

VORLESUNG

Automatisierung industrieller Workflows

Teil A: Aspekte von Modellierung und Simulation dynamischer Systeme

Joachim Fischer

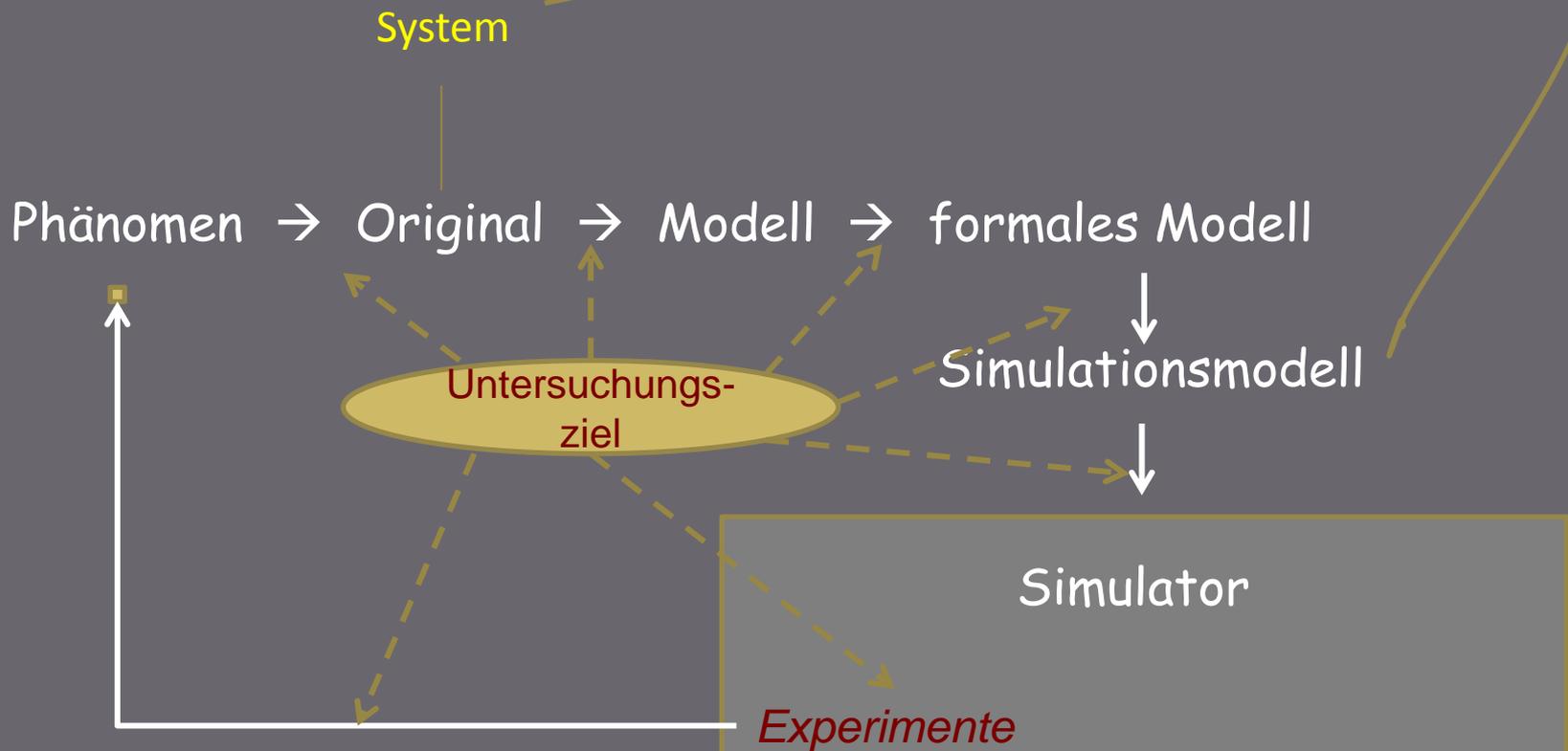
Inhalt (bisher)

- ④ **Teil A**
Aspekte von Modellierung und Simulation dynamischer Systeme
- ④ **Teil B**
Die Modellierungssprache UML
- ④ **Teil C**
Die ausführbare Modellierungssprache SLX
- ④ **Teil D**
Modellierung von Lieferketten

- ④ **A.1**
Systemsimulation - was ist das?
- ④ **A.2**
Ein Blick zurück in die Anfänge
- ④ **A.3**
Modelle und Originale
- ④ **A.4**
Modellierungssprachen, Simulationsumgebungen
- ④ **A.5**
Beispiele aus der **aktuellen** Forschung
- ④ **A.6**
Paradigma der objektorientierten Modellierung
- ④ **A.7**
Klassifikation dynamischer Systeme
- ④ **A.8**
Schmiederwerke Gröditz

Konzepte (Wdh.)

Bedeutung strukturäquivalenter Modelle



- a) *Zu Beginn Modellvalidierung (Gültigkeit/Anwendbarkeit des Modells)*
- b) *Interpretation der eigentlichen Experimente*

Inhalt (Forts.)

- ④ **Teil A**
Aspekte von Modellierung und Simulation dynamischer Systeme
- ④ **Teil B**
Die Modellierungssprache UML
- ④ **Teil C**
Die ausführbare Modellierungssprache SLX
- ④ **Teil D**
Modellierung von Lieferketten

- ④ **A.1**
Systemsimulation - was ist das?
- ④ **A.2**
Ein Blick zurück in die Anfänge
- ④ **A.3**
Modelle und Originale
- ④ **A.4**
Modellierungssprachen, Simulationsumgebungen
- ④ **A.5**
Beispiele aus der **aktuellen** Forschung
- ④ **A.6**
Paradigma der objektorientierten Modellierung
- ④ **A.7**
Klassifikation dynamischer Systeme
- ④ **A.8**
Schmiederwerke Gröditz

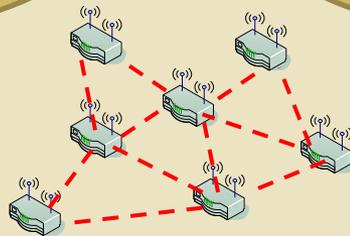
Auf dem Weg zu SmartCity-Lösungen

Model-based support for system life cycle

Earthquake
Early Warning
&
Rapid Response



Traffic
Surveillance
(Anonymous
Capturing of
Vehicle Traffic)



wireless meshed networks
with sensors
as suitable
vagabond or
permanently installed
IT infrastructures

Smart City



Humboldt Wireless Lab (HWL) - Adlershof

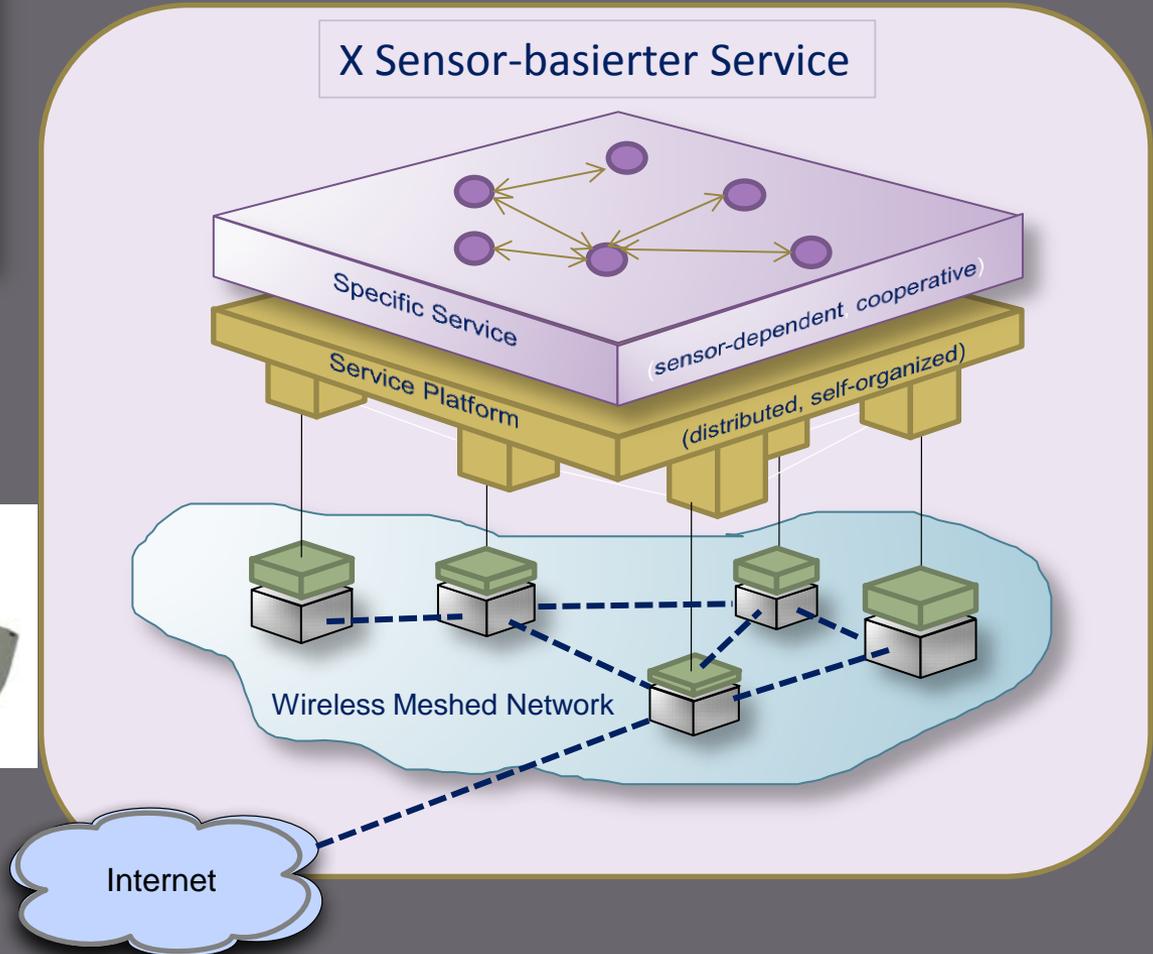


Weitere Dienste, mit Prototyplösung (3)

Sensoren

- Luftfeuchte, Temperatur
- Geigerzähler
- Feinstaub

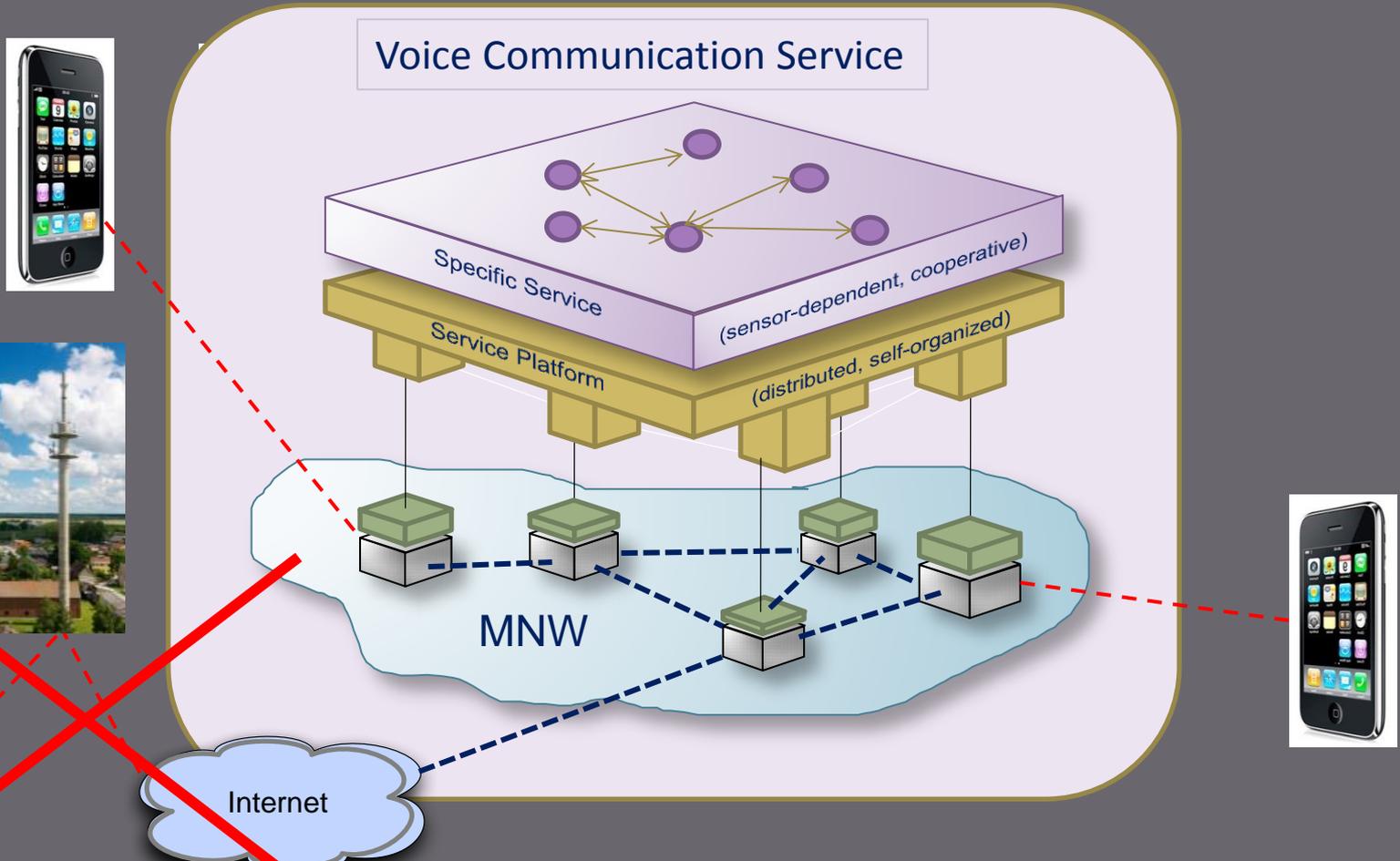
drahtlose Hausautomatisierung



unser Interesse:

Datenströme mit Raum-Zeit-Bezug (Infrastruktur, Analyse, Integration)

Weitere Dienste, nice to have (1)



