umfang umgekehrt proportional zum Risiko, das man eingehen will

Kontextuelle Anforderungsspezifikation – 1



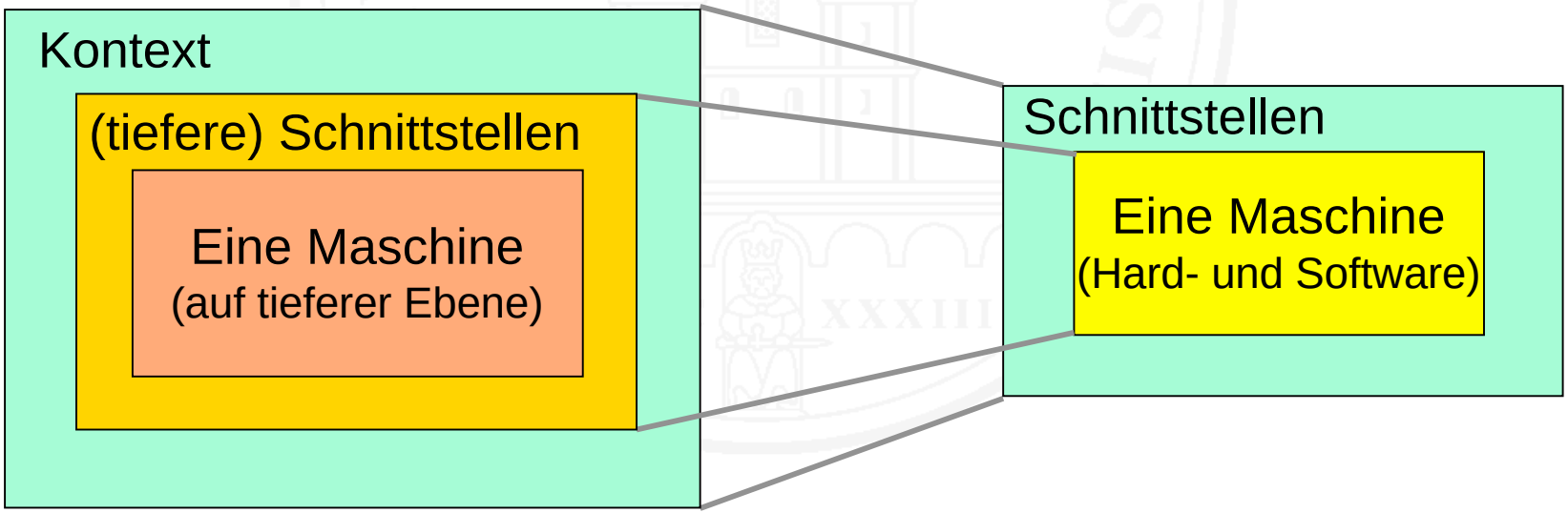
Anforderungsspezifikation bedeutet:

- Kontext identifizieren
- Anstöße spezifizieren...
- und Antworten darauf
- sowie Restriktionen (Leistung, Qualität, Randbedingungen)

Kontextuelle Anforderungsspezifikation – 2

- Mehrere Betrachtungsebenen mit unterschiedlichem Kontext, typisch
  - Geschäftsebene
  - Systemebene
  - Softwareebene
  - Oft weitere Ebenen, z. B. Komponentenebene

➪ Verzahnung von Anforderungen und Entwurf



Anforderungen vs. Ziele

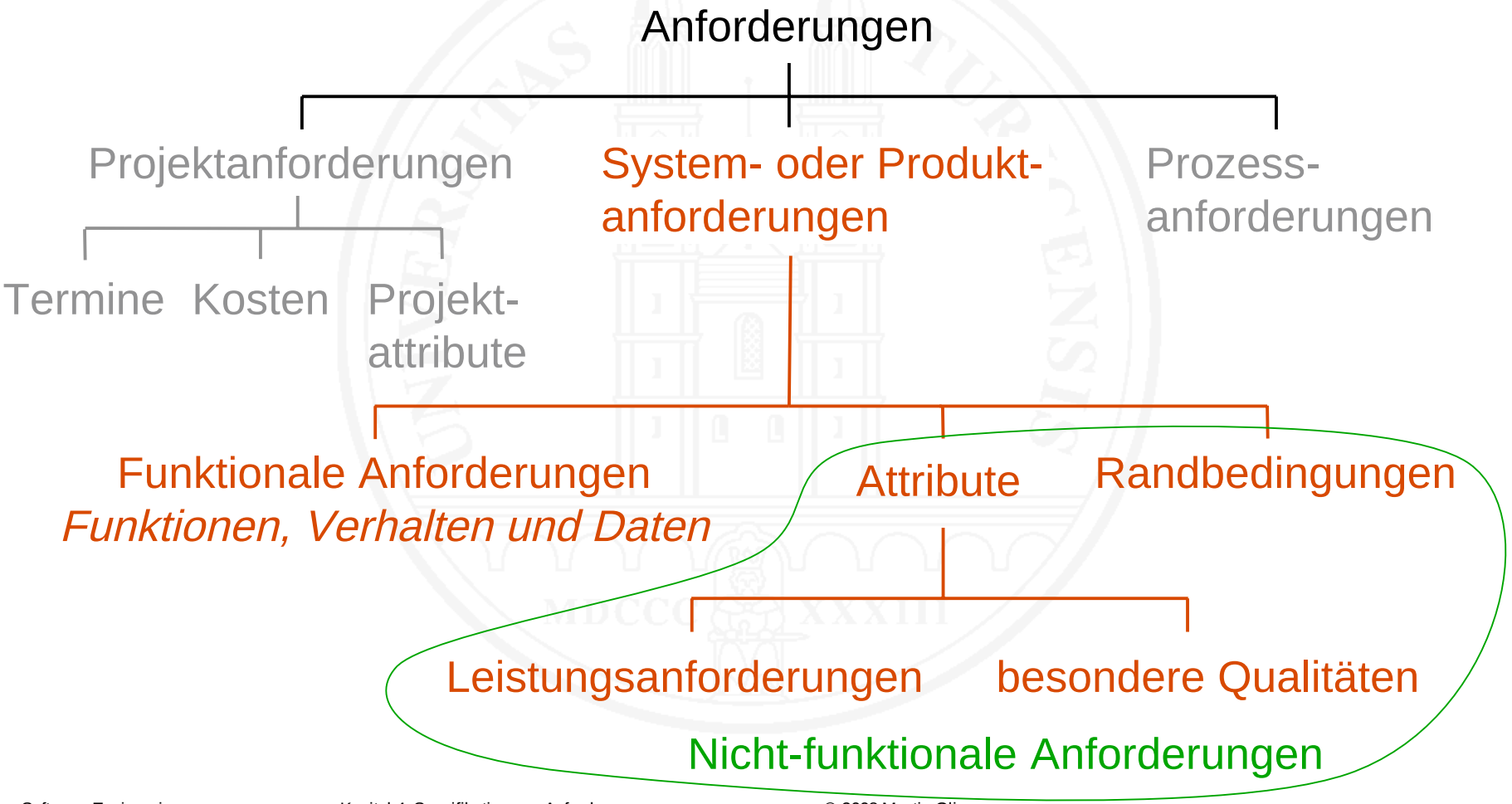
- Gemeinsamkeiten: Beide beschreiben etwas zu Erreichendes
- Unterschiede:
  - Ziel: ein zu erreichender Zustand, meist in umfassendem Sinn gemeint
  - Anforderung: eine zu erreichende Eigenschaft, meist auf Detailebene
- Abgrenzung im Einzelfall oft schwierig
- Häufig geben Ziele auf einer Ebene (z.B. Geschäftsebene) den Rahmen für Anforderungen auf einer tiefer liegenden Ebene (z.B. System- oder Softwareebene) vor
- Im Software Engineering sind die Sachziele eines Projekts typisch die Anforderungen an das zu entwickelnde (Software-)Produkt und die davon betroffenen Prozesse (vgl. Kapitel 2)

Anforderungen und Qualität

- Qualität – der Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt. (ISO 9000:2000; vgl. Kapitel 2 und 19)
  - Qualität definiert: Spezifikation der Anforderungen
  - Qualität erreicht: Die Software erfüllt alle gestellten Anforderungen
- Qualitätsmodelle (vgl. Kapitel 2) helfen beim Strukturieren von Anforderungen an besondere Qualitäten, zum Beispiel
  - Zuverlässigkeit
  - Benutzbarkeit
  - ...
- Qualität ist Zielerfüllung
  - ⇨ Anforderungen müssen so gestellt werden, dass ihre Erfüllung durch Prüfung oder Messung festgestellt werden kann

