

Modul OMSI-2 im SoSe 2011

Objektorientierte Simulation mit ODEMx

Prof. Dr. Joachim Fischer
Dr. Klaus Ahrens
Dipl.-Inf. Ingmar Eveslage
Dipl.-Inf. Andreas Blunk

fischer|ahrens|eveslage|blunk@informatik.hu-berlin.de

4. *Beispiel: Fischfang*

Sensibilität von ökologischen Gleichgewichten

1. Problemstellung
2. Systemstruktur und Wirkungsgraph
3. Systemverhaltensgleichungen
4. Modellierung in ODEMx
5. Experimentserie

Systembeschreibung nach Problemanalyse

- In einem großen Binnensee wird **Fischfang** betrieben.
- Ohne Fischfang würde die **Fischpopulation** bis an die Kapazitätsgrenze wachsen.
 - Diese Kapazitätsgrenze ist eine gegebene Größe, die vor allem vom Nährstoffangebot im Wasser und dem sich daraus ergebenden Wachstum von Algen, Phytoplankton und Zooplankton bestimmt ist.
 - Die Reproduktionsprozesse der Fische (Laichen, Brut, Aufzucht) bestimmen die spezifische Wachstumsrate der Fischpopulation.
- Die Fangchancen der Fischer sind abhängig von der **Zahl ihrer Boote**.
 - Pro Boot wird unter günstigen Bedingungen jährlich eine bestimmte Menge Fisch gefangen.
 - Im Betrieb verursachen die Boote bestimmte Unterhalts- u. Betriebskosten.
 - Die Fischer versuchen ihren Nettoverdienst zu maximieren und investieren einen Teil etwaiger Überschüsse in den Kauf neuer Boote.
 - Damit werden z.T. unbrauchbar gewordene ältere Boote ersetzt, z.T. wird aber auch die Bootsanzahl vergrößert, um die Fangmenge und den Verdienst zu erhöhen.
 - Wenn - wegen zu geringen Fängen und/oder zu geringen Preisen für Fisch – keine Überschüsse erwirtschaftet werden können, werden keine neuen Boote erworben und
 - der Bootsbestand verringert sich durch altersbedingte Stilllegung.

Erste Systembetrachtung (aus Unternehmenssicht)

- Fangmenge und damit Verdienst sind gering, wenn
 - entweder nur wenige
 - oder zu viele Boote zum Fang ausfahren
- wahrscheinlich gibt es ein Optimum für die Zahl der Boote, abhängig von finanziellen Bedingungen (Fischpreis, Bootsunkosten)
- wichtig wäre die Kenntnis von Bedingungen, um Fischfang gemeinsam zu regeln

zu beachtende Randbedingungen:

- weder ökologischer Zusammenbruch (Fischpopulation)
- noch ökonomischer Zusammenbruch