UMTS
GSM
LTE



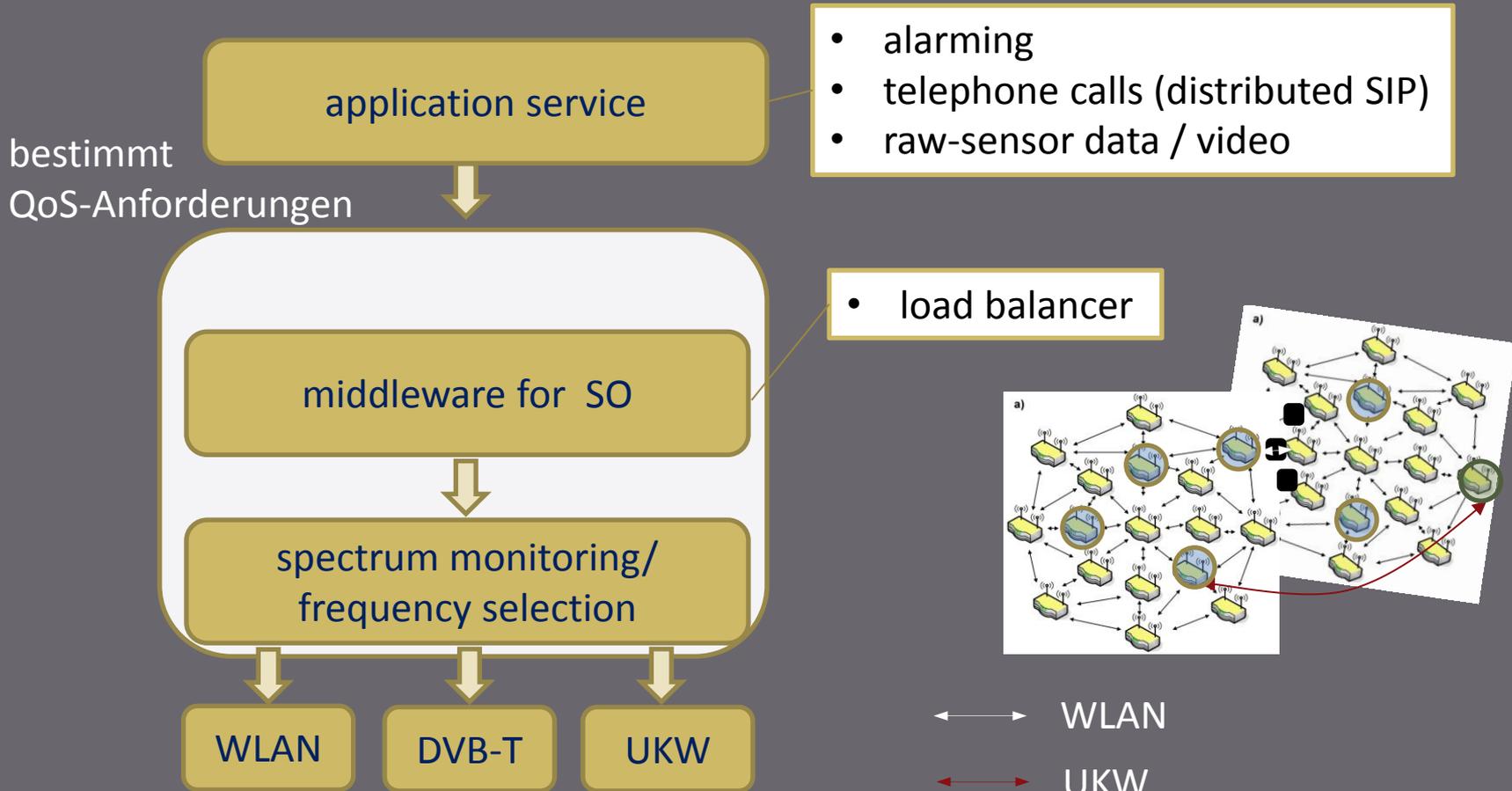
Katastrophe

METRIK – Präsentation, 17.4.2012



QoS-abhängige Nutzung des Funkspektrums

BMBF-Antrag ~ nicht alle Bäume wuchsen in den Himmel



Multi-sensorische Erfassung, Verarbeitung und Verknüpfung großstädtischer Geo-Daten-Ströme

preiswerte Sensorik
lockere bis dichte Verteilung
(Indoor, Outdoor)

Datenerfassung

GIS-Systeme
3D-Stadtmodelle

Transport und Vorverarbeitung

Drahtlos (Sensornetzwerke,
Maschennetzwerke, zelluläre Netzwerke)

Auswertung und Verknüpfung

mit Kontextinformationen bei
Homogenisierung
(Daten unterschiedlicher Abstraktion,
Zuverlässigkeit, Genauigkeit)

Nutzbarmachung/ Anwendung

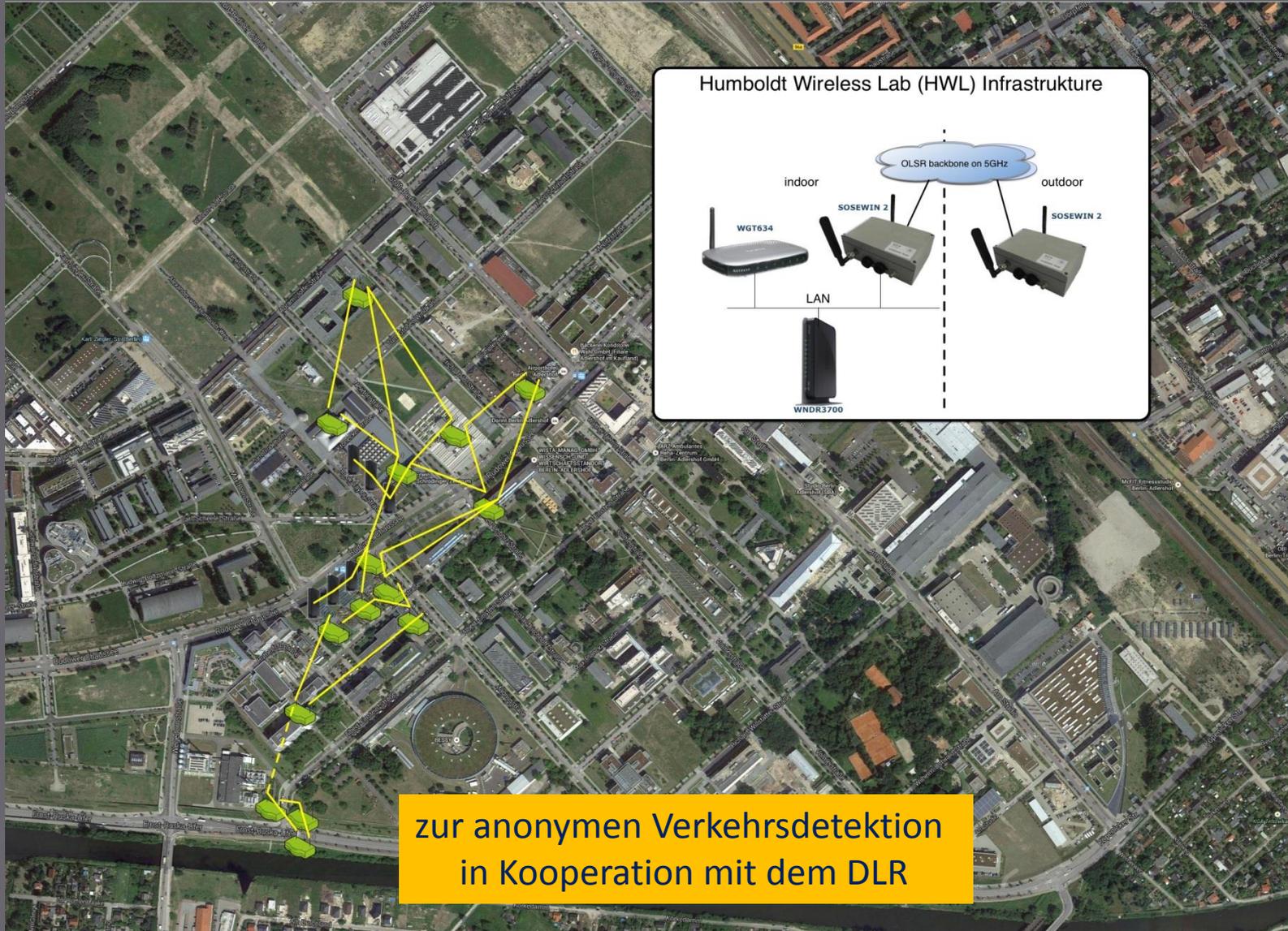
anwendungsspezifisch

Speicherung

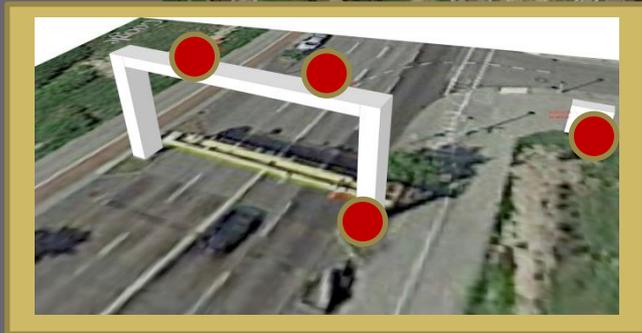
verteilte DB, Clouds,
massiv-parallele Systeme

algorithmische Komplexität,
Datenkomplexität,
Datenheterogenität,
Datensicherheit,
Infrastrukturheterogenität,
Kostenproblem,
juristische Aspekte

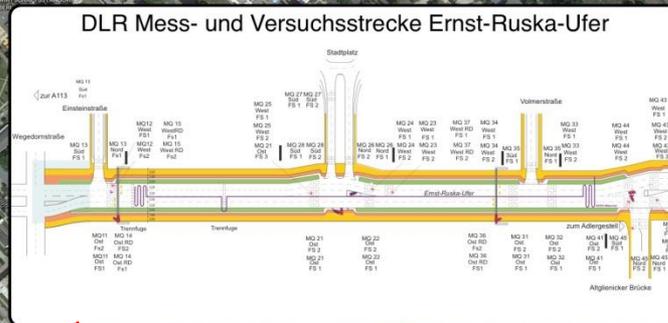
Ausbau des Humboldt Wireless Lab



EU-Projekt-Antrag UPTOWN (Deutscher Pilot)



seit Anfang 2014 installiert
Datensammlung noch nicht aktiviert



EU-Projekt-Antrag UPTOWN (Deutscher Pilot)



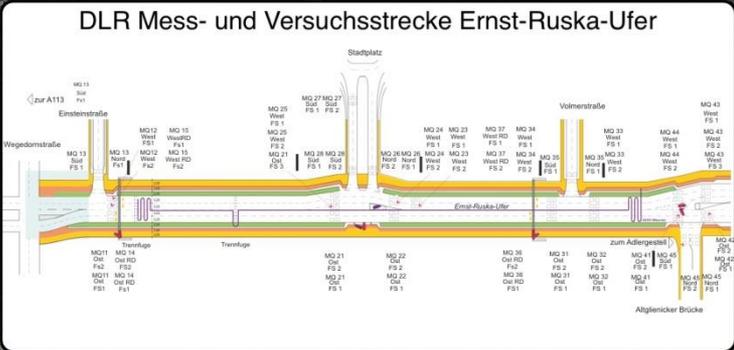
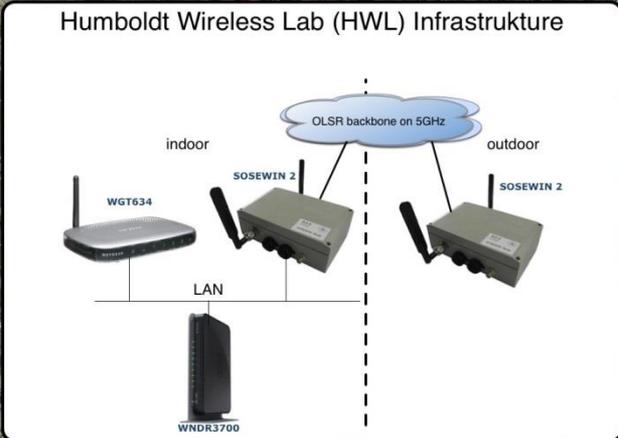
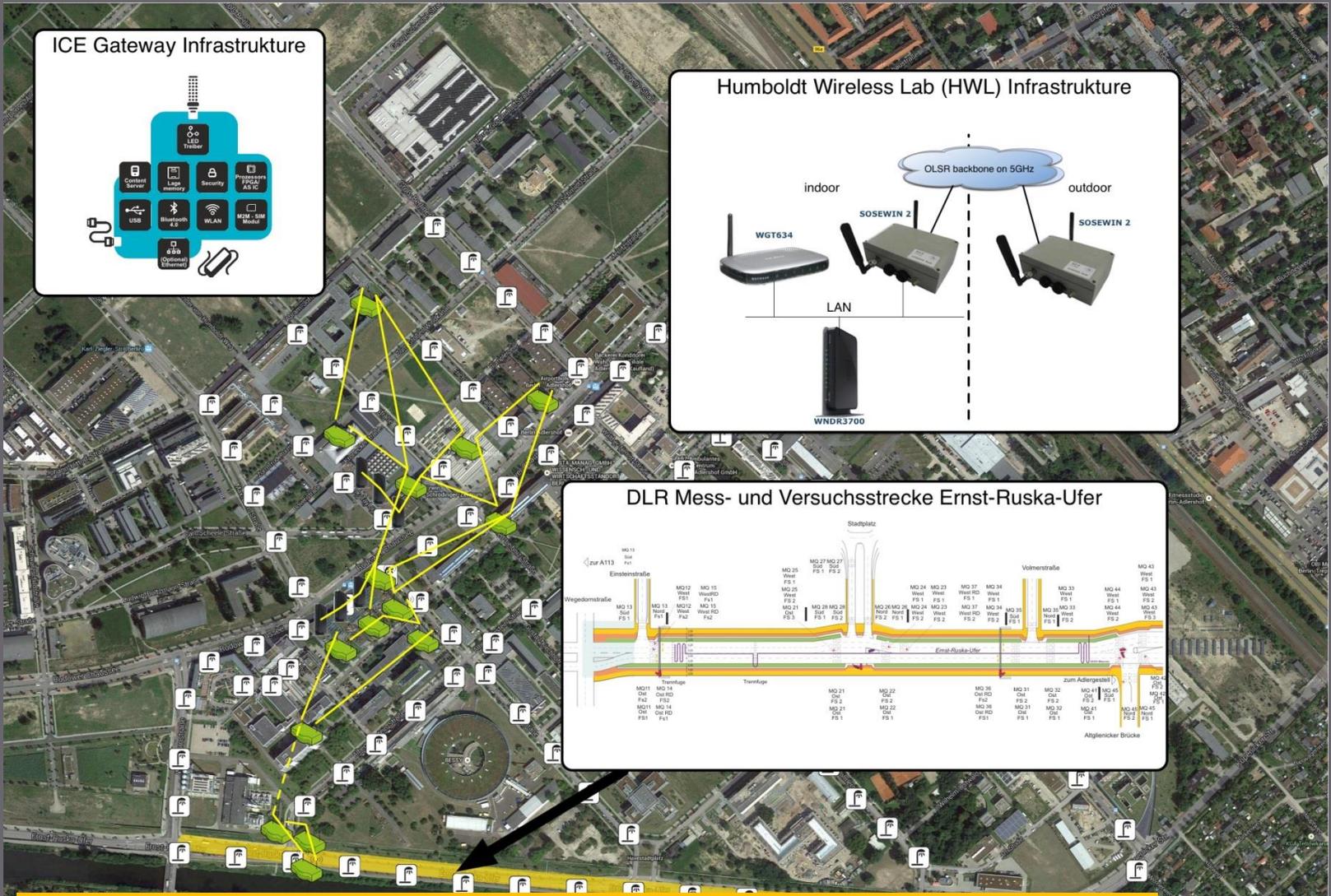
LED-Lampen