1.4 Klassifikation von Anforderungen

Klassifikation nach der Art der Anforderungen



Probleme

- Nicht-funktionale Anforderungen: ein vielfach unscharf gefasster und uneinheitlich verwendeter Begriff
- Verbreitete *falsche / unzutreffende* Auffassungen:
  - Nicht funktional = global
  - Nicht funktional = weich
  - Was das System tun soll → funktionale Anforderungen / wie das System dies tun soll → nicht-funktionale Anforderungen
  - Hauptanforderungen → funktionale Anforderungen / ergänzende Anforderungen → nicht-funktionale Anforderungen
  - Operational dargestellt → funktionale Anforderungen / qualitativ oder quantitativ dargestellt → nicht-funktionale Anforderungen
- Vermeidbar mit Orientierung an der zu Grunde liegenden Intention

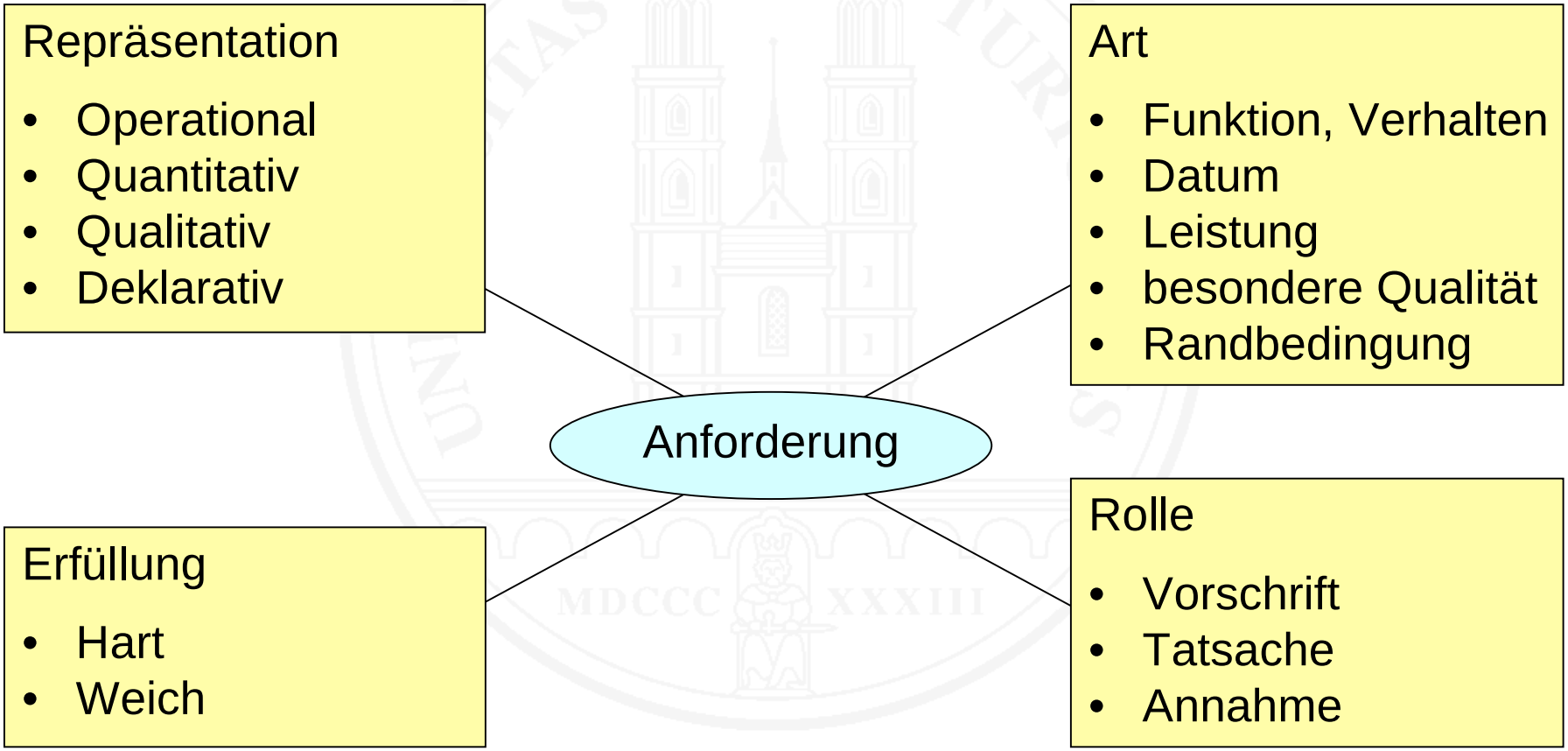
Bestimmung der Art einer Anforderung

- Grundsatz: nach der zu Grunde liegenden Intention, *nicht* nach der Darstellung der Anforderung
- Schema:

Wird diese Anforderung gestellt, weil...	
... Systemverhalten, Daten, Eingaben oder Reaktionen auf Eingaben zu spezifizieren sind – unabhängig davon, wie dies geschehen soll?	funktionale Anforderung
... Restriktionen bezüglich Verarbeitungs-/Reaktionszeiten, Datenmengen oder Datenraten zu spezifizieren sind?	Leistungs-anforderung
... eine spezielle Qualität, die das System aufweisen soll, zu spezifizieren ist?	besondere Qualität
... irgend eine andere Restriktion zu spezifizieren ist?	Randbedingung

Facettierte Klassifikation von Anforderungen

Anforderungen unterscheiden sich nicht nur nach ihrer Art:



Erläuterungen zu den Facetten

Repräsentation

- Operational: „Der Kontostand wird um den eingezahlten Betrag erhöht“
- Quantitativ: „Antwortzeit < 0,5 s“
- Qualitativ: „Das System muss eine hohe Verfügbarkeit aufweisen“
- Deklarativ: „Das System soll auf einer Linux-Plattform laufen“

Erfüllung (vgl. harte und weiche Zielerfüllung in Kapitel 2)

- Hart – Anforderung ist ganz oder gar nicht erfüllt (binäres Verhalten): „Das System soll abgelaufene Wertkarten sperren“
- Weich – Anforderung kann graduell erfüllt sein: „Das System soll für Gelegenheitsbenutzer einfach zu bedienen sein“

Erläuterungen zu den Facetten – 2

Art

- siehe Darstellungsaspekte in Kapitel 4.4

Rolle

- Vorschrift – Forderung an das zu erstellende System: „Der Füllstandsensor soll alle 100 ms einmal abgetastet werden“
- Tatsache – Fakten in der Systemumgebung : „Alleinstehende werden nach Tarif A besteuert“
- Annahme – Annahmen über das Verhalten von Akteuren in der Systemumgebung: „Jeder Alarm wird vom Operateur quittiert“

Mini-Übung 4.1: Wie sind diese drei Anforderungen repräsentiert?

4.1 Grundlagen

4.2 Der Spezifikationsprozess

4.3 Anforderungsgewinnung und -analyse

4.4 Dokumentation von Anforderungen

4.5 Spezifikationsmethoden und -sprachen

4.6 Prüfen von Anforderungen

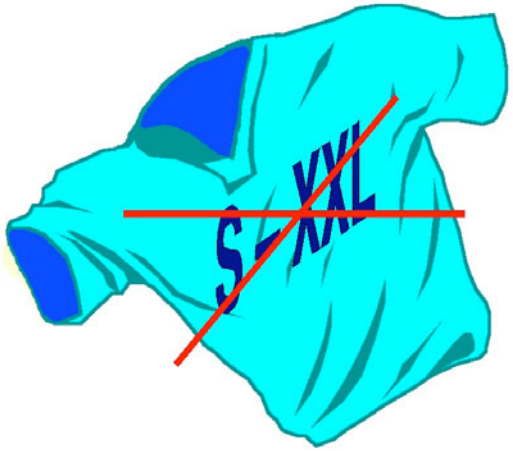
4.7 Verwalten von Anforderungen

Was gibt es zu tun im Requirements Engineering?