Definition des Untersuchungsziels

- Simulationsmodell soll Dynamik des Fischfangs darstellen

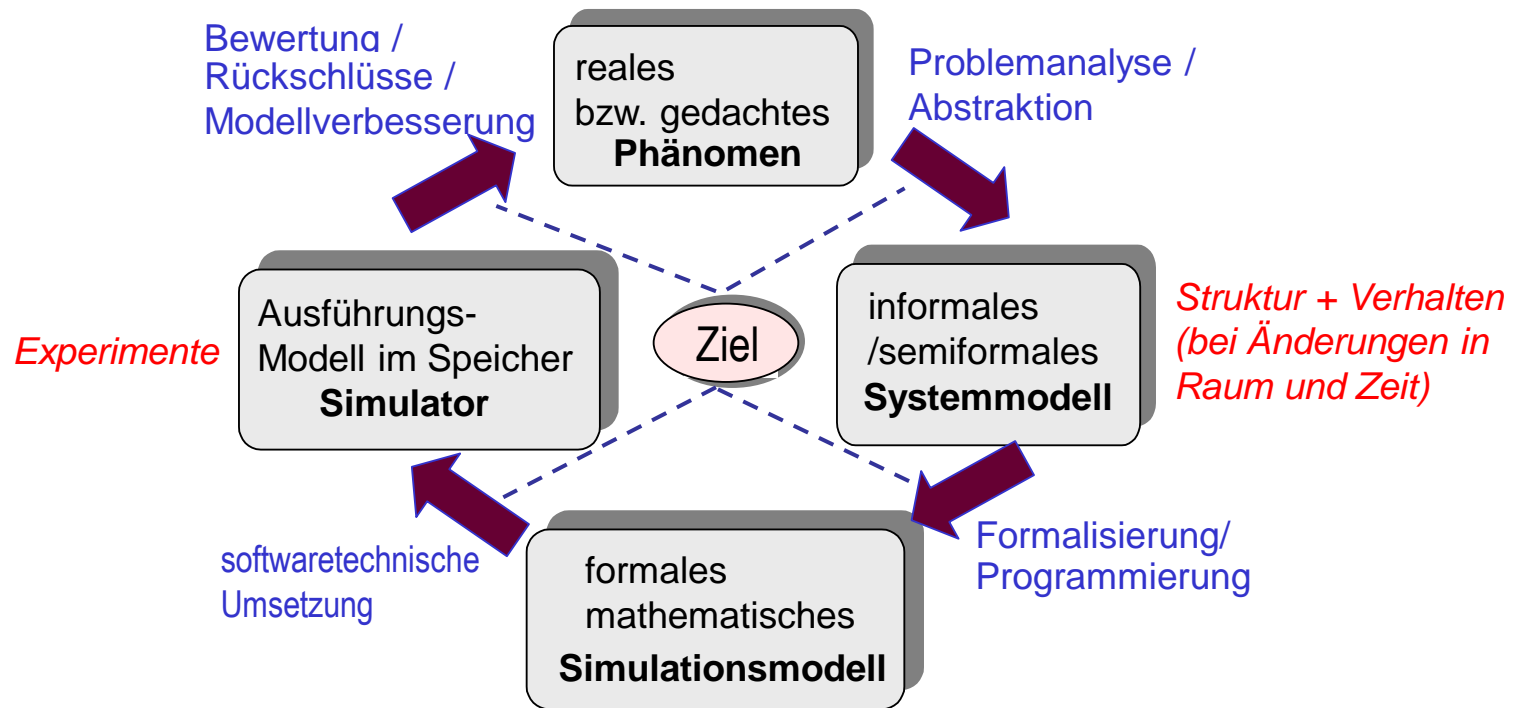
bei Berücksichtigung
 - der ökologischen Bedingungen der Populationsdynamik der Fische unter Fangbedingungen, sowie
 - der ökonomischen Bedingungen der Fischereibetriebe

- Ergebnisse für Entscheidungshilfe bei Strategiefestlegung

Modellzweck/untersuchungsziel ist definiert

Vorgehensweise bei der Systemsimulation

Experimentieren mit ausführbaren Modellen auf dem Computer
- anstatt mit Originalen -