- energiesparend
- anpassungsfähig (architektonisch)
- steuerbare LED-Lampen

HW-SW-Lösung von ICE

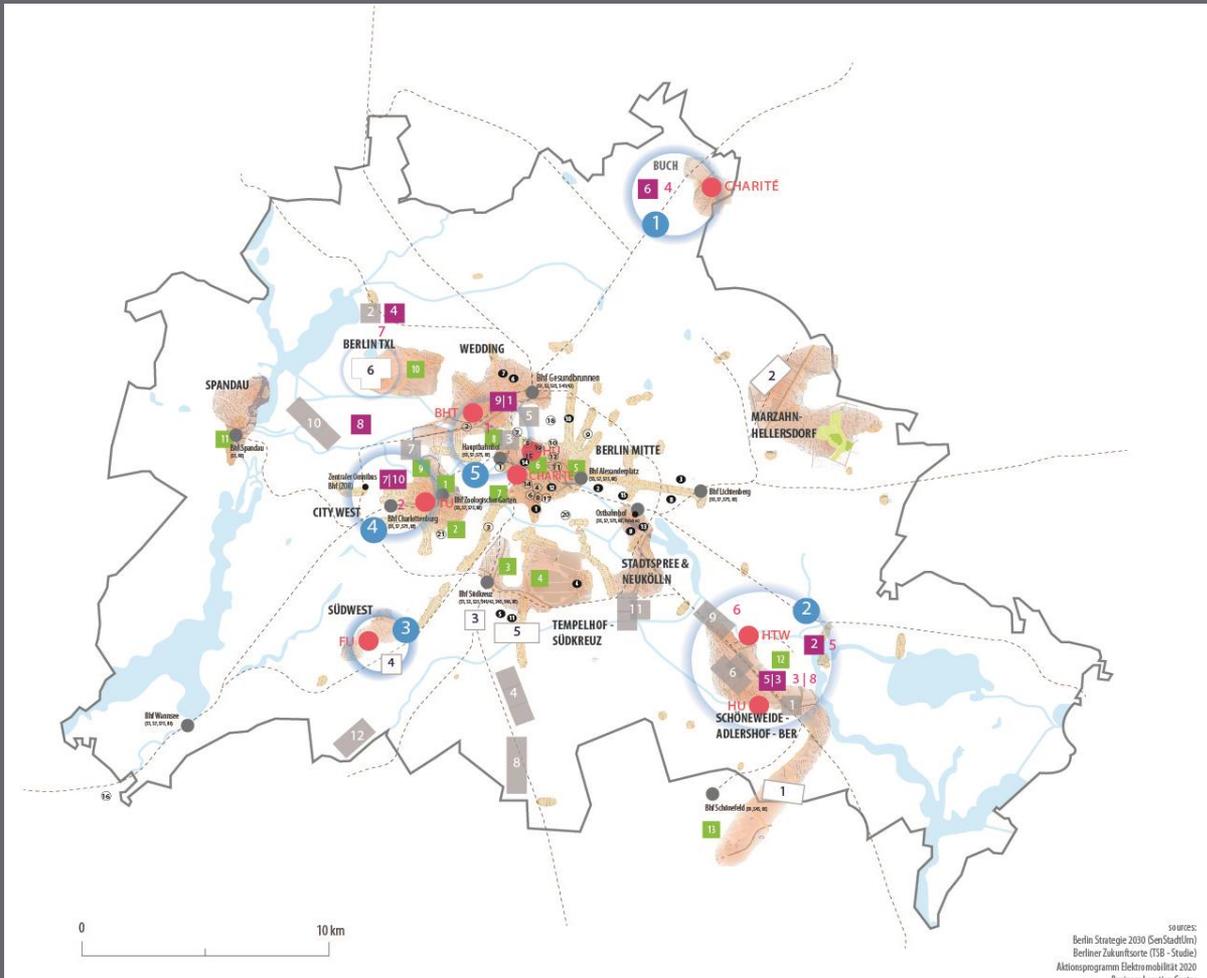
- ARM-Prozessor
- Linux
- WLAN
- Sim-Karte (M2M-Netz)
- USBs (weitere Sensoren)

EU-Projekt-Antrag UPTOWN (Deutscher Pilot)



Ziel-1: Verkehrs- und tageszeitabhängige Steuerung der Lichtenergie

Entwicklungsgebiete der WISTA



Ziel-2: Hochrechnung von Energieeinsparung in anderen Entw.-Gebieten von Berlin

Inhalt

- ④ **Teil A**
Aspekte von Modellierung und Simulation dynamischer Systeme
- ④ **Teil B**
Die Modellierungssprache UML
- ④ **Teil C**
Die ausführbare Modellierungssprache SLX
- ④ **Teil D**
Modellierung von Lieferketten

- ④ **A.1**
Systemsimulation - was ist das?
- ④ **A.2**
Ein Blick zurück in die Anfänge
- ④ **A.3**
Modelle und Originale
- ④ **A.4**
Modellierungssprachen, Simulationsumgebungen
- ④ **A.5**
Beispiele aus der aktuellen Forschung
- ④ **A.6**
Paradigma der objektorientierten Modellierung
- ④ **A.7**
Klassifikation dynamischer Systeme
- ④ **A.8**
Schmiederwerke Gröditz

Modellierungsparadigmen

... Objektorientiertes Modellierungsparadigma: bestimmt durch spezifische Abstraktionsprinzipien

- Klassifikation /Exemplifikation
- Instanz/Objekt:
 - Identität (Referenz),
 - Struktur,
 - Verhalten
- **Unterscheidung:**
aktive und passive Klassen
- Beziehungen zwischen Instanzen / Instanzmengen
- Beziehung zwischen Klassen
 - Spezialisierung / Generalisierung
 - abstrakte und konkrete Klassifizierer
- Polymorphie von (getypten) Objekt-Referenzen

zusätzlich benötigte
Konzepte:

Gruppierung von
Modellelementen

Komposition/
Dekomposition

Nebenläufigkeit/
Parallelität/
Synchronisation

zeitdiskretes/
zeitkontinuierliches
Verhalten

stochastisches
Verhalten

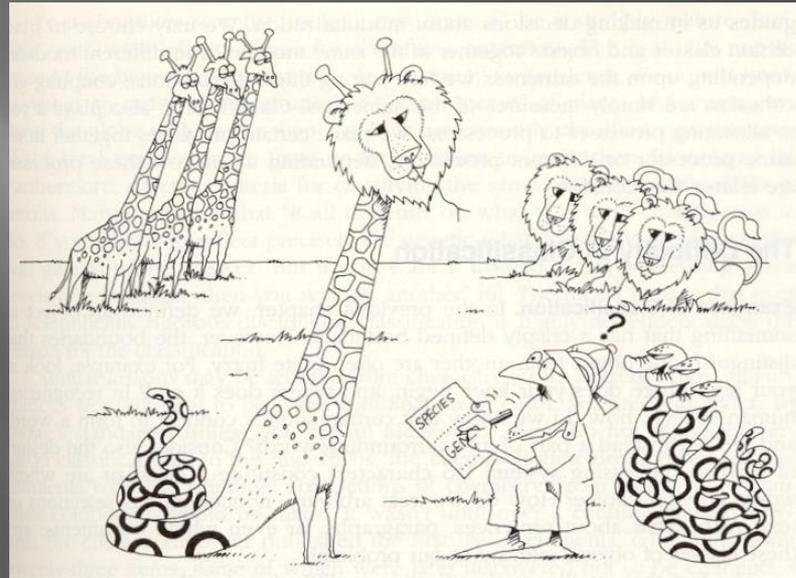
Klassifikation / Exemplifikation

- in UML:

Classifier

Instanz/Objekt

nach Grady Booch



Klassifikation von Objekten

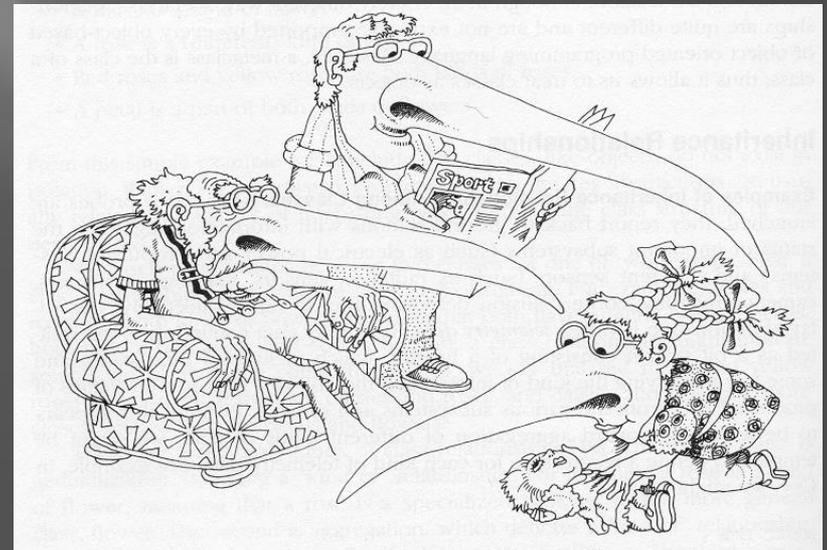
Klassifikation = herausfinden und ordnen von Gemeinsamkeiten verschiedener Objekte

Beziehungen zwischen Classifiern (z.B. Klassen)

In UML:

Spezialisierung / Verallgemeinerung (Generalisierung)

- viele Objekte haben Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede bezüglich ihres Verhaltens und ihrer Attribute
- Spezialisierung bedeutet Wiederverwendung der allgemeineren Konzepte
- Generalisierung durch Klassifikation

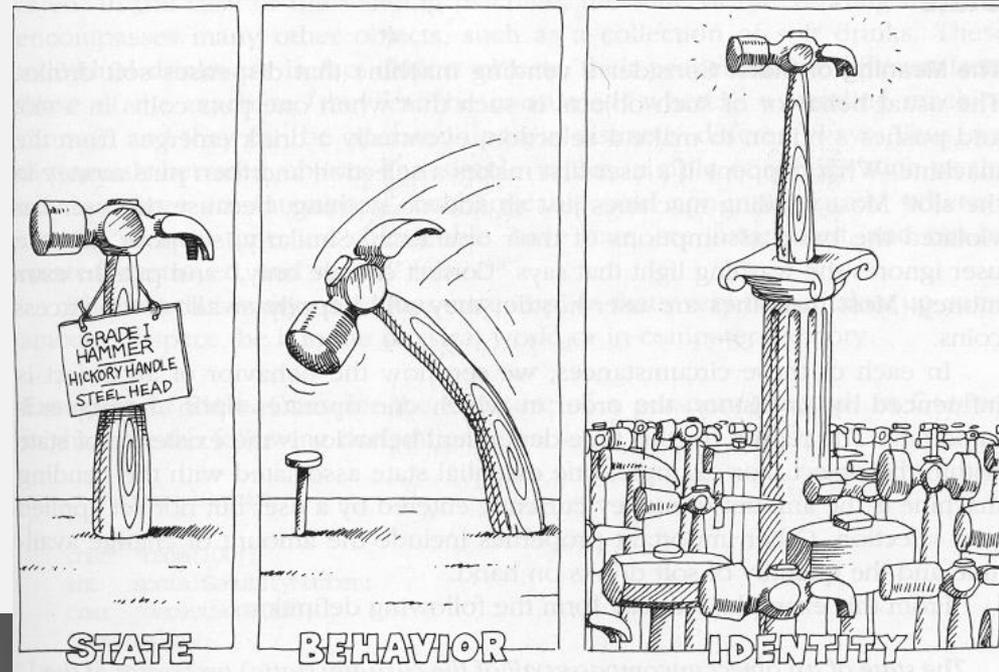


Grady Booch

Instanzen

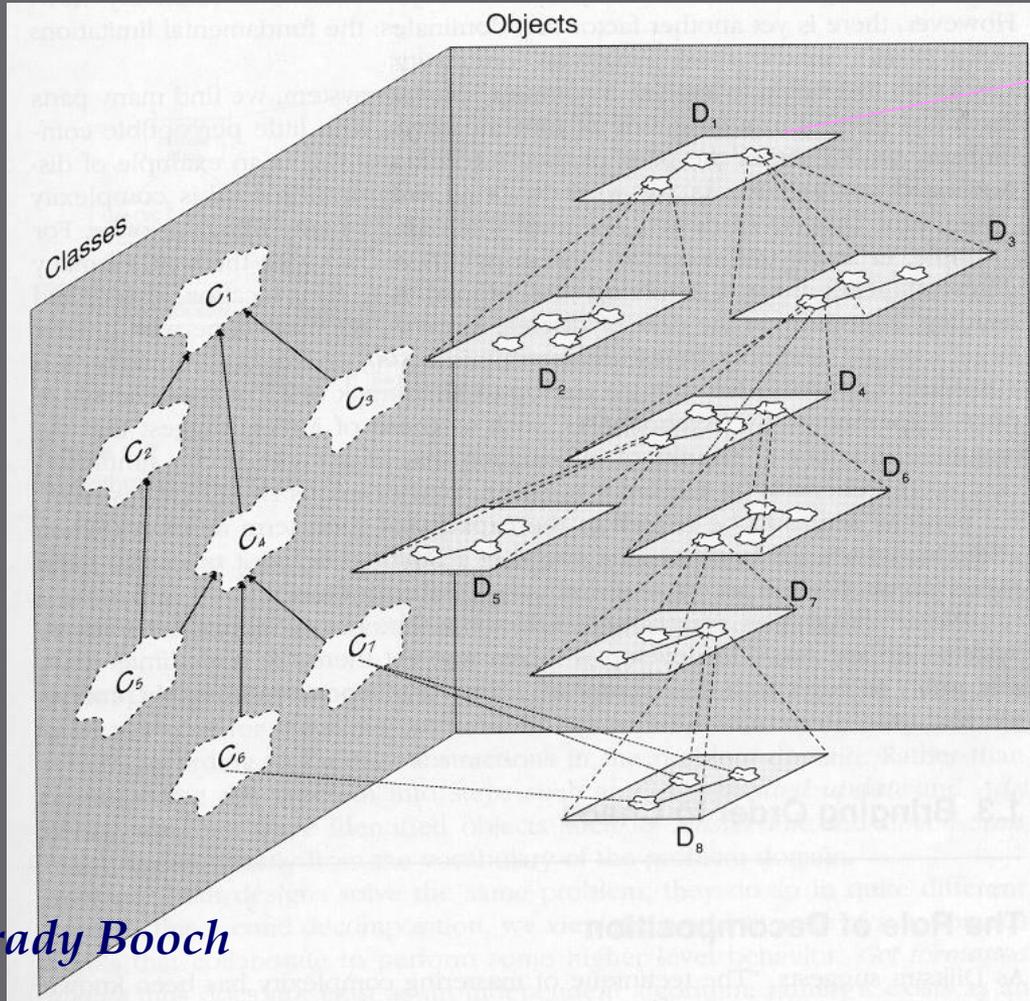
- jede Instanz einer Klasse ist ein Objekt, das individuell angesprochen und manipuliert werden kann
- jede Instanz hat
 - Identität
 - Zustand (Menge der Attributwerte zu einem Zeitpunkt)
 - Verhalten in Wechselwirkung mit anderen Instanzen

nach Grady Booch



Komposition / Dekomposition

Systemkonfiguration



Grady Booch

Klassifikation

Spezialisierung

Exemplifikation

Komposition

Wiederverwendung

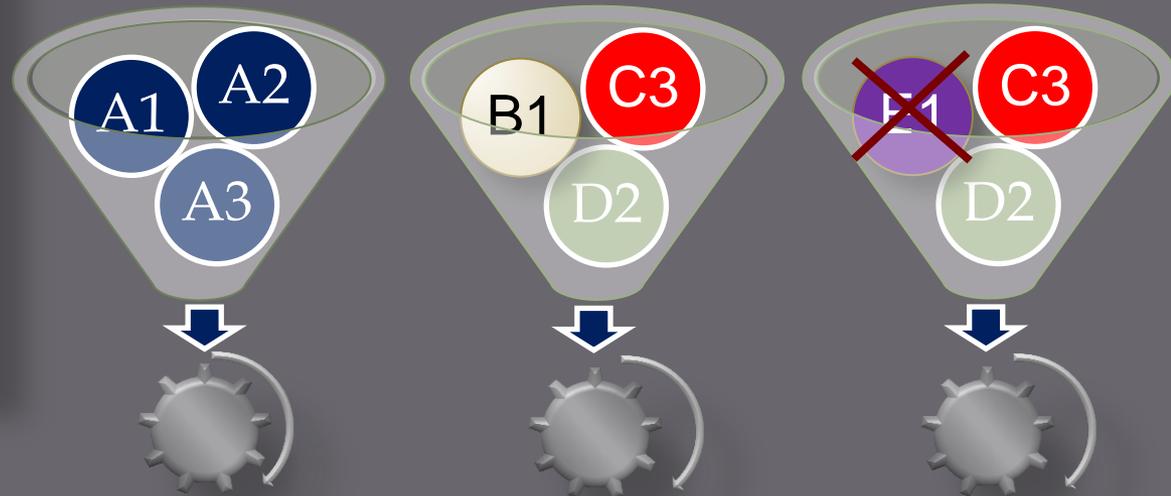
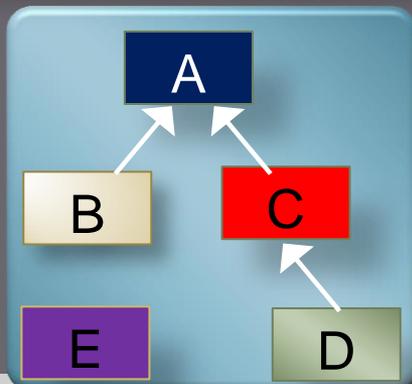
Konzept zur Bildung von Instanz/Objekt-Hierarchien

Polymorphie

Vielgestaltigkeit von Objektreferenzen

überall dort, wo die Verarbeitung von **Objekten einer (Basis-) Klasse** definiert ist,

lässt sich auch eine Verarbeitung von Objekten organisieren, die von direkten oder indirekten Spezialisierungen Instanziiert worden sind



Verarbeitung wurde für A-Objekte ausgelegt

Modellierungsparadigmen

Objektorientiertes Abstraktionskonzepte

eigenverantwortlich handelnde,
interagierende Dinge (Objekte)

- Zustand (Attribute)
- individuelles Verhalten (Methoden, Dienste)
- Identität (Referenz)

2. Klassifikation (Definition von Objekten)

3. Unterscheidung zw.

- aktiven und
- passive Klassen

4. Identifikation verschiedenster
Beziehungen zw. Instanzen
(bzw. Instanzmengen)

- Navigierbarkeit
- Abhängigkeit
- ...