Zwei Hauptprozesse:

- Anforderungen spezifizieren (requirements specification)
  - Gewinnung (elicitation)
  - Analyse und Dokumentation (analysis, documentation)
  - Prüfung (validation)
- Anforderungen verwalten (requirements management)
  - Freigabe (baselining)
  - Änderung (modification)
  - Verfolgung (traceability)

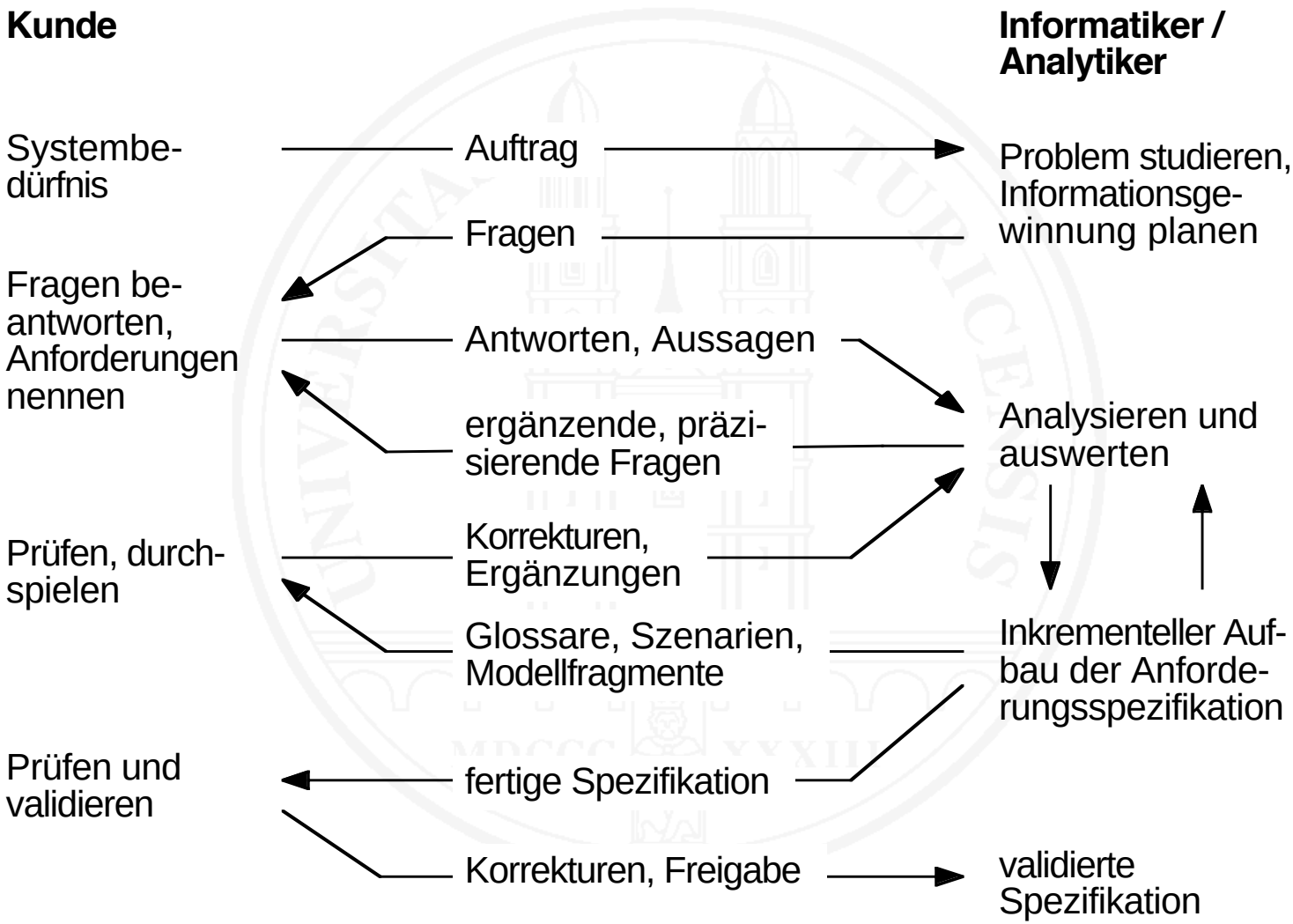
Keine Einheitsgröße für alles



Es gibt keinen idealen RE-Prozess

- ➥ zuschneiden auf konkrete Projektsituation
- ❍ zu berücksichtigende Faktoren:
  - lineares oder inkrementelles Vorgehen im Projekt?
  - muss die Spezifikation wasserdicht sein (Vertrag; Realisierung durch Dritte)?
  - sind die Kunden/Benutzer bekannt und können sie in die Erstellung der Spezifikation einbezogen werden?
  - wird das zu spezifizierende System im Kundenauftrag oder für den Markt entwickelt?
  - soll Standardsoftware zum Einsatz kommen?

Möglicher Ablauf des Spezifikationsprozesses



Informationsquellen

- Mit Leuten reden / Leute befragen
  - Welche Beteiligten (stakeholders) gibt es, die Anforderungen stellen können?
  - Häufig nicht Individuen, sondern Rollen
  - Typische Beteiligtenrollen: Endbenutzer, Auftraggeber, Betreiber, Entwickler, Projektleitung, ...
  - Diverse Gesprächs- und Befragungstechniken
- Prozessabläufe beobachten
  - Wie wird heute gearbeitet?
  - Was ist gut und was soll anders werden?
  - Wer verwendet wo welche Daten?
- Unterlagen studieren
  - Ausschreibungstexte, Visionsdokumente, ...

Mini-Übung 4.2: Beteiligtenanalyse

Die Leitung eines Universitätsinstituts will den Betrieb der Institutsbibliothek rationalisieren. Folgende Informationen sind bekannt:

Gewünscht wird ein softwarebasiertes System mit folgenden Fähigkeiten:

- Ausleihe, Rückgabe, Verlängern und Vormerken vollständig in Selbstbedienung durch die Bibliotheksbenutzer,
- Benutzerverwaltung und Katalogpflege durch die Bibliothekarin,
- Teilautomatisierter Mahnprozess (Schreiben der Mahnbriefe und Führen des Mahnstatus automatisiert; Versand und Inkasso manuell),
- Katalogrecherche, Verlängern und Vormerken lokal und über WWW.

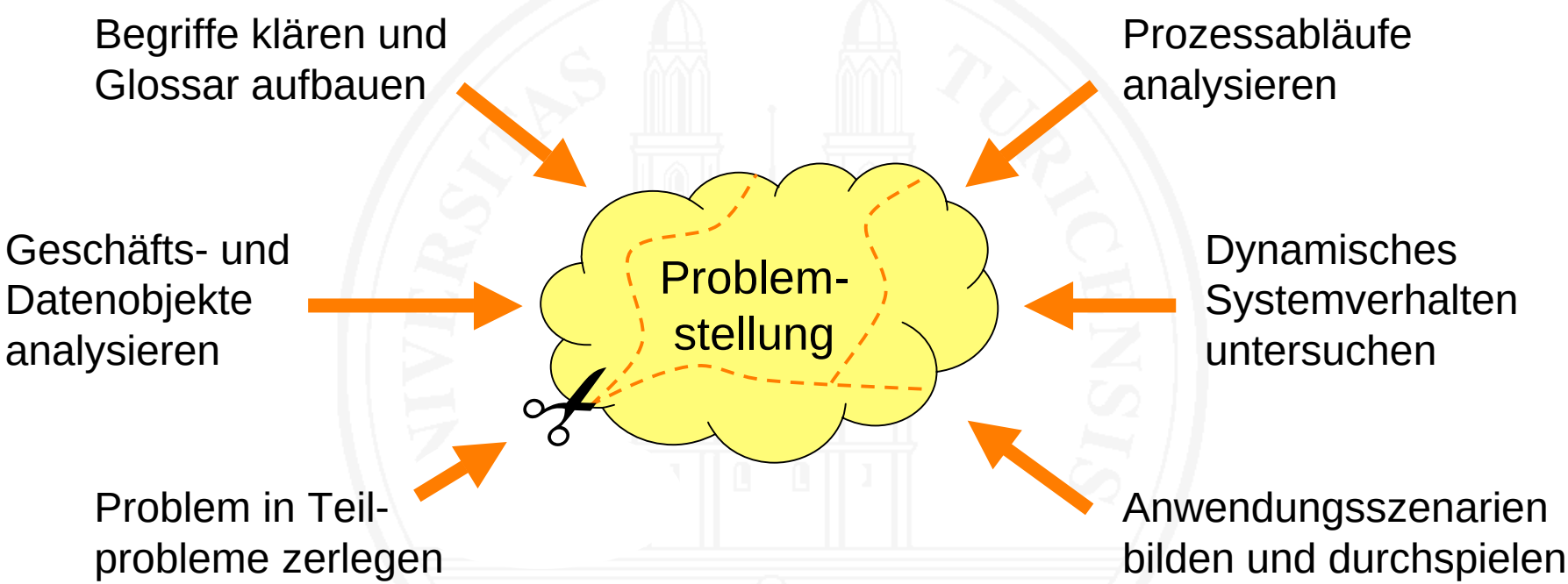
Ferner ist ein Diebstahlsicherungssystem zu installieren, das verhindert, dass jemand die Bibliothek mit nicht ausgeliehenen Büchern verlässt.