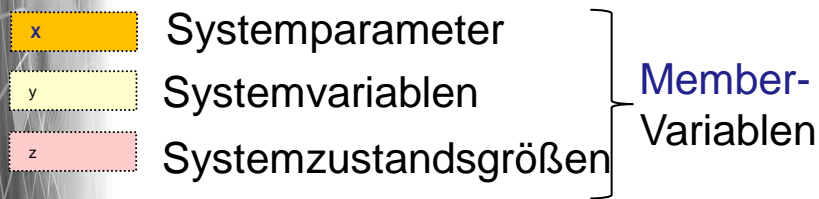
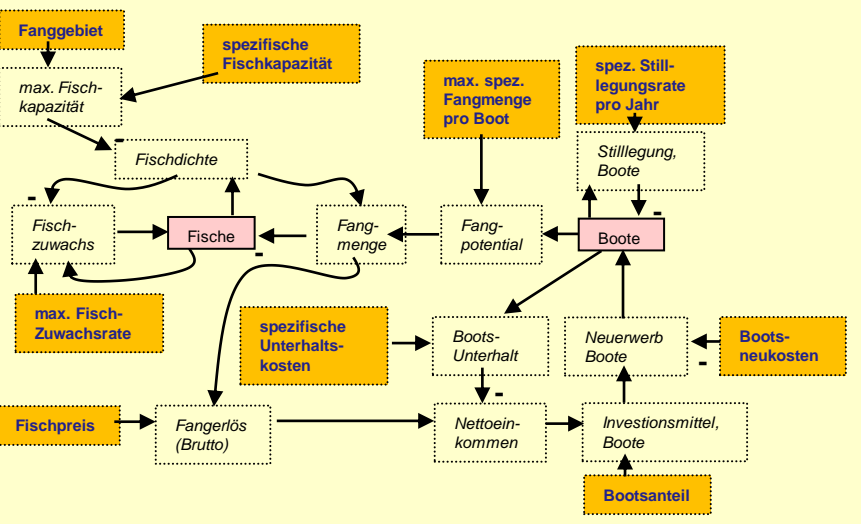
Besonderheit: Zustandsgrößen ändern sich zeitabhängig (kontinuierlich, diskret / ereignishaft)

4. *Beispiel: Fischfang*

1. Problemstellung
2. Systemstruktur und Wirkungsgraph
3. Systemverhaltensgleichungen
4. Modellierung in ODEMx
5. Experimentserie

Vom Wortmodell zum Wirkungsgraph (1)

4. Wirkungsgraph



Teilmodell Fischbestand

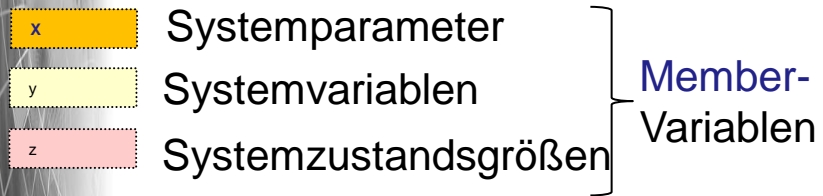
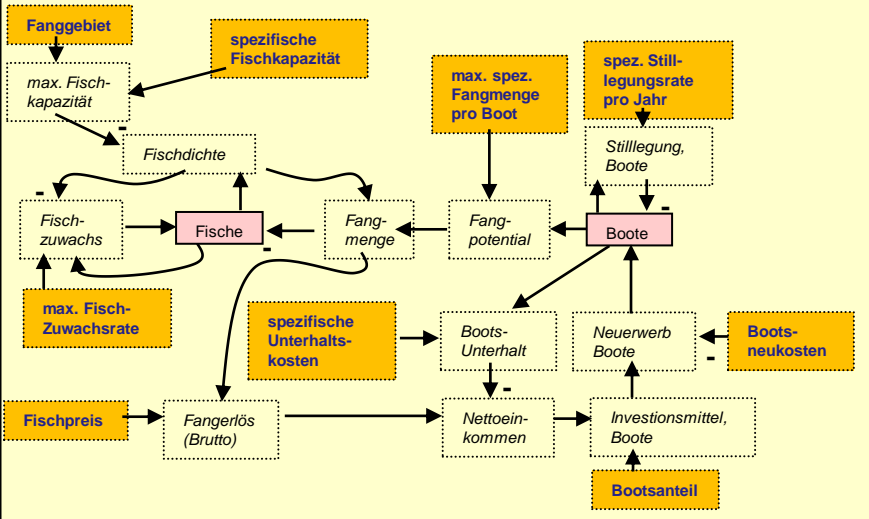
1. *Fischzuwachs* hängt von momentaner Größe des Fischbestandes (**Fische**) ab
2. *Fischzuwachs* ist umso größer, je größer *max.Fischzuwachsrate*
3. *Fischzuwachs* verringert sich, wenn die *Fischdichte* Kapazitätsgrenze (*max. Fischkapazität*) erreicht
4. Fischbestand (**Fische**) erhöht sich durch *Fischzuwachs*
5. Fischbestand (**Fische**) verringert sich durch jährliche *Fangmenge*
6. *Fischdichte* erhöht sich entspr. Der Zunahme des Fischbestandes (**Fische**)
7. eine geringere *max.Fischkapazität* ergibt bei gleichem Fischbestand (**Fische**) eine höhere *Fischdichte*
8. *max.Fischkapazität* entspricht der Größe des **Fanggebietes**
9. *max.Fischkapazität* hängt von der *spez.Fischkapazität* des Gewässers ab

Teilmodell Bootsbestand

...