5. Beziehung zwischen Klassen

- Spezialisierung / Generalisierung
- abstrakte und konkrete Klassifizierung

6. Polymorphie von (getypten) Referenzen

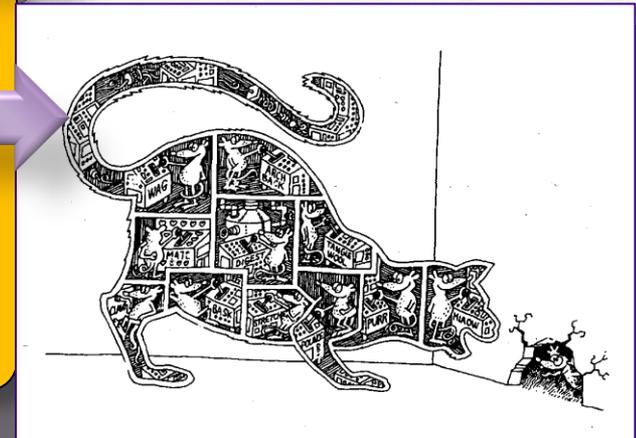
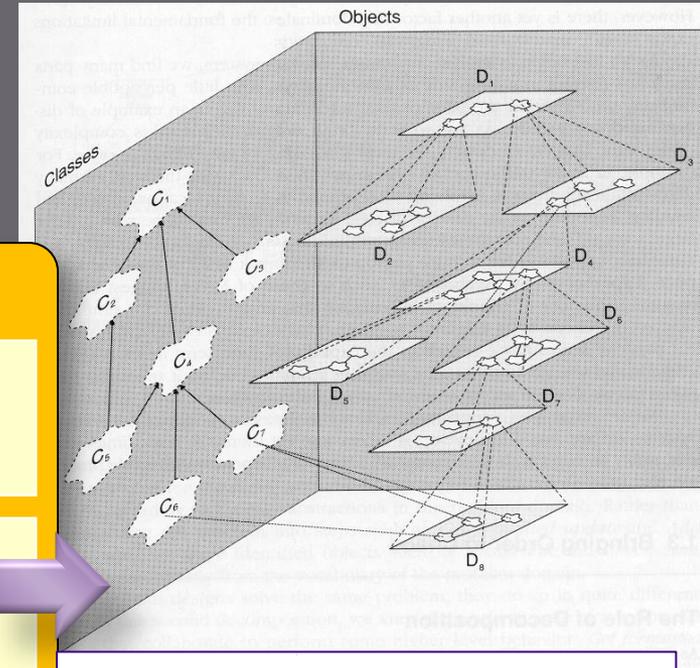
zusätzlich ...

Gruppierung von
Modellelementen

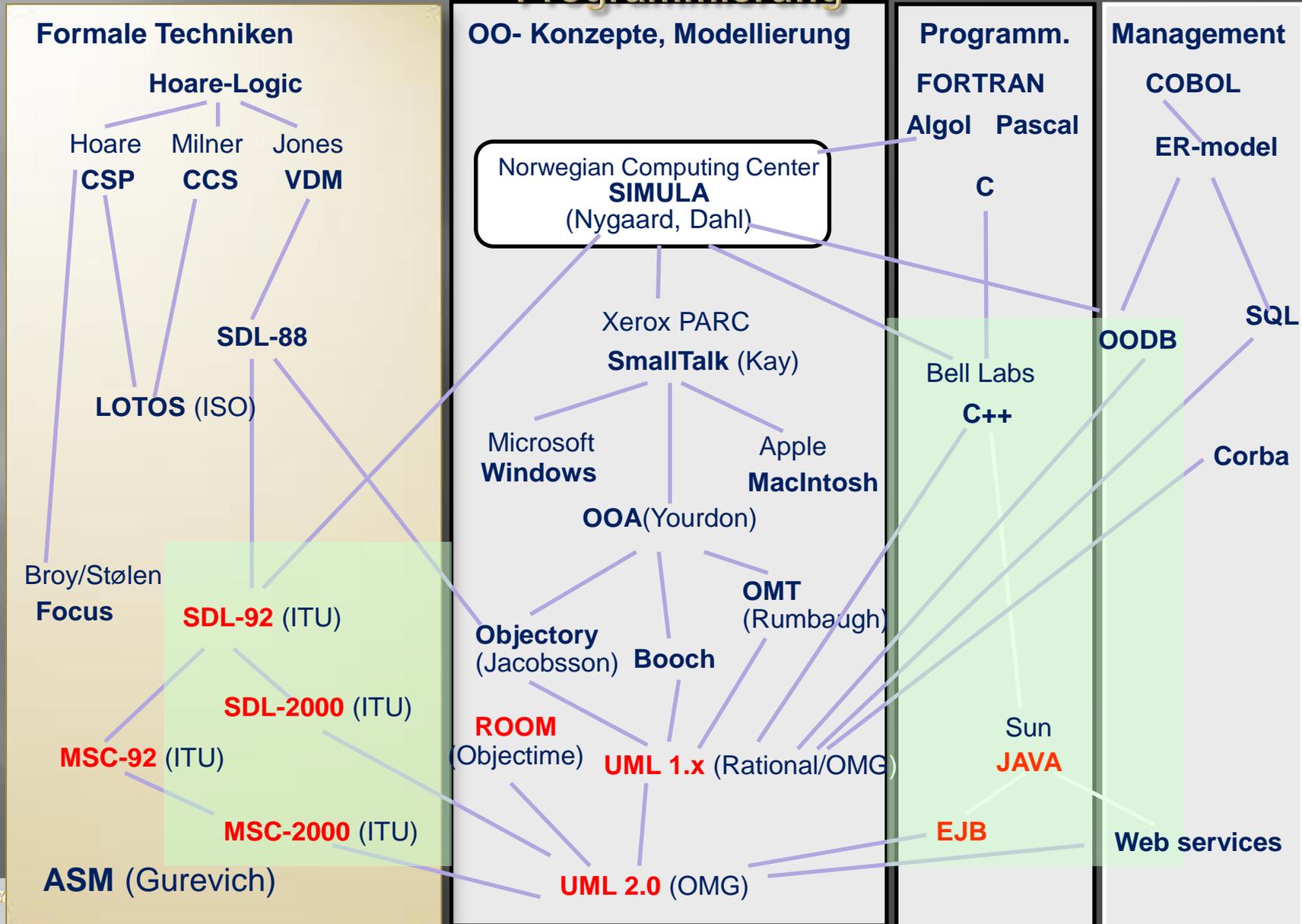
Komposition/
Dekomposition

Nebenläufigkeit/
Parallelität/
Synchronisation

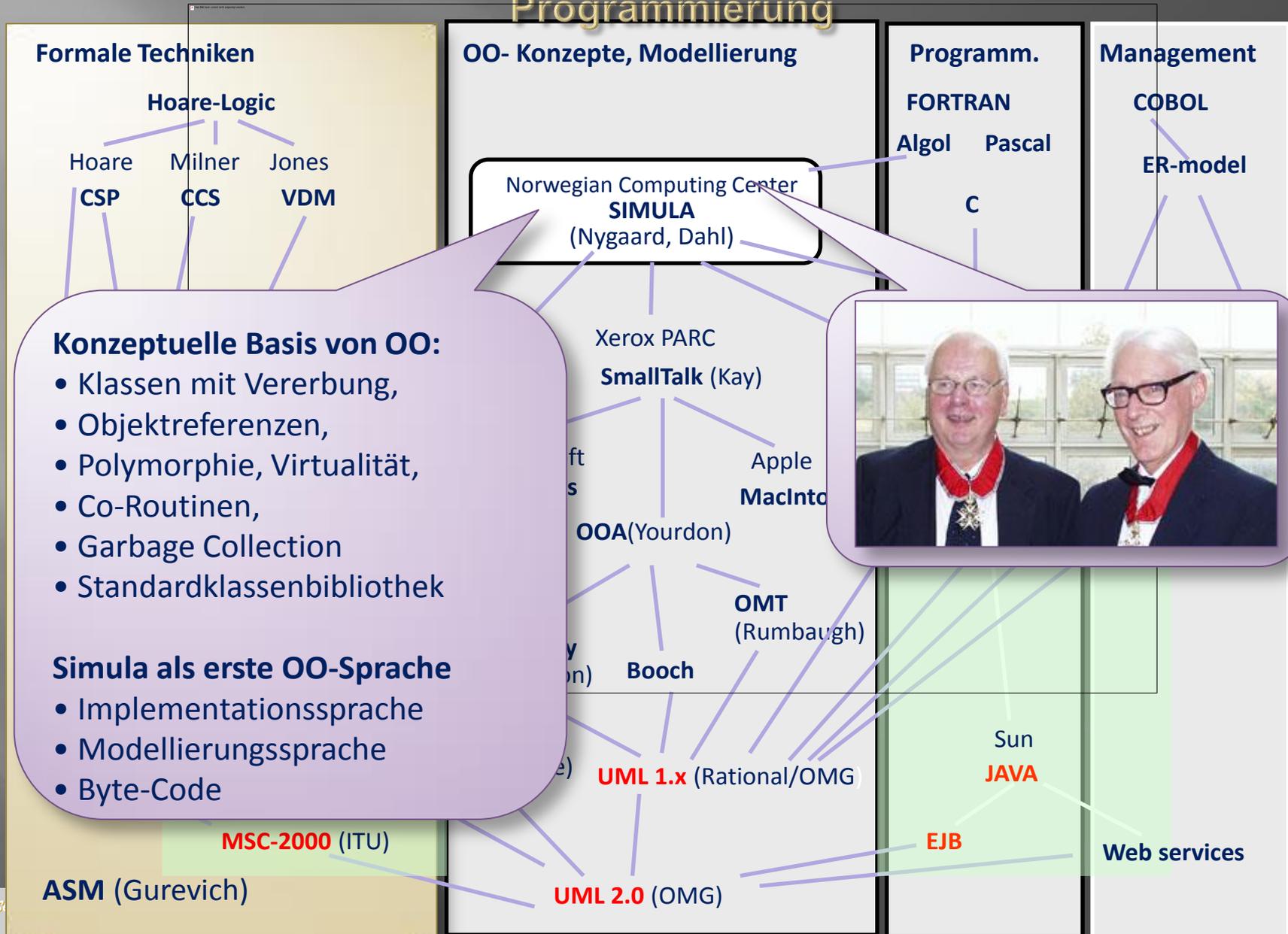
zeitdiskretes/
zeitkontinuierliches
Verhalten



Wurzeln der Objektorientierten Modellierung/ Programmierung



Wurzeln der Objektorientierten Modellierung/ Programmierung



Inhalt

- ④ **Teil A**
Aspekte von Modellierung und Simulation dynamischer Systeme
- ④ **Teil B**
Die Modellierungssprache UML
- ④ **Teil C**
Die ausführbare Modellierungssprache SLX
- ④ **Teil D**
Modellierung von Lieferketten

- ④ **A.1**
Systemsimulation - was ist das?
- ④ **A.2**
Ein Blick zurück in die Anfänge
- ④ **A.3**
Modelle und Originale
- ④ **A.4**
Modellierungssprachen, Simulationsumgebungen
- ④ **A.5**
Beispiele aus der aktuellen Forschung
- ④ **A.6**
Paradigma der objektorientierten Modellierung
- ④ **A.7**
Klassifikation dynamischer Systeme
- ④ **A.8**
Schmiedewerke Gröditz GmbH

Verhaltens- und Zustandsgrößen

Modellierungsaspekte realer oder gedachter **Systeme**

- Existenz/Substanz der Systemkomponenten
(Ausdehnung in Raum und Zeit)
repräsentiert durch statische und dynamische Objekt-Strukturen
- Verhaltensgrößen (messbare Eigenschaften)
repräsentiert durch Werte der Objektattribute
- Veränderung der Substanz (dynamisches Verhalten)
repräsentiert durch interagierende Objekte aktiver Klassen in
Abhängigkeit einer Modellzeit bei Nutzung von Objekten passiven
Klassen (funktionale Beschreibung von Zustandsänderungen)

essentielle Verhaltensgrößen

- nicht immer beobachtbar
- **Zustandsgrößen** als ausgezeichnete Verhaltensgrößen
(spielen eine zentrale Rolle bei der Modellierung)

Zustandsgrößen

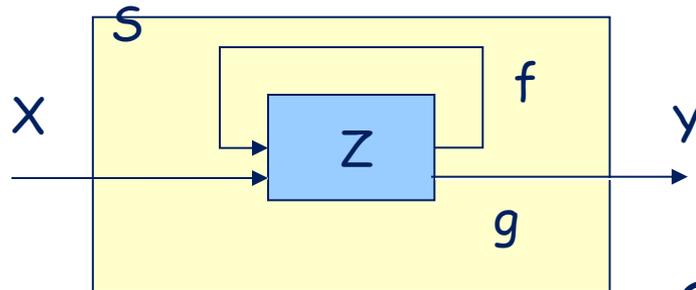
... sind

- Modellbeschreibungsgrößen, aus denen sich der Zustand eines Systems **vollständig** ergibt (Gedächtnis eines Systems)
→ Basis der Verhaltensbeschreibung
- Zustandsgrößen sind voneinander **unabhängig**
→ eine Zustandsgröße kann nicht als Kombination anderer Zustandsgrößen dargestellt werden
- sind **nicht immer eindeutig** definierbar
- sind i. Allg. strukturierte Größen