Identifizieren Sie Beteiligte, die im Rahmen dieses Projekts Anforderungen stellen können.

Techniken der Informationsbeschaffung

- Interviews
  Beteiligte werden einzeln oder in Gruppen befragt
- Umfragen/Fragebogen
  Erfassung von Begriffswelt und Bedürfnissen einer größeren Gruppe von Beteiligten
- Beobachtung
  Beteiligte bei der Arbeit beobachten
- Gemeinsame Arbeitstagungen
  Gemeinsame Erarbeitung von Anforderungen in einer Gruppe ausgewählter Beteiligter und Anforderungsingenieure
- Prototypen
  Gewinnen von Anforderungen durch Erprobung möglicher Lösungen
- ...

Gewinnung und Analyse: Methodische Ansätze



Regeln

- Informationen über den Anwendungsbereich gewinnen und analysieren
  - Begriffswelt
  - Gegenstände und Prozesse
- Konkrete Bedürfnisse und Wünsche erfassen und analysieren
- Anforderungsspezifikation fortlaufend inkrementell aufbauen
  - Keine großen Materialsammlungen
  - Gewinnung, Analyse und Darstellung miteinander verzahnen
  - Rückkopplung ist wichtig
  - Von festem Grund ausgehen: vom Bekannten und Gesicherten zum Unbekannten und Offenen
- Anforderungen betreffen einen SOLL-Zustand
  - ➪ Den IST-Zustand nur analysieren, wenn dies notwendig ist

Risiken und Probleme

- Erwartungs- und Begriffsdiskrepanzen bei den Beteiligten
- Beteiligte wissen zwar, was sie wollen, können ihre Vorstellungen aber nicht formulieren
- Beteiligte wissen nicht, was sie wollen
- Beteiligte haben verdeckte Ziele, die sie absichtlich nicht offen legen
- Beteiligte sind auf bestimmte Lösungen fixiert

⇨ Requirements Engineering ist immer auch

- Aufgabenklärung
- Risikoanalyse
- Konsensbildung
- Konflikterkennung und -auflösung
- Anregung von Kreativität bei den Beteiligten

Anforderungen priorisieren

- Nicht alle Anforderungen sind gleich wichtig:
  - Muss-Anforderungen – unverzichtbar
  - Soll-Anforderungen – wichtig, aber bei zu hohen Kosten verzichtbar
  - Wunsch-Anforderungen – schön zu haben, aber nicht essenziell
- Priorisierung nötig bei
  - harten Terminen
  - harten Preisobergrenzen
  - Beschaffung
- Priorisierung nützlich bei
  - Festlegung von Inhalt und Umfang der Inkremente bei inkrementeller Entwicklung
  - Releaseplanung bei der Weiterentwicklung bestehender Systeme

Inhalt einer Anforderungsspezifikation – 1

Darzustellende Aspekte (unabhängig von den verwendeten Gliederungs- und Darstellungsmethoden):

- Funktionaler Aspekt
  - Daten: Struktur, Verwendung, Erzeugung, Speicherung, Übertragung, Veränderung
  - Funktionen: Ausgabe, Verarbeitung, Eingabe von Daten
  - Verhalten: Sichtbares dynamisches Systemverhalten, Zusammenspiel der Funktionen (untereinander und mit den Daten)
  - Fehler: Normalfall und Fehlerfälle

Inhalt einer Anforderungsspezifikation – 2

- Leistungsaspekt
  - Zeiten „...Reaktionszeit < 0,5 s...“
  - Mengen „...verwaltet bis zu 10 000 Kunden...“
  - Raten „...verarbeitet maximal 100 Transaktionen/s...“
  - Ressourcen „...benötigt 2 GByte Hauptspeicher...“
  - Genauigkeit „...berechnet auf vier Nachkommastellen genau...“

  Wo immer möglich:
  - ➤ messbare Angaben machen
  - ➤ Durchschnitts- und Extremwerte angeben

- Qualitätsaspekt
  - Geforderte besondere Qualitäten (zum Beispiel Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, Änderbarkeit, Portabilität,...)

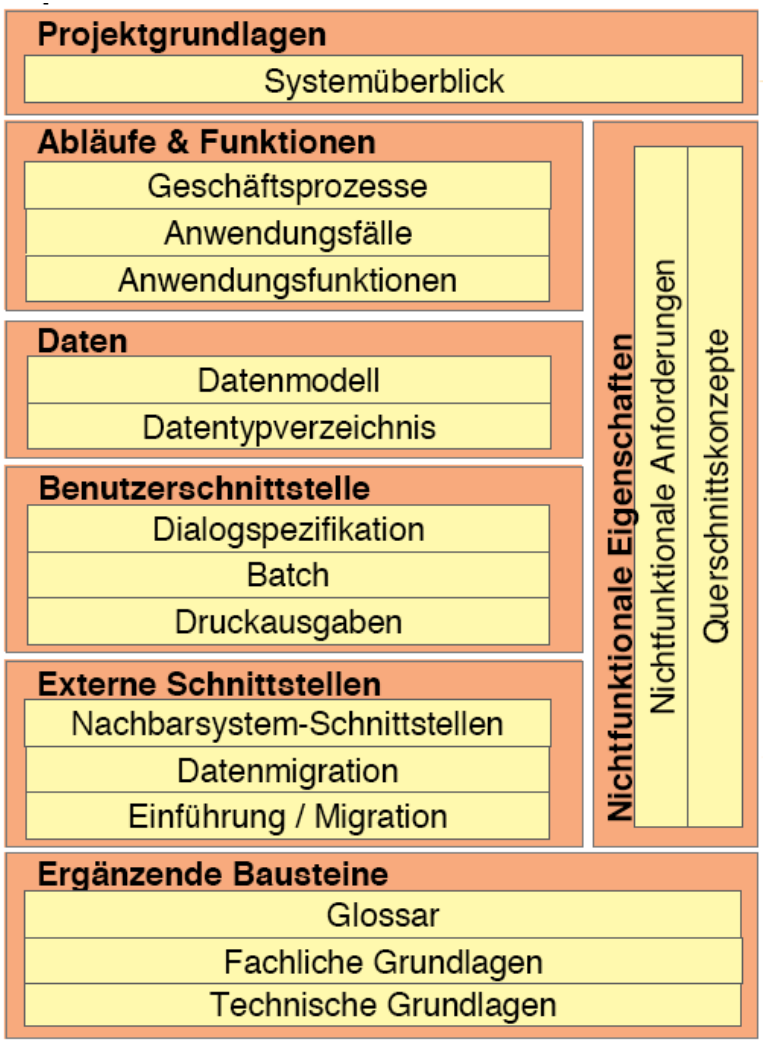
Inhalt einer Anforderungsspezifikation – 3

- Randbedingungsaspekt
  - Einzuhaltende/zu verwendende Schnittstellen, Plattformen, Nachbarsysteme,...
  - Normen und Gesetze
  - Datenschutz, Datensicherung
  - Kulturelles: zum Beispiel internationale Verständlichkeit von Symbolen
  - Explizite Vorgaben des Auftraggebers
  - ...

Aufbau einer Anforderungsspezifikation

- Gliederung und Art der Darstellung abhängig von verwendeten Methoden und Sprachen
- Gliederung teilweise durch Normen und Richtlinien bestimmt
  - Normen, z.B. IEEE 830-1993
  - Firmeninterne Richtlinien
- Wahl der Gliederung hat großen Einfluss auf Verständlichkeit

Beispiel: Gliederungsrichtlinien der Firma sd&m[1)]



[1)] aus: Andreas Birk (2004). Anforderungsspezifikation in großen IT-Projekten. *Jahrestagung der GI-Fachgruppe Requirements Engineering*, Kaiserslautern.

Darstellungsregeln

- Einzelanforderungen in kleinen Einheiten fassen: eine Kernaussage pro Einzelanforderung
- Zu jedem geforderten Resultat die Funktion und die Eingabedaten, welche das Resultat erzeugen, spezifizieren
- Mögliche Ausnahmesituationen spezifizieren
- Implizite Annahmen aufdecken und explizit formulieren
- Leistungs- und Qualitätsanforderungen quantitativ spezifizieren
- All-Quantifizierungen kritisch hinterfragen
- Anforderungen strukturieren (zum Beispiel durch Kapitelgliederung)
- Redundanz nur dort, wo für leichtes Verständnis notwendig
- Präzise spezifizieren

Darstellungsformen

- Die möglichen Darstellungsformen unterscheiden sich konzeptionell vor allem in zwei Aspekten:
  - Art der Darstellung: konstruktiv oder deskriptiv
  - Formalitätsgrad der Darstellung

- Ein weiterer Freiheitsgrad besteht im Detaillierungsgrad der Darstellung

Deskriptive Darstellung – 1

Beispiele

- Darstellung mit Text in natürlicher Sprache:

  «Die Funktion Kontostand liefert den aktuellen Stand des Kontos für die eingegebene Kontonummer.»