Vom Wortmodell zum Wirkungsgraph (2)

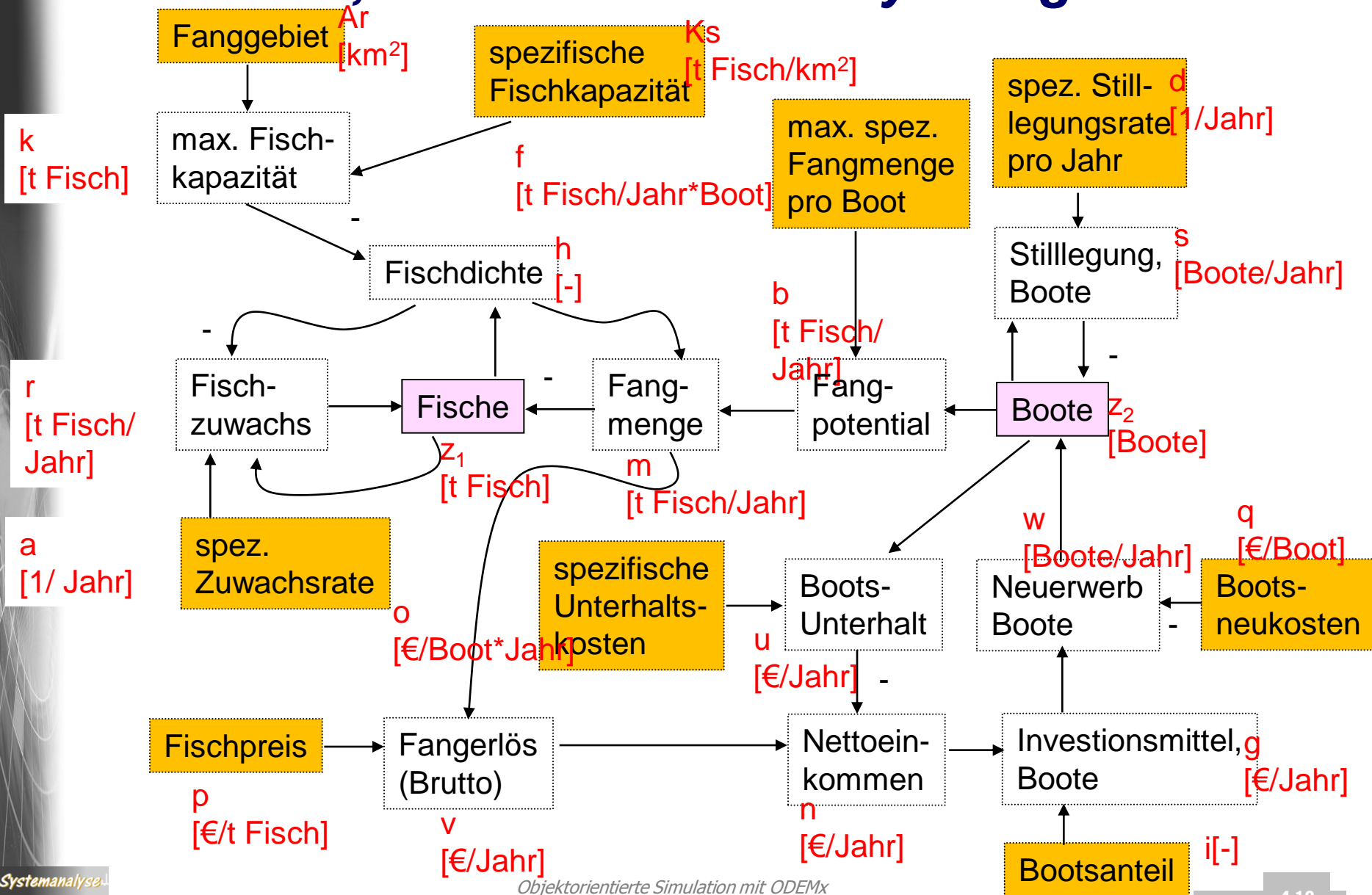
4. Wirkungsgraph



Teilmodell Bootsbestand

1. Die **Bootsanzahl (Boote)** erhöht sich um Zahl der jährlichen *Neuerwerbungen*
2. Die **Bootsanzahl (Boote)** verringert sich um die Zahl der jährlichen *Stilllegungen*
3. Das **Fangpotential** (max. mögl. Fangmenge pro Jahr) bestimmt sich aus Zahl der aktiven **Boote** und der *max. spezifischen Fangmenge pro Boot*
4. Die tatsächliche jährliche **Fangmenge** hängt vom *Fangpotential* und vorhandenen *Fischdichte* ab.
5. Der jährliche **Fangerlös** errechnet sich aus jährlicher *Fangmenge* und *Fischpreis*.
6. Das **Nettoeinkommen** ergibt sich aus dem Erlös nach Abzug der *Bootsunterhaltskosten*
7. Die jährlichen **Unterhaltskosten** errechnen sich aus Zahl der **Boote** und den *spezifischen Kosten pro Boot*
8. Nur ein gewisser Teil des jährlichen Nettoeinkommens steht für **Investitionsmittel** für neue Boote zur Verfügung
9. Die Zahl der jährlich neu erworbenen **Boote** bestimmt sich aus den verfügbaren *Investitionsmitteln* und den *spezifischen Kosten* für die neuen Boote