Allgemeine (Teil-)Systemdefinition

dient mehr der Klassifikation von Verhaltensmodellen

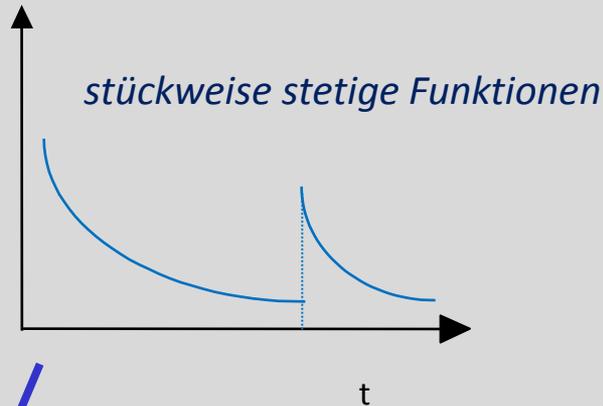


$$S = (Z, z_0, X, Y, f, g, \text{time})$$

- Z Menge der möglichen Zustände
- $z_0 \in Z$ Anfangszustand
- X Menge der möglichen Eingaben
- Y Menge der möglichen Ausgaben
- time Zeitbasis als (T, \leq, t_0) mit
 - Menge möglicher Zeitpunkte T,
 - einer Ordnungsrelation \leq und
 - einem minimalen Element t_0
- f $Z \times X \times T \rightarrow Z$ als Zustandsübergangsfunktion
- g $Z \times X \times T \rightarrow Y$ als Ausgabefunktion

Arten von Zustandsänderungen

zeitkontinuierliche
Zustandsänderung



$$z'(t) = f(z(t), x(t), t)$$

mit $z(t) \in Z$, $x(t) \in X$, $t \in T$

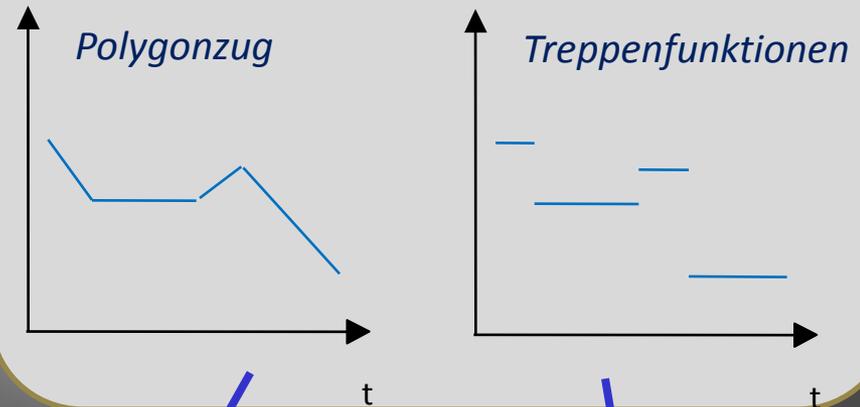
Differentialgleichungen

numerische
Lösungsverfahren

Differenzgleichungen
zelluläre Automaten

Prozesssimulation

zeitdiskrete
Zustandsänderung



$$z(t_{n+1}) = f(z(t_n), x(t_{n+1}), t_{n+1})$$

mit $z(t_n) \in Z$, $x(t_{n+1}) \in X$, $t_{n+1} \in T$

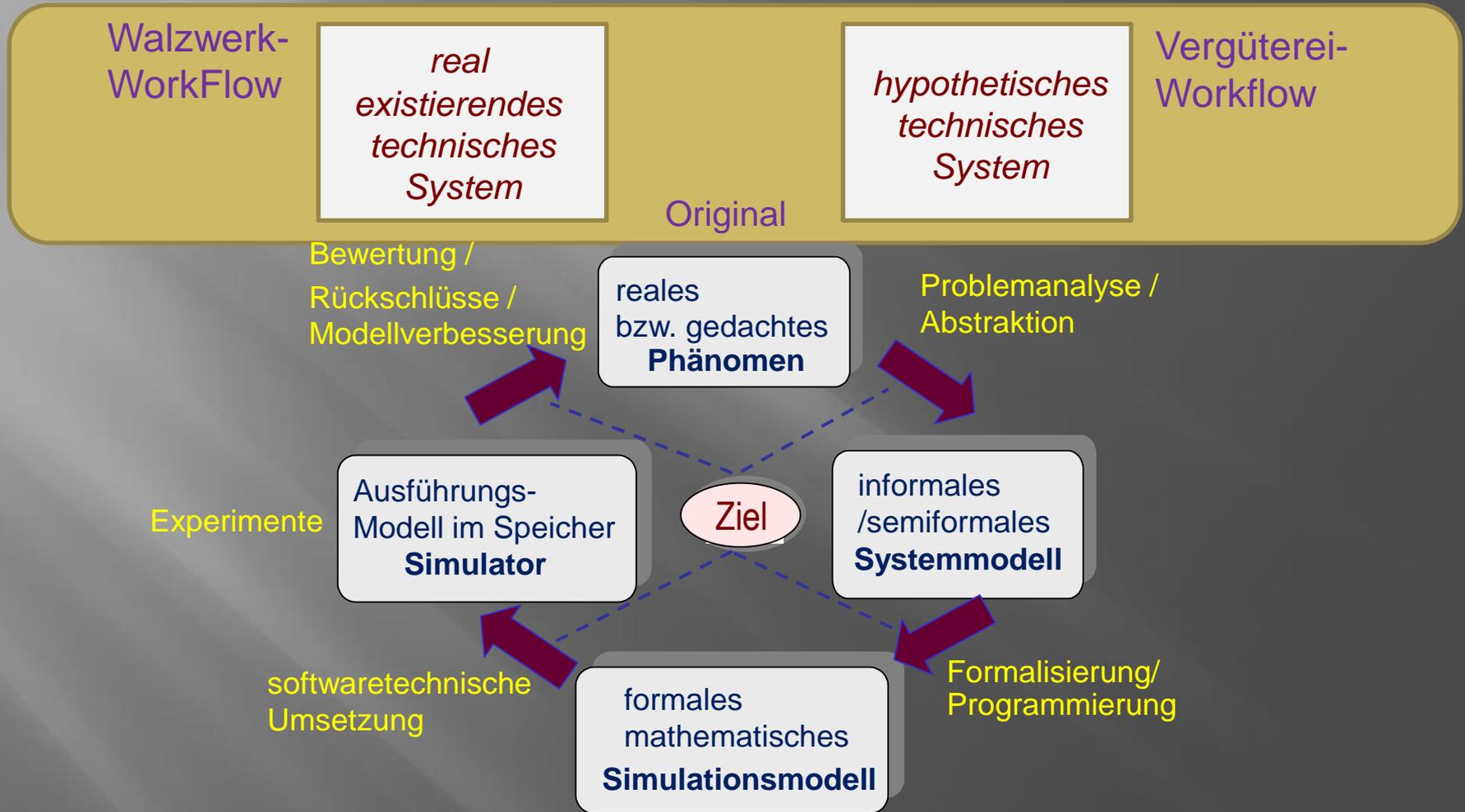
Ereignissimulationen

Inhalt

- ④ **Teil A**
Aspekte von Modellierung und Simulation dynamischer Systeme
- ④ **Teil B**
Die Modellierungssprache UML
- ④ **Teil C**
Die ausführbare Modellierungssprache SLX
- ④ **Teil D**
Modellierung von Lieferketten

- ④ **A.1**
Systemsimulation - was ist das?
- ④ **A.2**
Ein Blick zurück in die Anfänge
- ④ **A.3**
Modelle und Originale
- ④ **A.4**
Modellierungssprachen, Simulationsumgebungen
- ④ **A.5**
Beispiele aus der aktuellen Forschung
- ④ **A.6**
Paradigma der objektorientierten Modellierung
- ④ **A.7**
Klassifikation dynamischer Systeme
- ④ **A.8**
Schmiedewerke Gröditz GmbH

Beispiel: Workflow-Modell von Ring-Walzprozessen



Experimentieren mit (ausführbaren abstrakten) Modellen auf dem Computer - **anstatt mit Originalen** -

Werksanlage Schmiedewerke Gröditz in erster Näherung



Produktionsabfolge

31.000 A, 380 V Drehstrom
1.600 °C

Auftragseingang (Auftrag= n Ringe einer Sorte)

1. Einschmelzen von Edel-Schrott +..., Gießen von Blöcken
2. Sägen von Blöckchen (Scheiben) aus Blöcken
3. Durchheizen der Blöckchen im Drehherdofen
4. Stauch- und Lochpresse (Blöckchen → Ring)
5. Rollgang und Aufweitpresse
6. Hubbalken-Nachwärmofen
7. Radialaxial-Walze (Ring → Ring/Flansch/Radreifen)
8. Stempel- Plan und Richtpresse (Ringe → RingStapel)
9. Transport, Palettierung, Pufferung
(Mengen von Ringstapeln auf Paletten)
10. Kran, Öfen, Wasser/Polymerbad
(einheitliche Vergütung von je einer oder zwei Paletten)
11. Härteprüfung
12. Abtransport

Gießerei

Sägewerk

Walzwerk

Vergüterei

Projekt „Herr der Ringe“



Beginn 2000

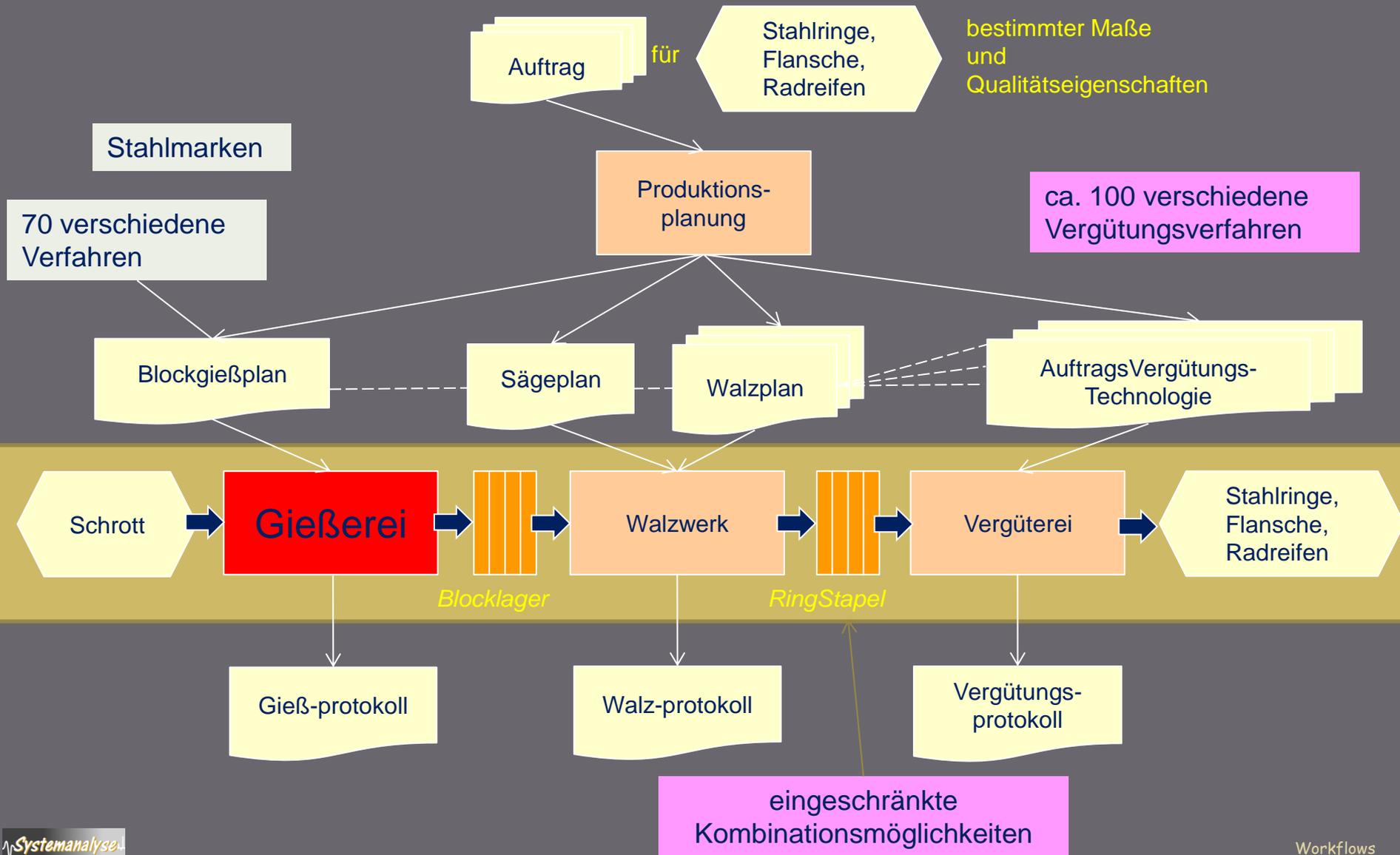
Teil der Werksanlage



| Produkt | Parameter | Min | Max |
|------------------------------------|---------------|--------|----------|
| Ringe | Stückmasse | 70 kg | 1.520 kg |
| | Außen-Ø | 500 mm | 2.800 mm |
| | Innen-Ø | 300 mm | 2.600 mm |
| | Ringbreite | 65 mm | 365 mm |
| Radreifen | Stückmasse | 75 kg | 750 kg |
| | Außen-Ø | 420 mm | 2.015 mm |
| | Innen-Ø | 245 mm | 1.830 mm |
| | Reifenbreite | 85 mm | 200 mm |
| Flansche | Stückmasse | 70 kg | 800 kg |
| | Außen-Ø | 550 mm | 1.800 mm |
| | Innen-Ø | 300 mm | 1.600 mm |
| | Flanschbreite | 75 mm | 275 mm |
| Hochlegierte Flansche | Stückmasse | 75 kg | 300 kg |
| | Außen-Ø | 550 mm | 1.250 mm |
| | Innen-Ø | 320 mm | 1.000 mm |
| | Ringbreite | 75 mm | 180 mm |
| Hochlegierte Ringe (Austenite) | Stückmasse | 70 kg | 1.000 kg |
| | Außen-Ø | 500 mm | 1.800 mm |
| | Innen-Ø | 400 mm | 1.700 mm |
| | Ringbreite | 65 mm | 250 mm |
| Hochlegierte Ringe (Martensite) | Stückmasse | 70 kg | 830 kg |
| | Außen-Ø | 500 mm | 1.200 mm |
| | Innen-Ø | 400 mm | 1.000 mm |
| | Ringbreite | 65 mm | 365 mm |

Produktsortiment der Schmiedewerke Gröditz GmbH







Gießformen (Kokillen)