- Darstellung in einer formalen Notation:
  Sqrt: Real → Real;
  Pre: $x \geq 0$;
  Post: $|Sqrt^2(x) - x| < \varepsilon \wedge \varepsilon \leq 10^{-16} \wedge \varepsilon \leq 10^{-6}x$.

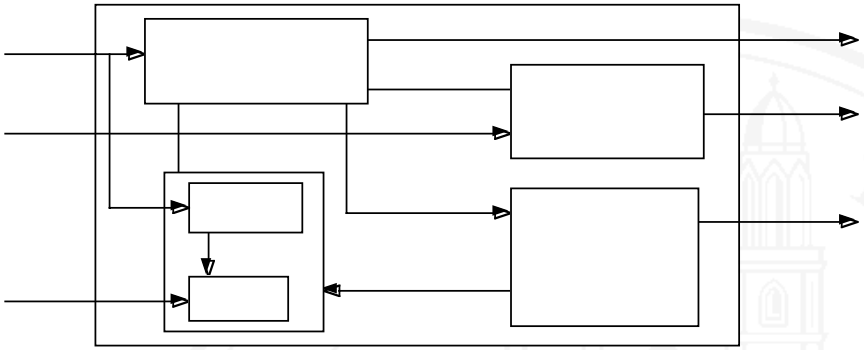
Deskriptive Darstellung – 2

- Vorteile:
  - \+ Nur äußeres Verhalten spezifiziert
  - \+ Lösungsneutral

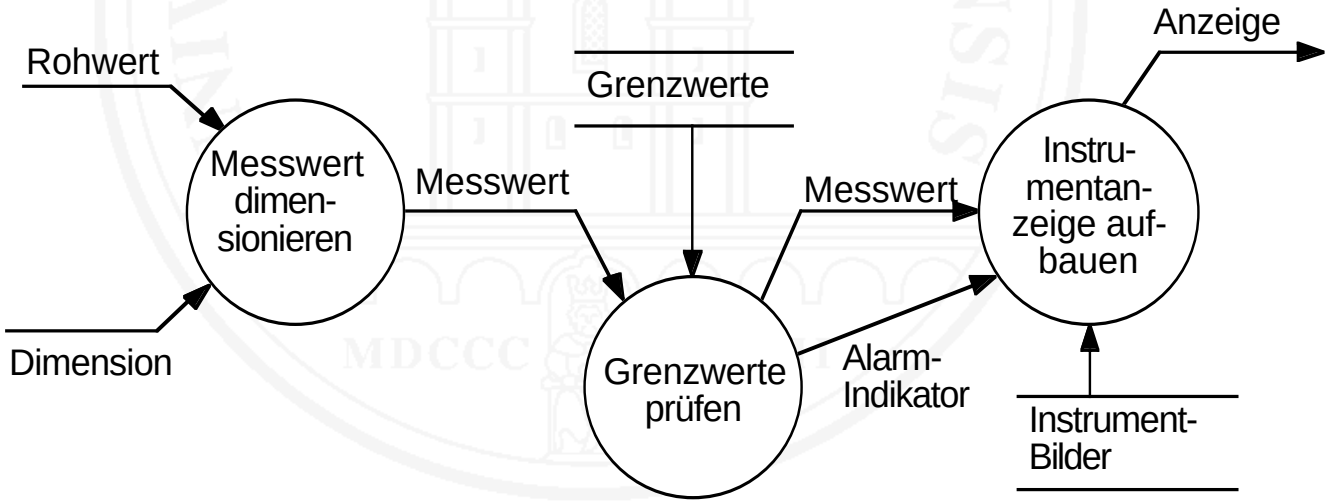
- Nachteile:
  - – Bei Verwendung von Text: umfangreich und wenig strukturiert; Zusammenhänge nicht erkennbar; fehlerträchtig und schwierig zu prüfen
  - – Bei Verwendung formaler Mitteln: sehr schwierig zu erstellen; Prüfung auf Adäquatheit oft fast unmöglich

⇨ Nur für die Darstellung der Anforderungen kleiner, überschaubarer Teilprobleme geeignet

Konstruktive Darstellung – 1



Beispiel



Konstruktive Darstellung – 2

Vorteile:

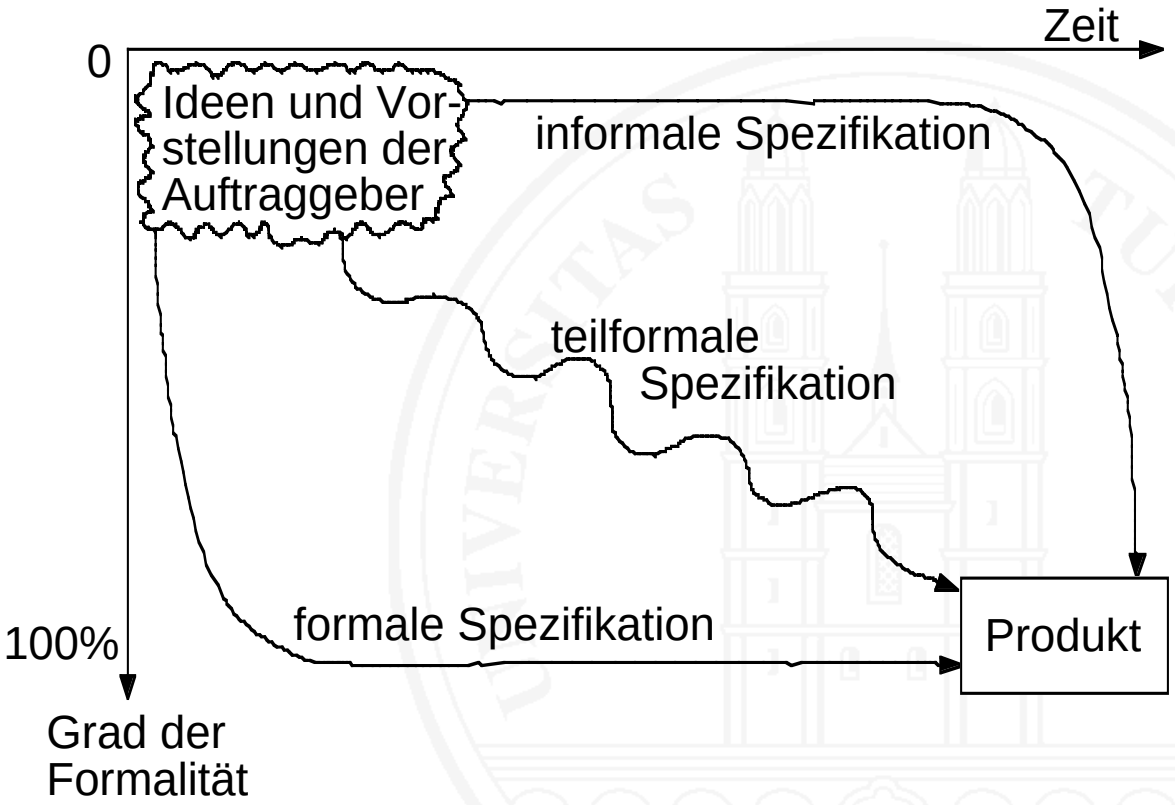
+ Anschauliches Modell der Problemstellung; leicht verstehbar und nachvollziehbar
+ Ermöglicht die Zerlegung der Gesamtaufgabe in kleinere, besser überschaubare Teilaufgaben
+ Kombination unterschiedlich stark formalisierter Teile möglich
+ Das Modell ist idealisierte Lösung: Tatsächliche Lösung oft analog strukturierbar

Nachteile:

– Modell ist idealisierte Lösung. Gefahr von
  - implementierungsorientierter Spezifikation
  - Implementierung suboptimaler Lösungen

➥ Vor allem für die Modellierung von Anforderungen im Großen geeignet

Formalitätsgrad der Darstellung



- informal, in der Regel deskriptiv mit natürlicher Sprache
- formal, deskriptive und konstruktive Verfahren möglich
- teilformal mit konstruktiven, anschaulichen Modellen