Namen, Dimensionen der Systemgrößen

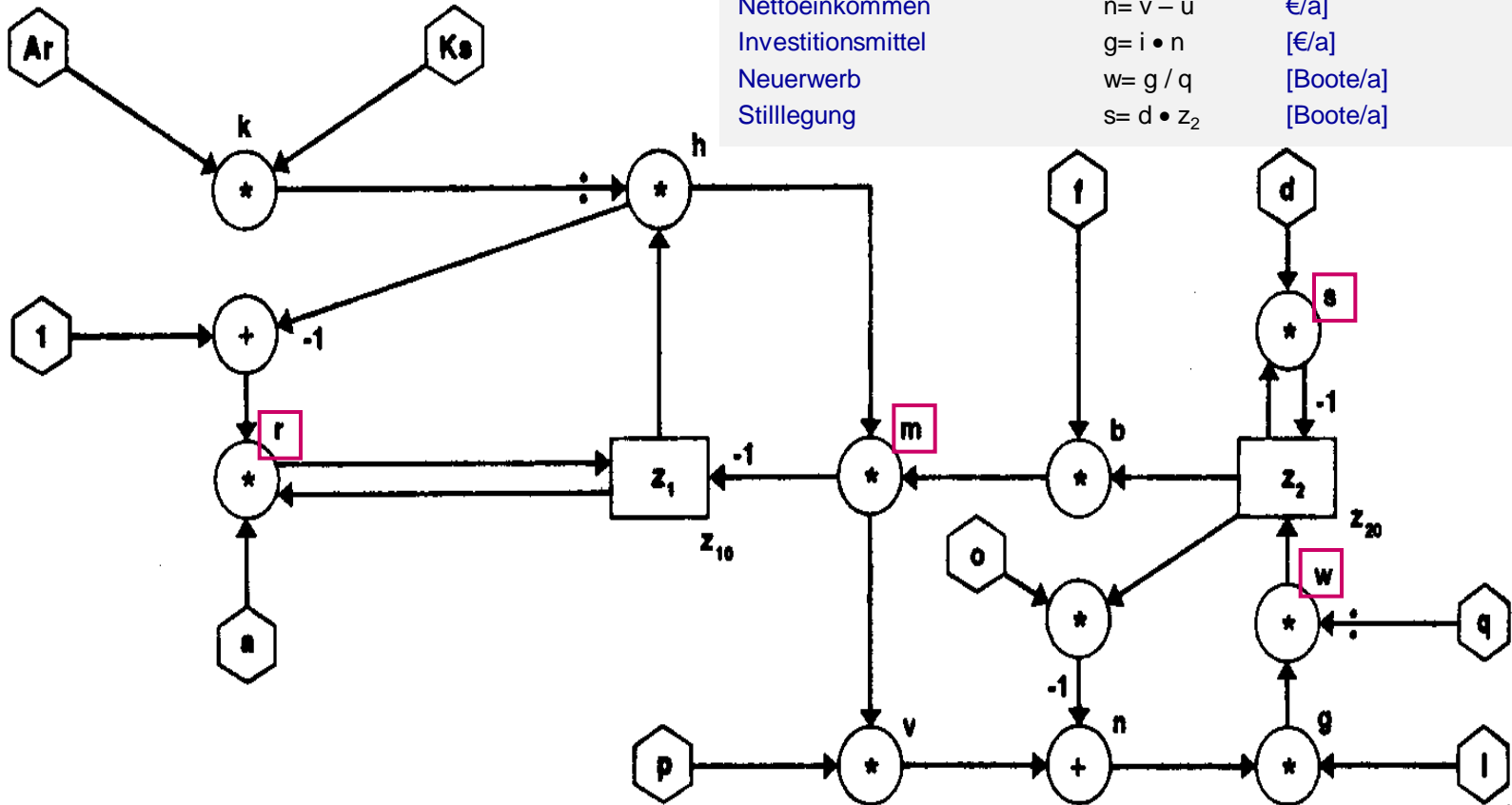


4. *Beispiel: Fischfang*

1. Problemstellung
2. Systemstruktur und Wirkungsgraph
3. Systemverhaltensgleichungen
4. Modellierung in ODEMx
5. Experimentserie

Zusammenhänge (2)

Fischdichte	$h = z_1 / k$	[t Fisch/ t Fisch] = [-]
Fischzuwachs	$r = a \cdot z_1 \cdot (1-h)$	[t Fisch/a]
max. spez. Fischzuwachsrate	a	[1/a]
Fangpotential	$b = f \cdot z_2$	[t Fisch/a]
Fangmenge	$m = b \cdot h$	[t Fisch/a]
Fangerlös	$v = p \cdot m$	[€/a]
Bootsunterhalt	$u = o \cdot z_2$	[€/a]
Nettoeinkommen	$n = v - u$	€/a]
Investitionsmittel	$g = i \cdot n$	[€/a]
Neuerwerb	$w = g / q$	[Boote/a]
Stilllegung	$s = d \cdot z_2$	[Boote/a]