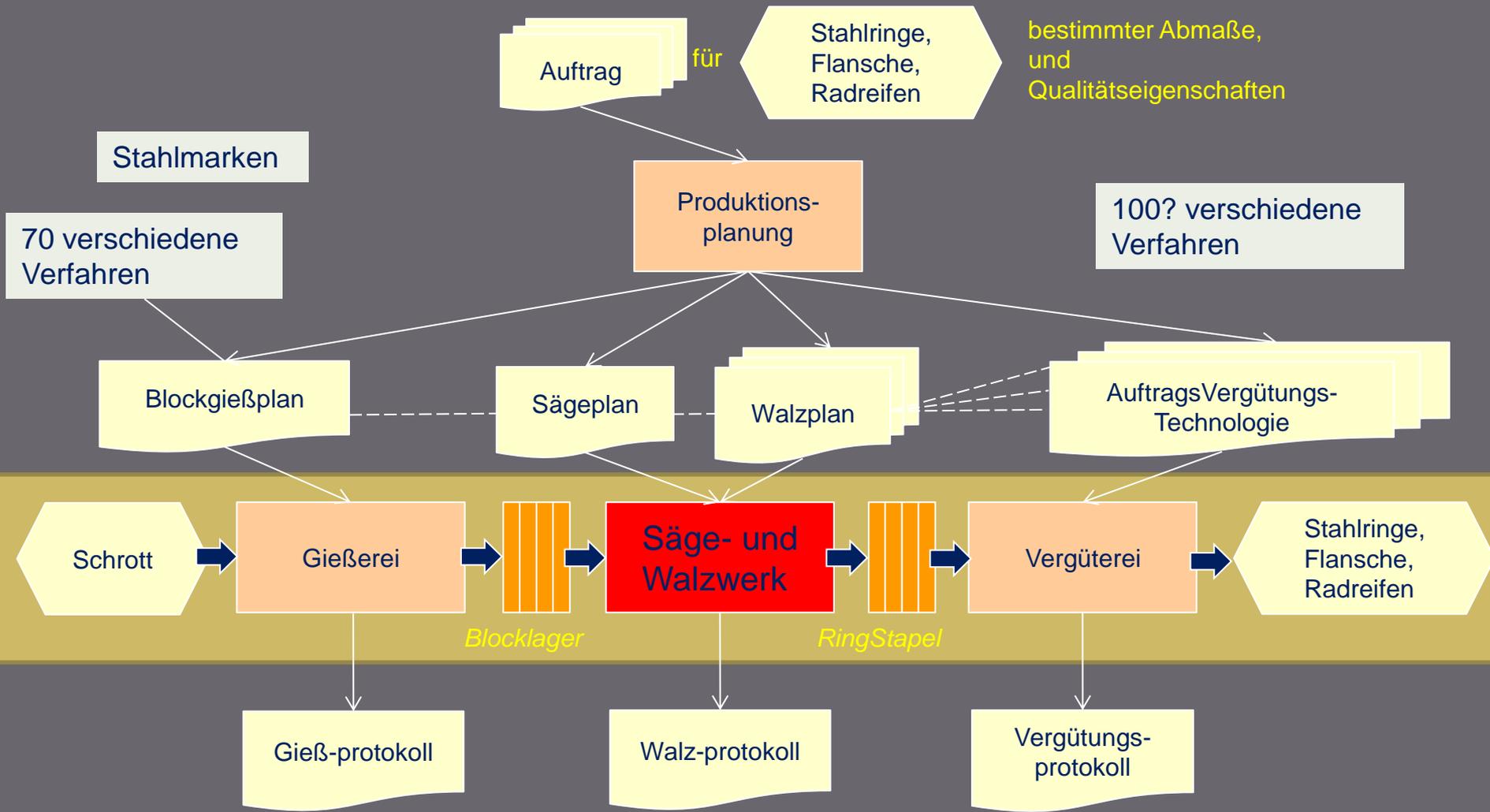
Gießprodukte (Blöcke)



Transport: Gießerei → Ringwalzwerk



Kran mit Elektromagnet



Hartmetallsäge (HMS)



Werkzeugsortiment



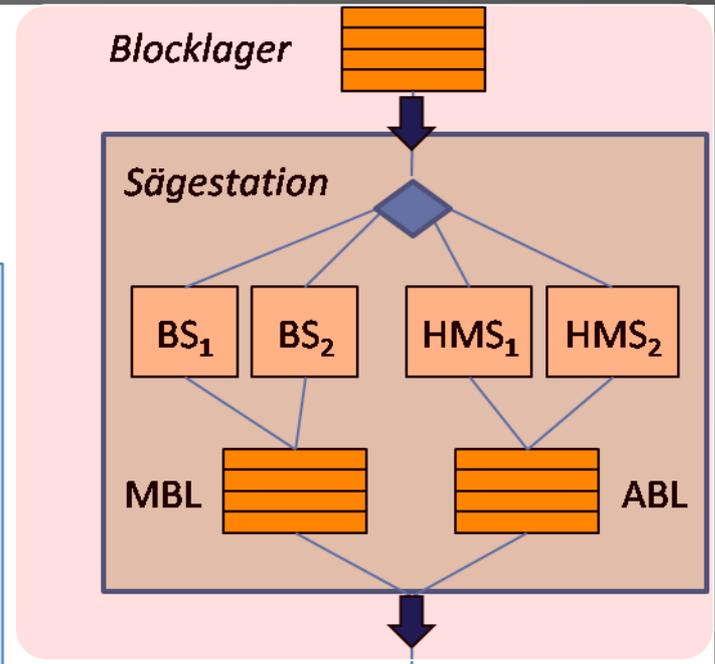
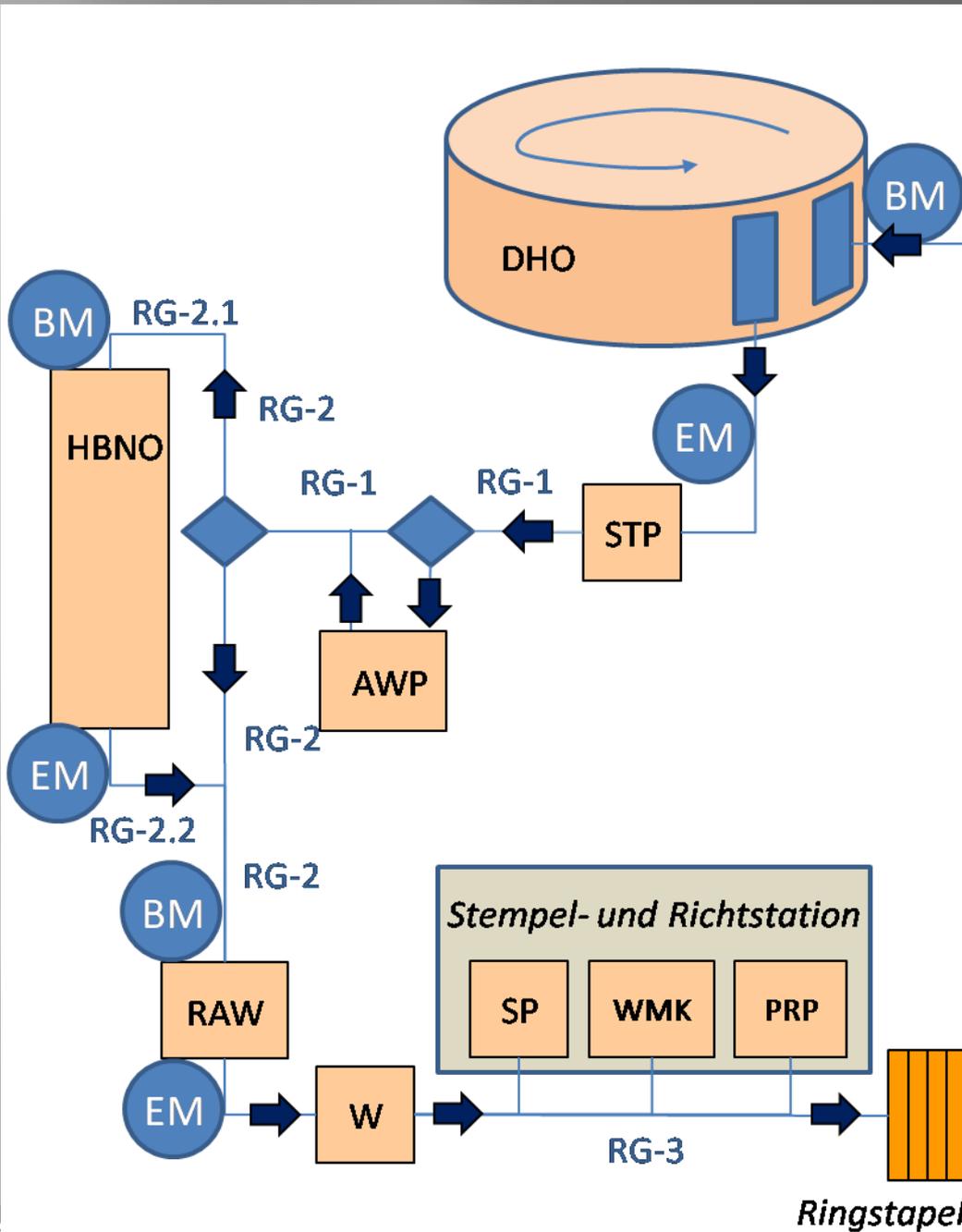
Sägen und Blöckchenlager



Bewegliche Palette

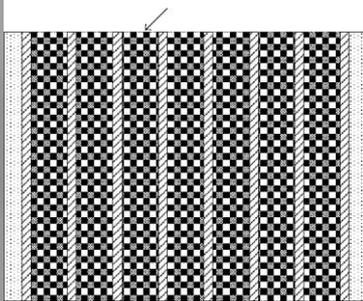


Automatisierte Blöckchenlager

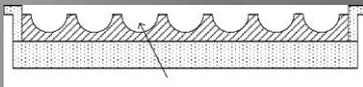


- HMS_i Hartmetallsäge i (i=1, 2)
- BS_i Bandsäge i (i= 1, 2)
- ABL automatisiertes Blöckchenlager
- MBL manuelles Blöckchenlager
- BM Belademaschine
- EM Entnahmemaschine
- DHO Dreh-Herdofen
- STP Stauchpresse
- HBNO Hubbalken-Nachwärmofen
- AWP Aufweitpresse
- RAW Radial-Axial-Walze
- W Waage
- SP Stempelpresse
- WMK Wärmmaßkontrolle
- PRP Planrichtpresse
- RG-i Rollgang i

Paletten im Sägelager



Das ABL verfügt über 64 **Paletten**



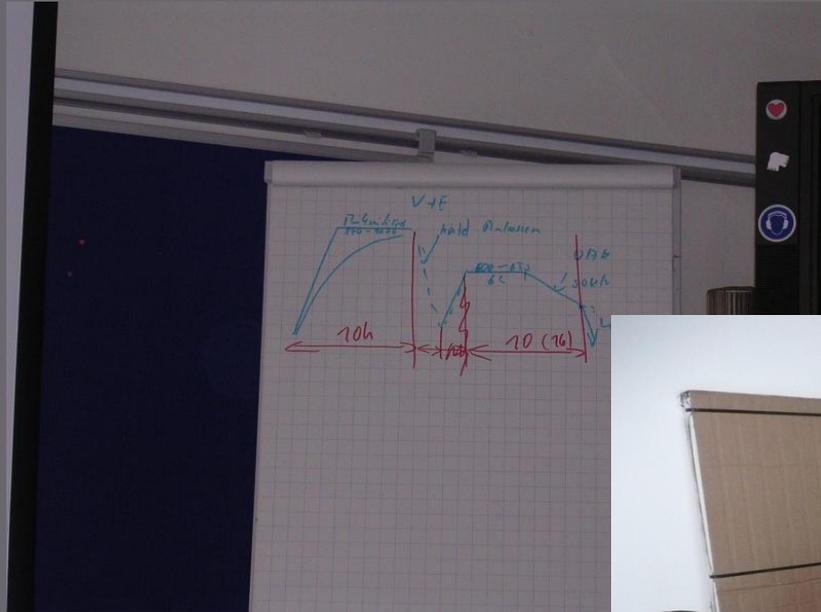
Begrenzung

- Blöckchen bis zu 400 mm Durchmesser

größere Blöckchen werden im MBL verwaltet

Transportzeiten noch unbekannt

Ablauf: 3. Durchheizen Drehherdofen

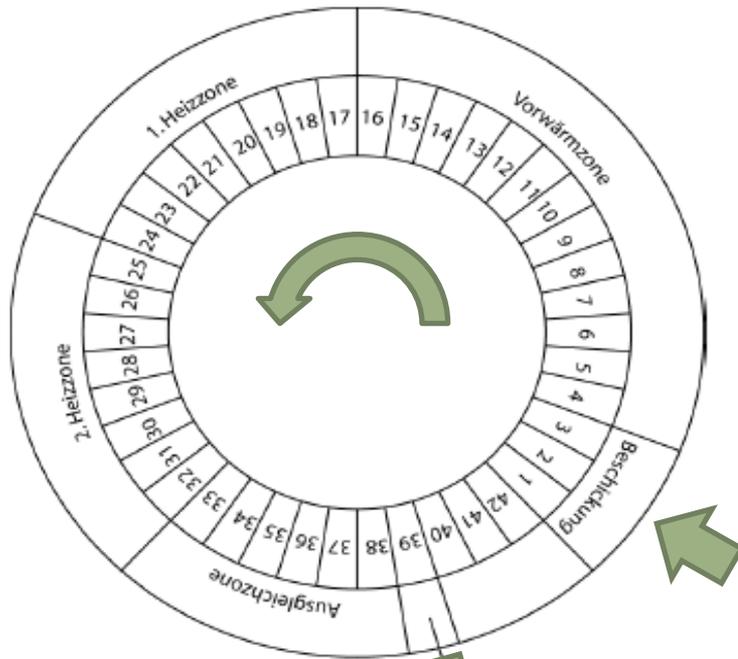


Spezifische Heizkurven

Dauer von Heizphasen
und Zieltemperaturen



Drehherdofen



1.300°C



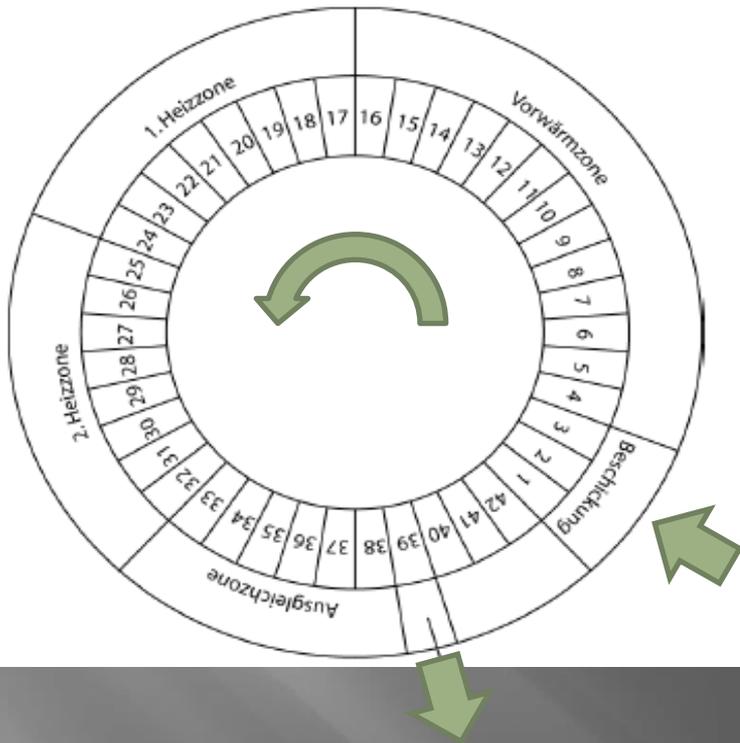
Ofensegment
Ofenplatz

Der DHO im Betrieb



... und außer Betrieb

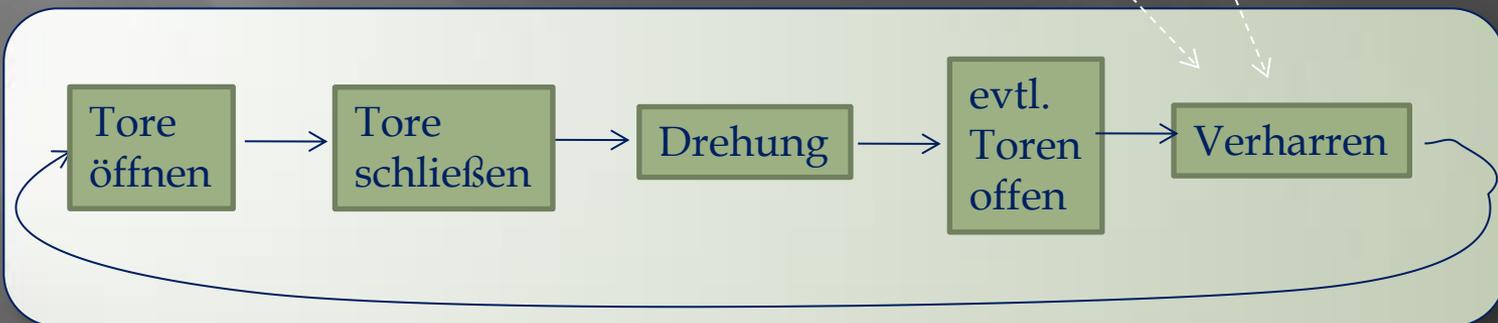
Drehherdofen (DHO)