Mini-Übung 4.3: Informale Spezifikation

«Der Bediener drückt eine Wahltaste und bezahlt den geforderten Betrag. Sobald die Summe der eingeworfenen Münzen den geforderten Betrag übersteigt, wird das Getränk zubereitet und ausgegeben. Ferner wird das Wechselgeld berechnet und ausgegeben. Der Bedienvorgang endet, wenn das Getränk entnommen wird und wenn die Bedienung für länger als 45s unterbrochen wird. Mit einer Annulliertaste kann der Bedienvorgang jederzeit abgebrochen werden. Bereits eingeworfenes Geld wird beim Drücken der Annulliertaste zurückgegeben. Nach dem Drücken einer Wahltaste kann entweder bezahlt oder eine andere Wahltaste gedrückt werden. Die zuletzt getätigte Auswahl gilt.»

a. Lesen Sie den neben-stehenden Text zügig durch. Fallen Ihnen irgendwelche Probleme auf?

b. Lesen Sie den Text nochmals langsam und sorgfältig und markieren Sie alle Problemstellen

Risikogerechte Detaillierung

Welche Variante ist besser:

A. «Die Teilnehmer-Eingabemaske enthält Felder für Name, Vorname, Geschlecht und Adresse des Teilnehmers. »

B. «Die Teilnehmer-Eingabemaske enthält Felder für Name, Vorname, Geschlecht und Adresse des Teilnehmers. Namen- und Vornamenfelder sind je maximal 32 Zeichen lang und obligatorisch. Das System verwendet Unicode als Zeichensatz. Für die Eingabe des Geschlechts enthält die Maske zwei Ankreuzfelder, beschriftet mit männlich und weiblich. Die Voreinstellung ist männlich, Ankreuzungen schließen sich gegenseitig aus, eine Ankreuzung ist erforderlich. ...»

➪ Der notwendige Detaillierungsgrad wird bestimmt durch Abwägung

- der Kosten
- des Risikos, unbrauchbare Systeme zu erhalten
- des Entscheidungsspielraums für die Entwickler

Ausgewählte Spezifikationsmethoden und -sprachen

Informal

- Spezifikation mit natürlicher Sprache

Formal

- Algebraische Spezifikation

Teilformal

- Objektorientierte Spezifikation
- Spezifikation mit Anwendungsfällen
- Verhaltensspezifikation mit Automaten

Details dazu: siehe Vorlesung Informatik IIa: Modellierung

Anforderungsspezifikation mit natürlicher Sprache

- Weit verbreitet
- Nummerierung und Gliederungsschemata als Strukturierungsmittel
- Linguistische Methoden zur Verbesserung der Qualität

\+ Leicht zu schreiben und zu lesen
\+ Ausdrucksmächtig

– Unübersichtlich
– Fehlerträchtig
– Schwierig zu prüfen

➪ Weniger geeignet als alleiniges Mittel zur Beschreibung von Spezifikationen

Regeln für natürlichsprachliche Anforderungen

- Sätze mit vollständiger Satzstruktur zum jeweiligen Verb bilden
- Anforderung im Aktiv formulieren mit definiertem Subjekt
- Nur Begriffe verwenden, die im Glossar definiert sind
- Nomen mit unspezifischer Bedeutung („die Daten“, „der Kunde“, „die Anzeige“,...) hinterfragen und durch spezifische Nomen ersetzen oder mit präzisierenden Zusätzen ergänzen
- Für Verben, die Prozesse beschreiben, feste Bedeutungen festlegen
- Nominalisierungen hinterfragen; sie können unvollständig spezifizierte Prozesse verbergen
- Anforderungen in Hauptsätzen formulieren. Nebensätze nur zur Vervollständigung (wann, mit wem, unter welchen Bedingungen, ...)
- Pro Einzelanforderung ein Satz

Mini-Übung 4.4: Natürlichsprachliche Anforderungen

Beurteilen Sie die sprachliche Qualität der folgenden mit natürlicher Sprache formulierten Anforderungen an ein Bibliotheksverwaltungssystem:

«Einmal täglich muss kontrolliert werden, welche ausgeliehenen Bücher überfällig sind.»

«Das System soll Mahnungen verschicken.»

«Nach erfolgreicher Authentifizierung des Ausleihers soll die Ausleihe von einem oder mehreren Büchern möglich sein.»

«Bei jeder Ausleihe sollen die Daten auf der Anzeige erscheinen.»

«Damit die Ausleihe notfalls auch manuell erfolgen kann, soll die Benutzerkarte den Benutzernamen als Text und in maschinenlesbarer Form enthalten.»

Algebraische Spezifikation

- Deskriptive, formale Methode
- Primär für die formale Spezifikation komplexer Datentypen
- Syntax durch Signaturen (Definitions- und Wertebereiche) der Operationen
- Semantik durch Axiome (Ausdrücke, die immer wahr sein müssen)

+ Immer eindeutig (da Semantik formal definiert)
+ Widerspruchsfreiheit formal prüfbar
+ Erfüllung wichtiger Eigenschaften beweisbar
+ Formale Verifikation von Programmen möglich

– Erstellung sehr aufwendig
– Prüfung/Nachweis der Vollständigkeit wird nicht einfacher
– Schwer lesbar → Prüfung auf Adäquatheit schwierig

Algebraische Spezifikation – 2: Beispiel

Spezifikation eines Kellers (Stack)

Sei bool der Datentyp mit dem Wertebereich {false, true} und der Booleschen Algebra als Operationen. Sei ferner elem der Datentyp für die Datenelemente, die im spezifizierten Keller zu speichern sind.

```
TYPE Stack
FUNCTIONS
new:    ()              →  Stack;   -- neuen (leeren) Keller anlegen
push:   (Stack, elem)   →  Stack;   -- Element hinzufügen
pop:    Stack           →  Stack;   -- zuletzt hinzugefügtes Element entfernen
top:    Stack           →  elem;    -- liefert zuletzt hinzugefügtes Element
empty:  Stack           →  bool;    -- wahr, wenn Keller kein Element enthält
full:   Stack           →  bool;    -- wahr, wenn Keller voll ist
```

Algebraische Spezifikation – 3: Beispiel (Fortsetzung)

AXIOMS

∀ s ∈ Stack, e ∈ elem

(1)	¬ full(s) → pop(push(s,e)) = s	-- Pop hebt den Effekt von Push auf
(2)	¬ full(s) → top(push(s,e)) = e	-- Top liefert das zuletzt gespeicherte Element
(3)	empty(new) = true	-- ein neuer Keller ist leer
(4)	¬ full(s) → empty(push(s,e)) = false	-- nach Push ist ein Keller nicht mehr leer
(5)	full(new) = false	-- ein neuer Keller ist nicht voll
(6)	¬ emtpy(s) → full(pop(s)) = false	-- nach Pop ist ein Keller niemals voll