Fische $z_1(t): \quad z_1' = r - m$

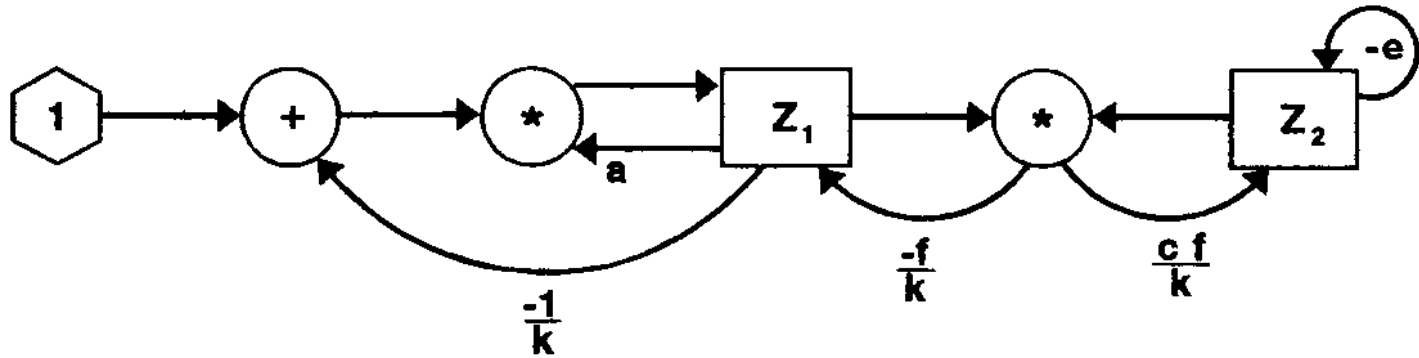
Boote $z_2(t): \quad z_2' = w - s$

Differentialgleichungssystem:
beschreibt Systemdynamik

Größenzusammenhänge

- $dz_1/dt = z_1' = r - m$
- $dz_2/dt = z_2' = w - s$

Fischdichte	$h = z_1 / k$	[t Fisch / t Fisch] = [-]
Fischzuwachs	$r = a \cdot z_1 \cdot (1-h)$	[t Fisch/a]
max. spez. Fischzuwachsrate	a	[1/a]
Fangpotential	$b = f \cdot z_2$	[t Fisch/a]
Fangmenge	$m = b \cdot h$	[t Fisch/a]
Fangerlös	$v = p \cdot m$	[€/a]
Bootsunterhalt	$u = o \cdot z_2$	[€/a]
Nettoeinkommen	$n = v - u$	[€/a]
Investitionsmittel	$g = i \cdot n$	[€/a]
Neuerwerb	$w = g / q$	[Boote/a]
Stilllegung	$s = d \cdot z_2$	[Boote/a]



klassisches Räuber-Beute-System mit logistischem Wachstum

bei Festlegung der Systemparameter

- k
- f
- c
- a
- e