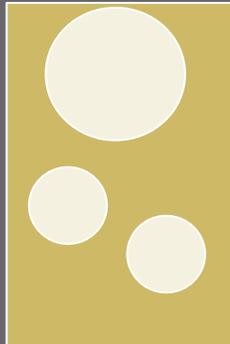
Mindesthaufenthaltszeit

Entnahmeintensität

Zyklus



Ofenbelegung und Arbeitsweise



- Platzrestriktion
- oder auch **Behandlungsrestriktion?**

- Startbetrieb (Anlage leer, Montag)
 - ...?
- Dauerbetrieb
weitere Drehung um einen Schritt ~
 - die Entnahme-Intensität (abhängig von weiteren nachfolgenden Arbeitsgängen)
 - Mindestaufenthaltsdauer (unbekannt, Info woher?) eines Blockes in den 4 Zonen
 - Drehungszeit für einen Schritt (unbekannt)

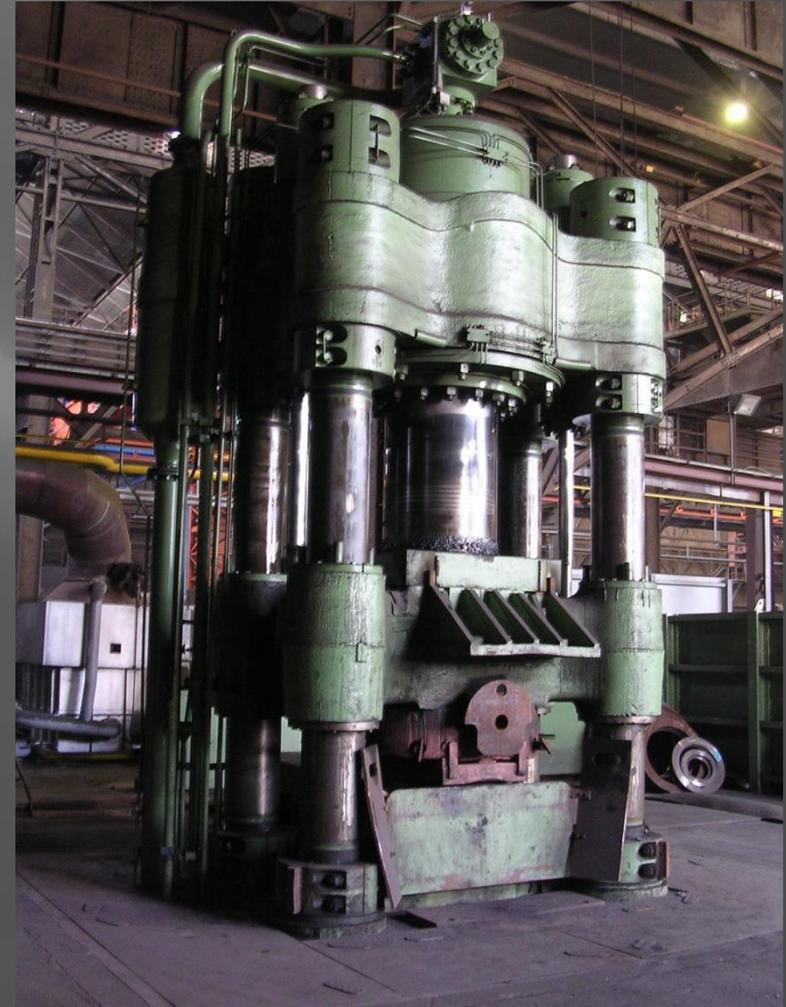
Ablauf: 4. Stauch- und Lochpresse (SLP) Blöckchen → Ring



Bedienung durch EM
des HNOs

evtl. Werkzeugwechsel
verzögern die Arbeit

Ringe werden auf Rollgang
geschoben



Die SLP im Betrieb



Ablauf: 5. Rollgang und Aufweitpresse (AWP)

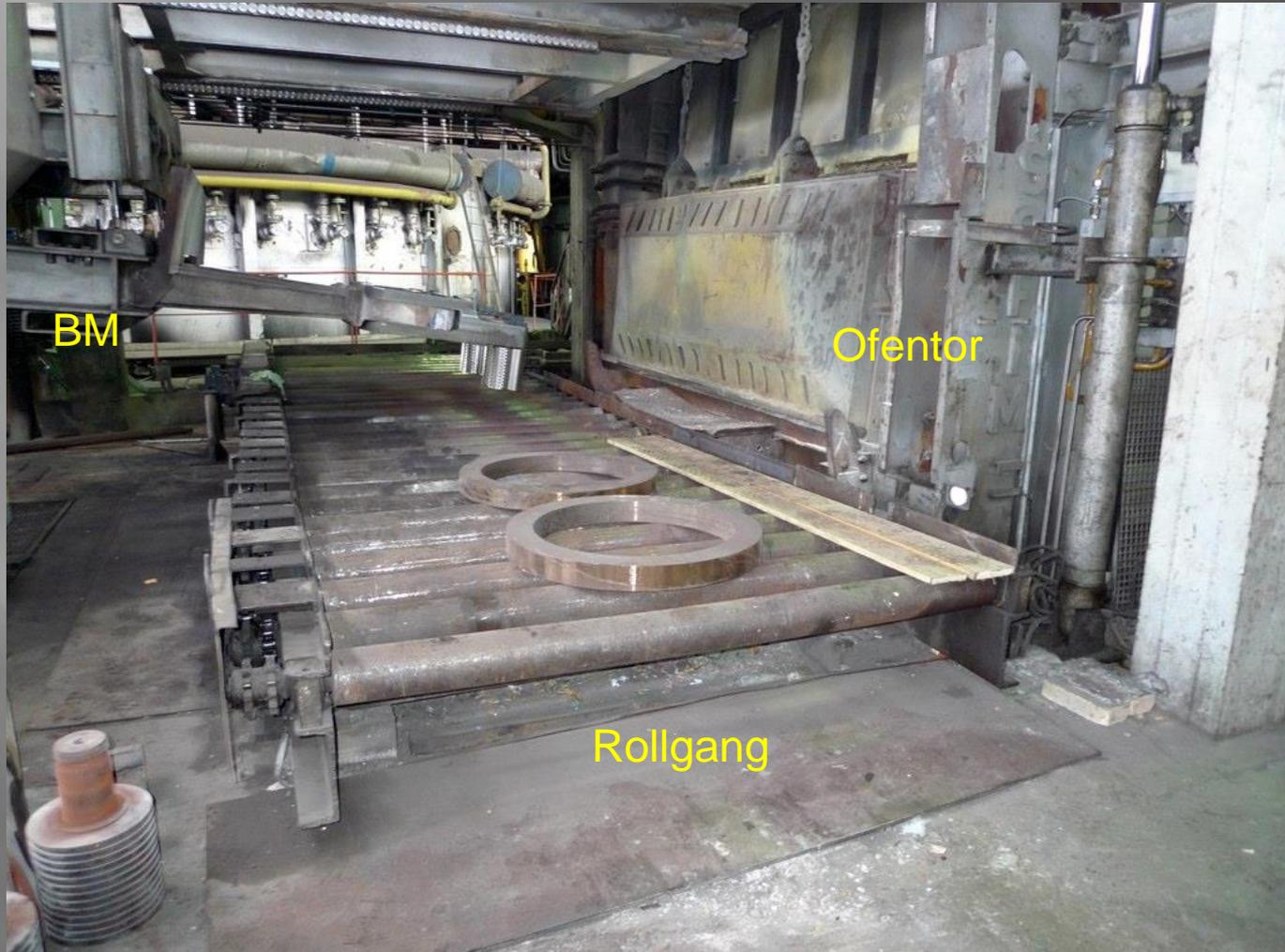


Bedienung durch Rollgang

evtl. Werkzeugwechsel
verzögern die Arbeit

Ringe werden auf Rollgang
geschoben

Ablauf: 6. Hubbalken-Nachwärmofen

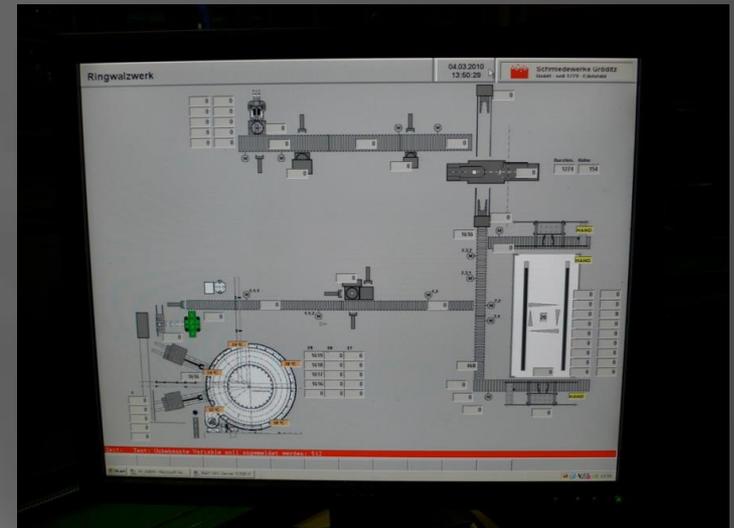


Ablauf: 7. Radialaxial-Walze (RAW)

entscheidender Taktgeber



Leitstand der Radialaxial-Walze



Ablauf: 8a. Die Stempelpresse

Waage



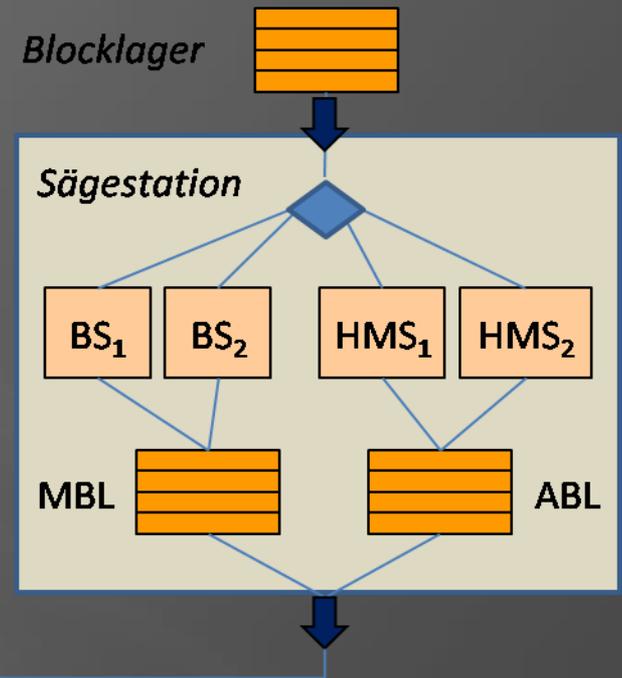
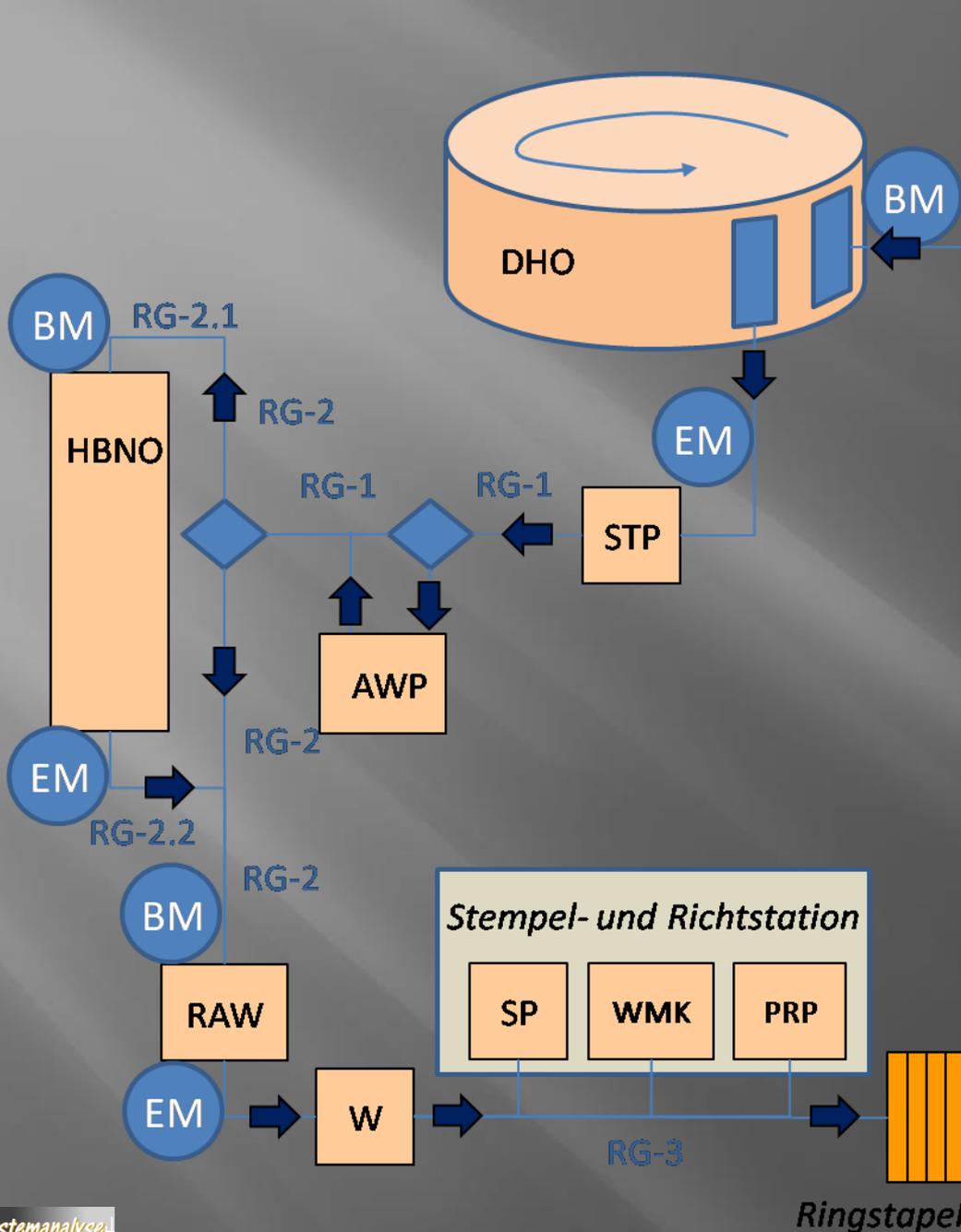
Ablauf: 8b. Die Plan-Richtpresse