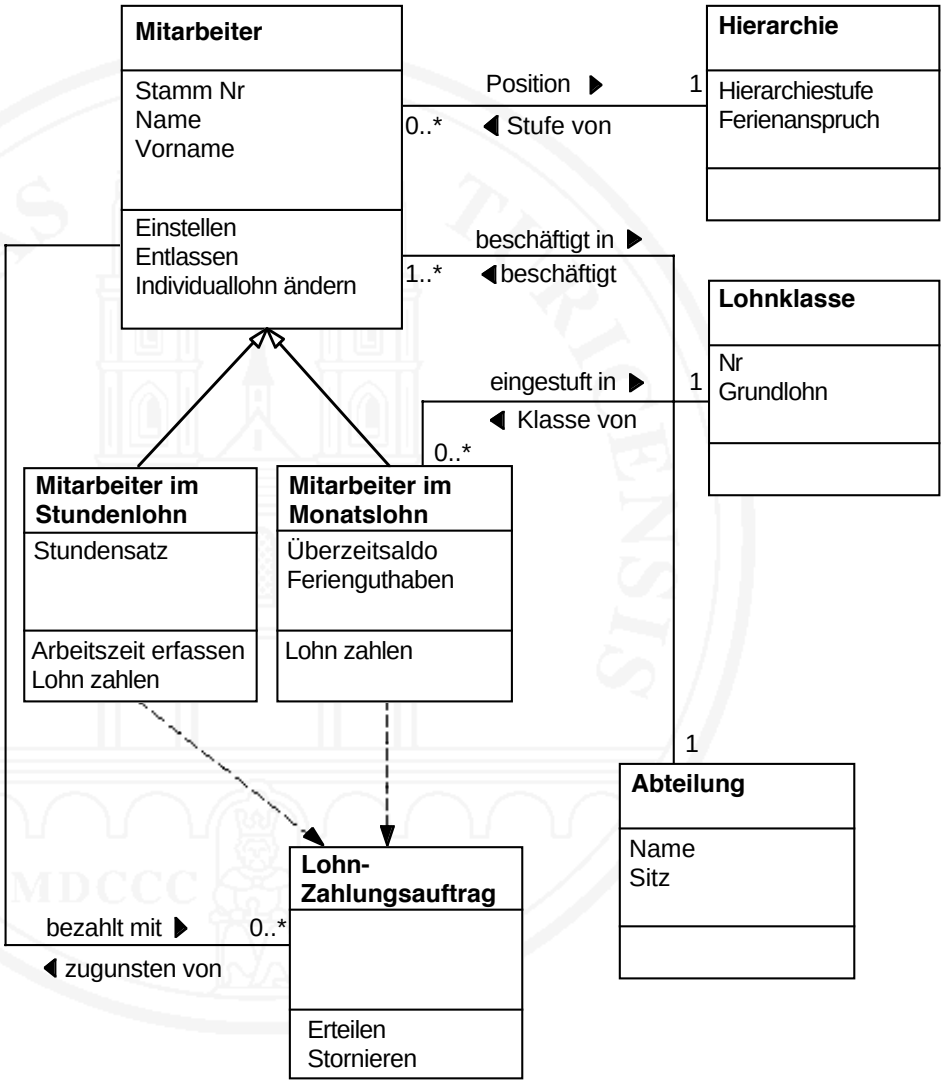
Objektorientierte Spezifikation

- Grundidee:
  - Systembeschreibung durch Objekte
  - Jedes Objekt beschreibt in sich geschlossenen Teil der Daten, der Funktionalität und des Verhaltens eines Systems
  - Abbildung eines Ausschnitts der Realität auf Objekte/Klassen
  - Objekte kapseln logisch zusammengehörige Daten, Operationen und Verhaltensweisen
  - Gleichartige Objekte werden als Klassen modelliert.
- Konstruktives, teilformales Verfahren
- Anfänglich eine Vielzahl verschiedener Ansätze, z. B. Booch, Coad und Yourdon, Jacobson, Rumbaugh, Wirfs-Brock
- Industriestandard heute: UML (Unified Modeling Language)

Objektorientierte Spezifikation – 2: Klassenmodell

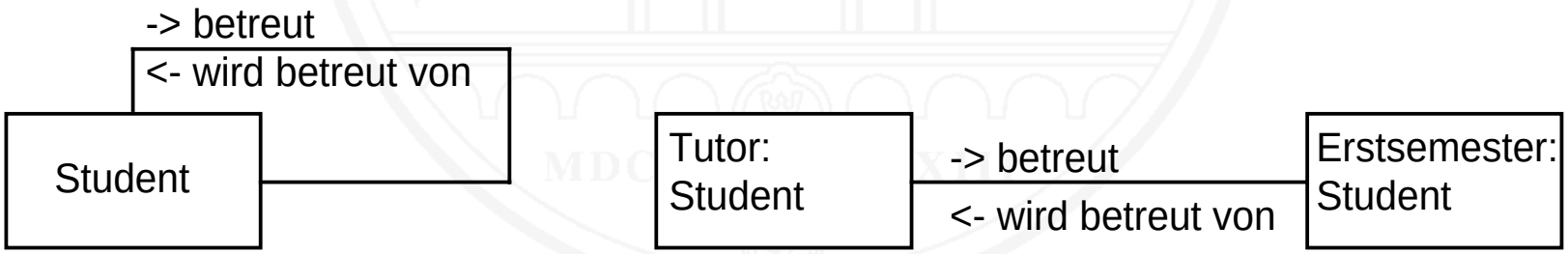
Beispiel eines Klassenmodells...

...in der Notation der Unified Modeling Language (UML)



Objektorientierte Spezifikation – 3: Objektmodelle

- Alternative oder Ergänzung zu Klassenmodellen
- Modellierung abstrakter Objekte
- Stehen als Muster bzw. Repräsentanten für konkrete Objekte
- In UML nur als Ergänzung zu Klassenmodellen verwendet
- Objektmodelle anstelle von Klassenmodellen: große Vorteile, wenn
  - verschiedene Objekte der gleichen Klasse zu modellieren sind
  - ein Modell hierarchisch in Komponenten zerlegt werden soll



Klassenmodell Objektmodell

Objektorientierte Spezifikation – 4: Vor- und Nachteile

+ Gut geeignet zur Beschreibung der Systemstruktur
+ Unterstützt Lokalität von Daten und Einkapselung von Eigenschaften
+ Erlaubt strukturähnliche Implementierungen
+ Systemdekomposition möglich

– Funktionalität aus Benutzersicht wird nicht modelliert
– Verhaltensmodelle nur schwach integriert
– Dekomposition häufig nicht unterstützt

Spezifikation mit Anwendungsfällen – 1

- Klassenmodelle modellieren den Systemkontext und die Interaktionen zwischen System und Umgebung nicht
- Diese sind aber wichtig. Darum
- ➪ Ergänzung durch Anwendungsfallmodelle

Anwendungsfall (use case) – Eine durch genau einen Akteur angestoßene Folge von Systemereignissen, welche für den Akteur ein Ergebnis produziert und an welchem weitere Akteure teilnehmen können.

- Anwendungsfälle modellieren die Interaktion zwischen systemexternen Akteuren und dem System
- Pro Interaktionssequenz ein Anwendungsfall
- Teilformales, konstruktives Verfahren

Spezifikation mit Anwendungsfällen – 2

- Modellierung der einzelnen Anwendungsfälle
  - informal durch Text, z.T. formatiert durch Schlüsselworte

> Buch ausleihen
> 1. Ausweiskarte der Benutzerin lesen und Angaben überprüfen
> 2. Signatur eines Buchs lesen und zugehörigen Katalogeintrag ermitteln
> 3. Ausleihe registrieren und Diebstahlsicherungsetikett deaktivieren
> 4. ...

  - teilformal, z.B. mit Zustandsautomaten

\+ Modellierung aus Benutzersicht: leicht verstehbar und überprüfbar

\+ Hilft bei der Abgrenzung zwischen System und Kontext

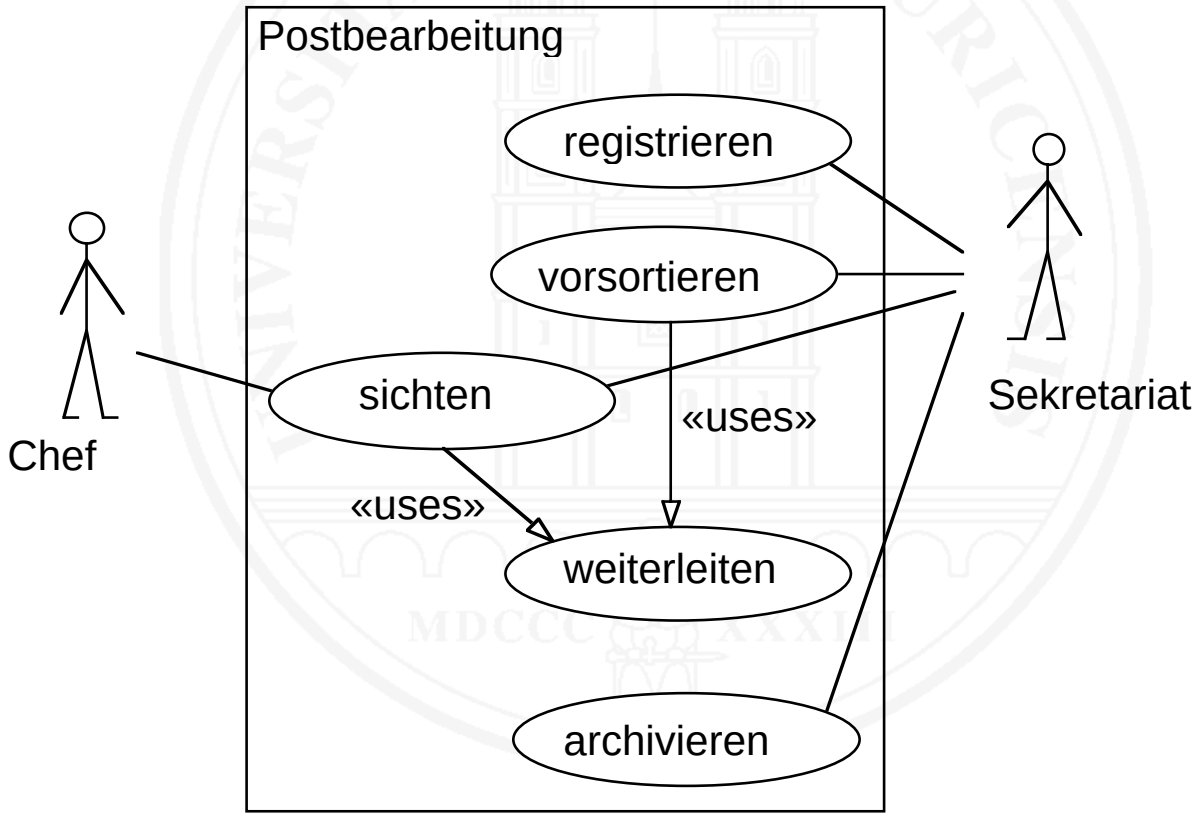
\+ Dekomposition möglich

– Zusammenhänge / Abhängigkeiten zwischen Szenarien nicht modelliert

– Statische Struktur nicht modelliert

Spezifikation mit Anwendungsfällen – 3

- Modellierung des Systemkontextes und der Menge aller Anwendungsfälle: Anwendungsfalldiagramm