$$z_1' = a \cdot z_1 \cdot (1 - z_1/k) - f \cdot z_1 \cdot z_2$$

$$z_2' = c \cdot f \cdot z_1 \cdot z_2 - e \cdot z_2$$

Systemparameter

- **festen Größen**

- Fanggebiet := 100 {km²}
- spezFischkapazitaet:= 100 {t Fisch/km²}
- maxFischkapazitaet := Fanggebiet • spezFischkapazitaet {t Fisch}

- **spezifische Systemparameter**

- maxSpezFischzuwachsrate := 1.000 {1/Jahr}
- maxSpezFangmenge := 100 {t Fisch/ (Boot Jahr)}
- spezUnterhaltskosten := 50.000 {€/ (Boot Jahr)}
- Bootsneukosten := 100.000 {€/Boot}
- Bootslebensdauer := 15 {Jahre}
- Fischpreis := 1.000 {€/t Fisch}
- Investitionsanteil := 0.5
- Fische := 5.000 {t Fisch}
- Boote := 100 {Boote}

- **Experimentparameter**

(Auswahl aufgrund des festgelegten Untersuchungsziels)

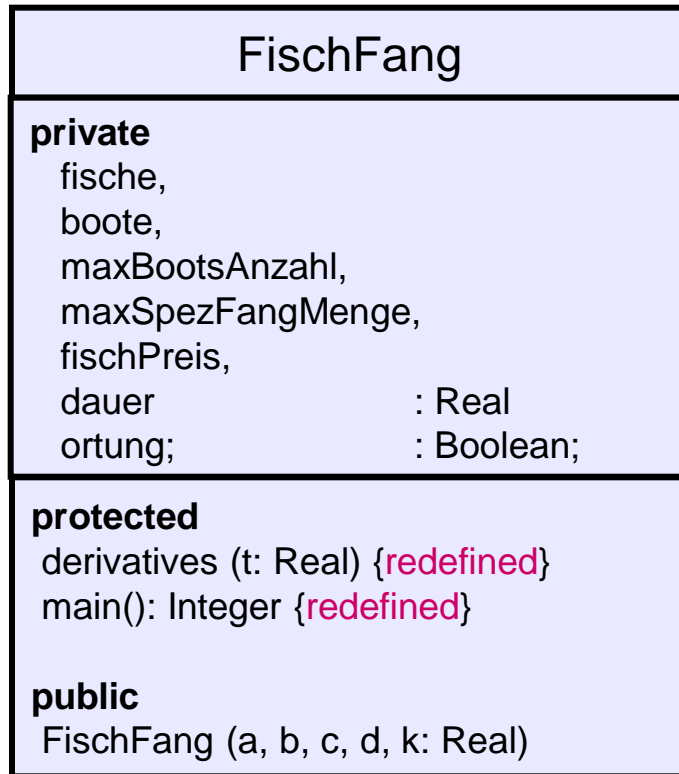
- maxSpezFischzuwachsrate
- spezUnterhaltskosten
- Bootsneukosten