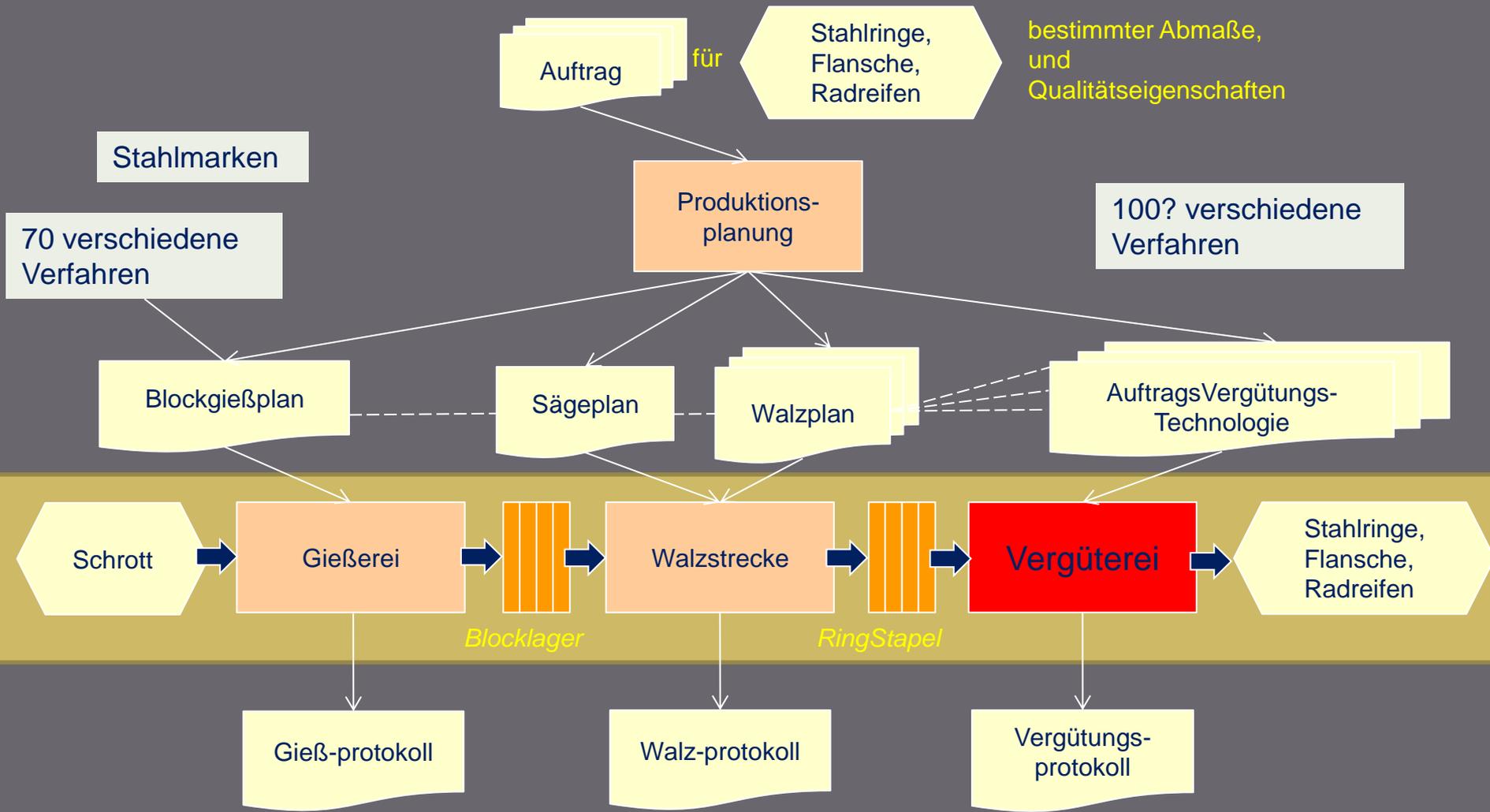
Ablauf: 8c. Manuelle Stempelung

und Ringstapelung





- HMS_i Hartmetallsäge i (i=1, 2)
- BS_i Bandsäge i (i= 1, 2)
- ABL automatisiertes Blöckchenlager
- MBL manuelles Blöckchenlager
- BM Belademaschine
- EM Entnahmemaschine
- DHO Dreh-Herdofen
- STP Stauchpresse
- HBNO Hubbalken-Nachwärmofen
- AWP Aufweitpresse
- RAW Radial-Axial-Walze
- W Waage
- SP Stempelpresse
- WMK Wärmmaßkontrolle
- PRP Planrichtpresse
- RG-i Rollgang i



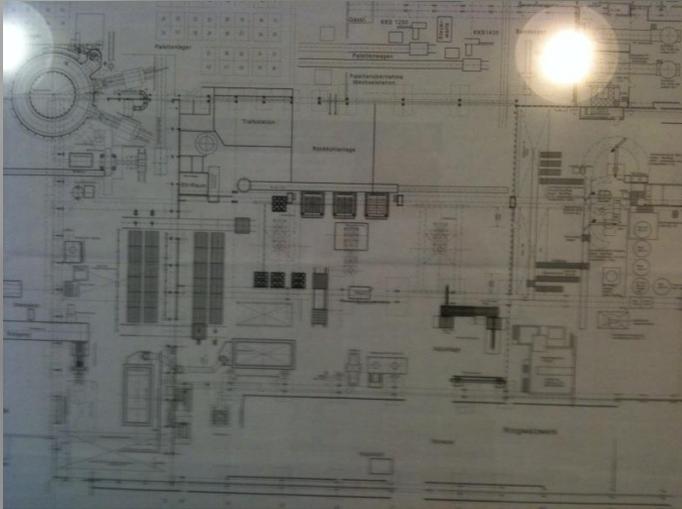
Die alte Vergüterei



Alter Glühofen



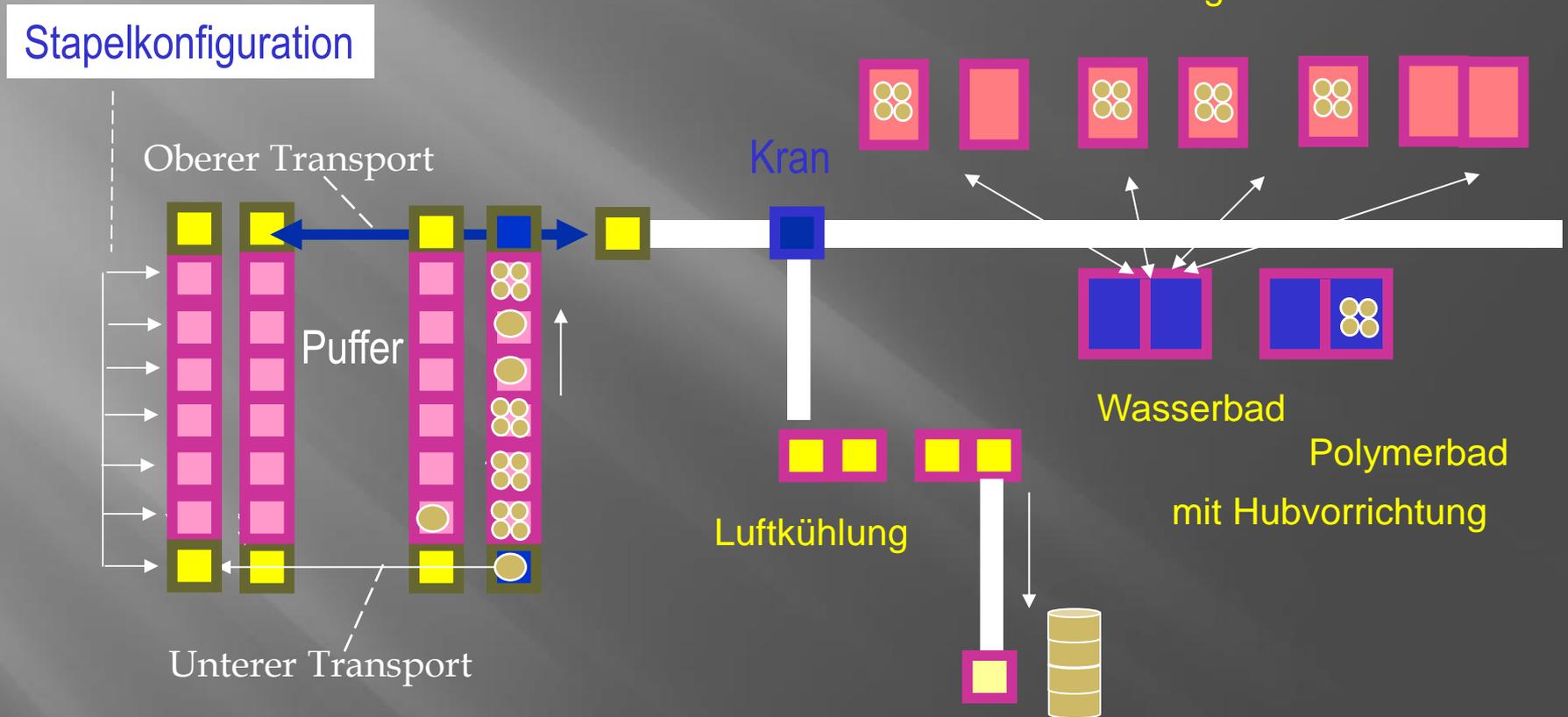
Der Plan einer neuen Vergütereier



... entstand 2000

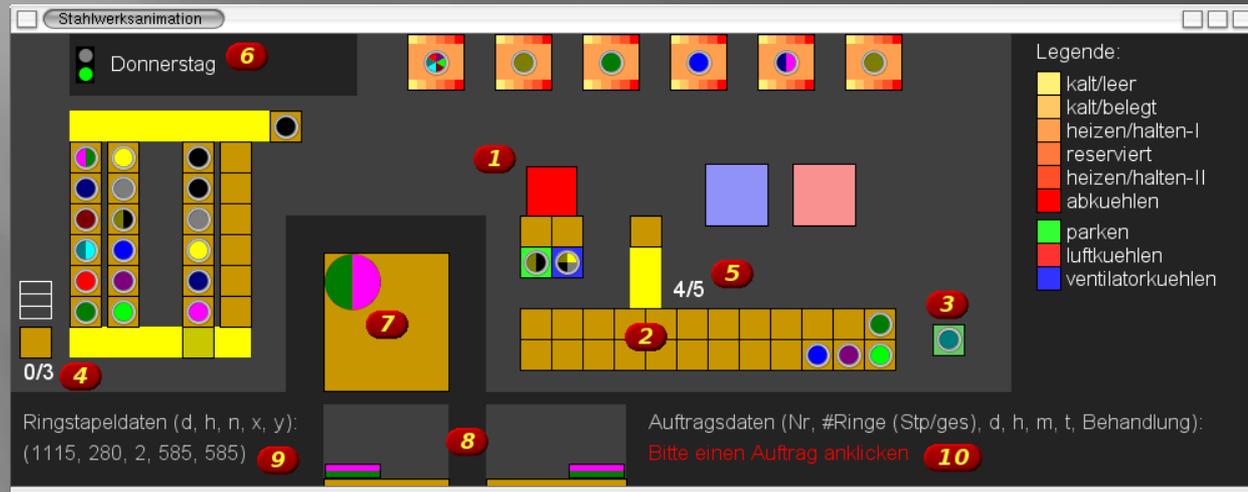


Problem: Nachweis der Wirtschaftlichkeit der neuen Vergütereier per Simulation



- begrenzte Anzahl von Pufferplätzen, (Überlaufvermeidung!!!)
- Anzahl der Öfen und Bäder, rentieren sich Doppelkammeröfen?
- Sensitivität i.Abh. der Auftragsreihenfolge

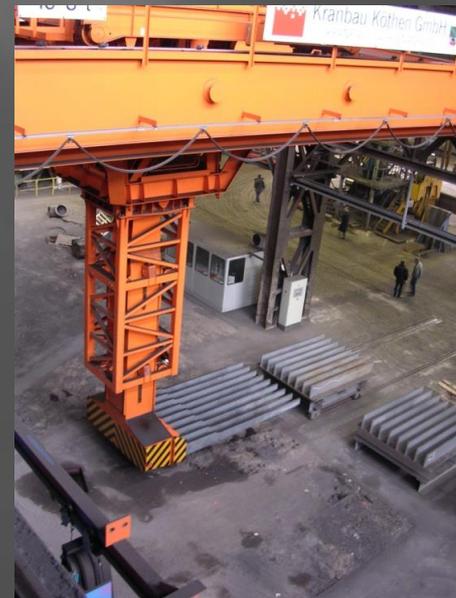
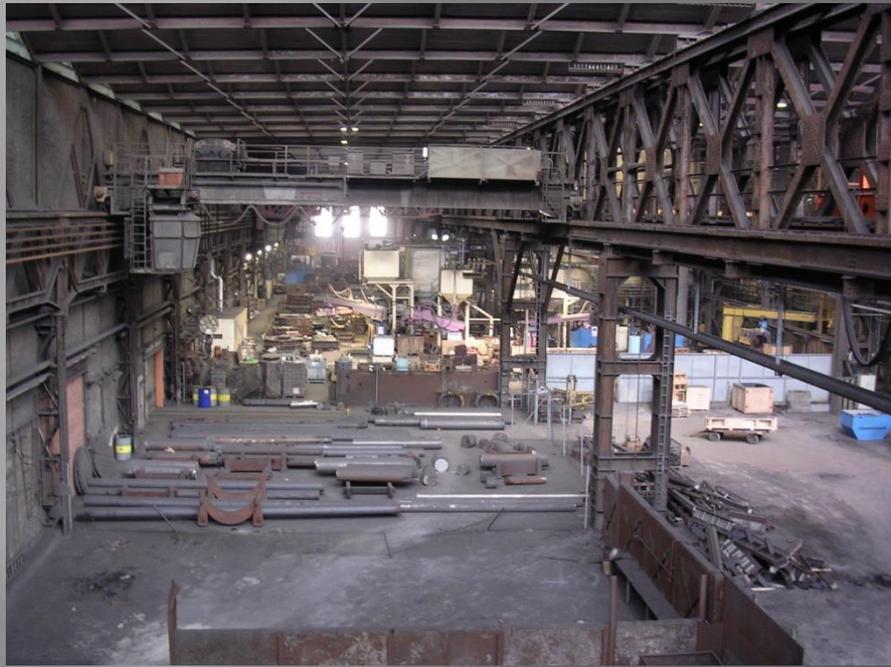
Simulation einer neuen Vergütereier



Erbrachter Nachweis:

- Walzwerk muss den Bedürfnissen der Vergütereier angepasst werden
- Doppelkammeröfen sind schlechter als Einzelkammeröfen
- Dreischichtbetrieb in der Vergütereier und Zwei-Schichtbetrieb des Walzwerkes ergeben einen vernünftigen Ablauf
- Zwischenpuffer bleibt sensibel

Investition und Umbau



Pufferstrecke, Leitstand, Schubzylinder



Die ersten neuen Öfen



Ablauf: 9. Zusammenstellung einer Stapelgruppe

Die neue Vergüterei im Probebetrieb



Ablauf: 11. Qualitätsprüfung

- Materialentnahme
- Ultraschalluntersuchung
- Röntgenuntersuchung



Ablauf: 12. Abtransport