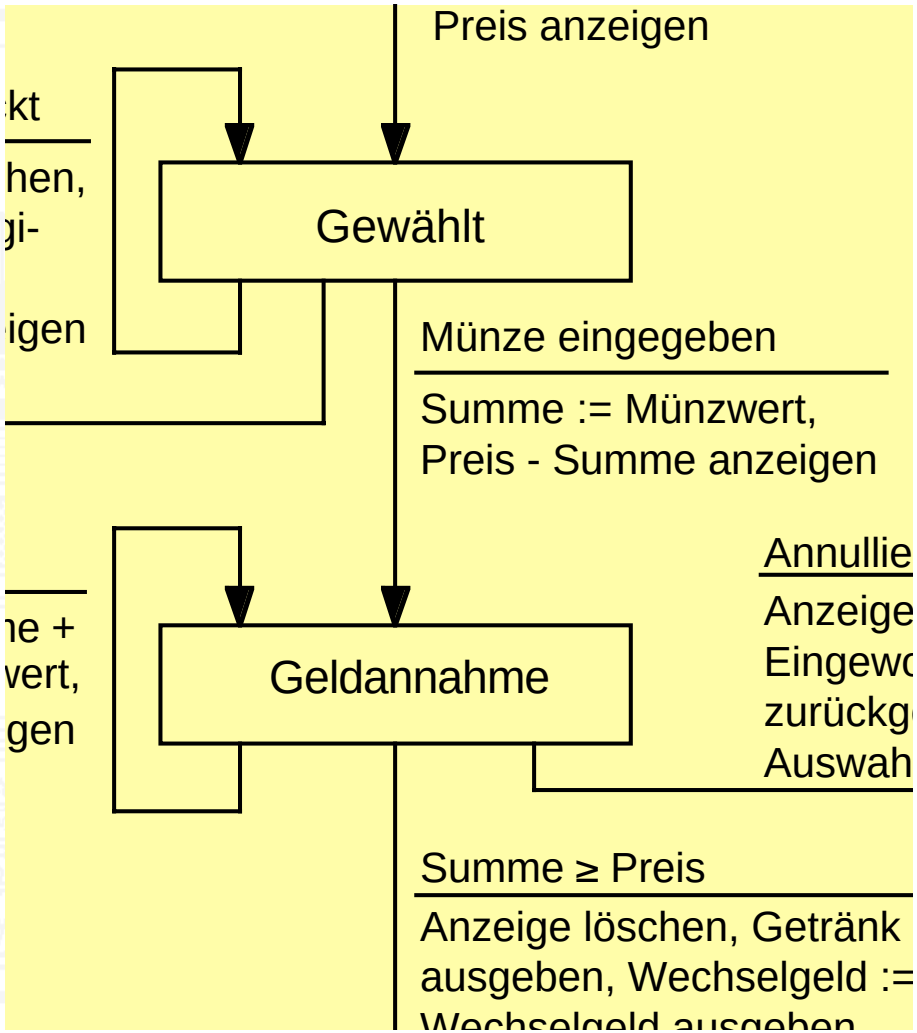


Verhaltensspezifikation mit Automaten

- ❍ Modellierung des zeitlich-dynamische Systemverhaltens
- ❍ Basis: Zustandsautomaten
- ❍ Teilformales, konstruktives Verfahren

+ Leicht nachvollziehbar und simulierbar
+ Dekomposition möglich

– Aktionen meist nur genant, aber nicht modelliert
– Statische Struktur nicht modelliert



Spezifikation von Attributen und Randbedingungen

- Zu den Inhalten siehe oben („Inhalt einer Anforderungsspezifikation“)
- In der Regel mit natürlicher Sprache ausgedrückt
- Attribute charakterisieren
  - das ganze System
    ➥ als globale Attribute dokumentieren
  - eine einzelne funktionale Anforderung
    ➥ zusammen mit dieser dokumentieren
  - querschneidend eine Menge von funktionalen Anforderungen
    ➥ separat dokumentieren mit Querverweisen
- Randbedingungen werden in der Anforderungspezifikation separat als eigene Anforderungsart dokumentiert

Prinzipien

- Abweichungen von der geforderten Qualität der Spezifikation feststellen
- möglichst viele Fehler, Lücken, Unklarheiten, Mehrdeutigkeiten, etc. finden und beheben
- Konflikte zwischen den Wünschen / Forderungen verschiedener beteiligter Personen erkennen und lösen
- Verdeckte Wünsche / Erwartungen / Befürchtungen erkennen und thematisieren

Organisation

- Vertreter aller Beteiligten einbeziehen
  - Endbenutzer
  - Auftraggeber
  - Betreiber
  - Entwickler
  - Projektleitung
  - ...

Zeitpunkt(e):

(1) Fortlaufend, d.h. begleitend zur Erstellung der Spezifikation, z. B. Autor-Kritiker-Zyklus

(2) Wenn die Spezifikation fertig ist (aber noch genug Zeit bleibt, die gefundenen Mängel zu beheben)

Prüfverfahren

- Review (vgl. Kapitel 9)
  - Das Mittel der Wahl zur Prüfung von Spezifikationen
  - Walkthrough: Autor führt durch das Review
  - Inspektion: Gutachter prüfen eigenständig, tragen in Sitzung Befunde zusammen
  - Autor-Kritiker-Zyklus: Kunde liest und kritisiert, bespricht Befunde mit Autor
- Prüf- und Analysemittel in Werkzeugen
  - Einsatz bei werkzeuggestützter Erstellung der Spezifikation
  - Auffinden von Lücken und Widersprüchen

Prüfverfahren – 2

- Simulation/Animation
  - Untersuchung der Adäquatheit des Systemverhaltens
  - Dynamisches Verhalten des spezifizierten Systems wird durch Simulator ausgeführt und/oder durch Animator visualisiert
- Prototyp (vgl. Kapitel 13)
  - Beurteilung der Adäquatheit / praktischen Brauchbarkeit des spezifizierten Systems anhand der im Prototyp realisierten Systemteile
  - Erprobung eines Systems in der geplanten Einsatzumgebung
  - Modell für das zu schaffende Produkt
  - Mächtigstes (aber auch aufwendigstes) Mittel zur Beurteilung der Adäquatheit

Requirements Management

- Anforderungen stabil halten und
- Veränderung kontrolliert zulassen

⇨ Konfigurationsmanagement für Anforderungen

- Anforderungen einzeln identifizierbar
- Geordneter Änderungsprozess
- Klare Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten
- Rückverfolgbarkeit aller Entscheide und Änderungen

⇨ Verfolgbarkeit (traceability)

- Rückwärts: Wo kommt welche Anforderung her?
- Vorwärts: Wo ist welche Anforderung entworfen bzw. implementiert?
- Wie hängen Anforderungen voneinander ab?

⇨ Beherrschen der Evolution von Anforderungen

Literatur

Siehe Literaturverweise im Kapitel 7 des Skripts. Weitere Quellen:

M. Glinz (2005). Rethinking the Notion of Non-Functional Requirements. *Proceedings of the Third World Congress for Software Quality (3WCSQ 2005)*, München, Vol. II, 55-64.

M. Glinz (2007). On Non-Functional Requirements. *Proceedings of the 15th IEEE International Requirements Engineering Conference*, Delhi, India. 21-26.

Im Skript [M. Glinz (2005). *Software Engineering*. Vorlesungsskript, Universität Zürich] lesen Sie Kapitel 7.

Im Begleittext zur Vorlesung [S.L. Pfleeger, J. Atlee (2006). *Software Engineering: Theory and Practice*, 3rd edition. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education International] lesen Sie Kapitel 4 und Kapitel 6.3-6.4.