4. *Beispiel: Fischfang*

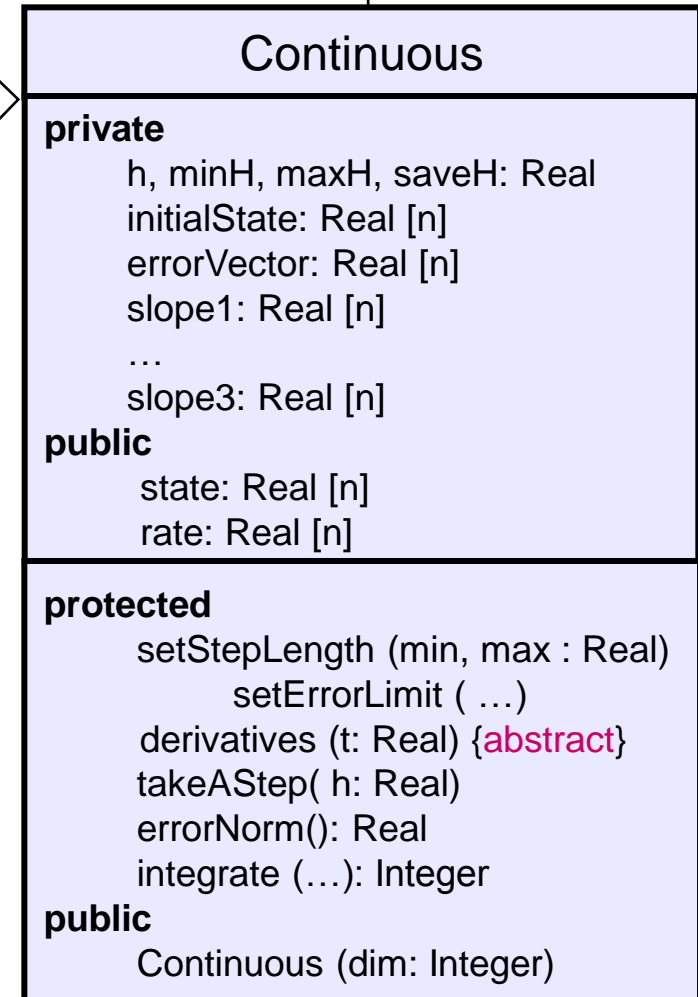
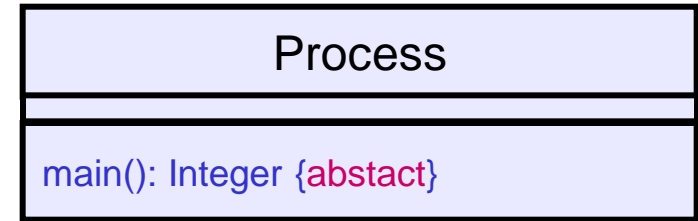
1. Problemstellung
2. Systemstruktur und Wirkungsgraph
3. Systemverhaltensgleichungen
4. Modellierung in ODEMx
5. Experimentserie

Umsetzung mit ODEMX

state[0] – Fischpopulation
state[1] - Bootsanzahl



zusätzliche Vereinbarung einer Menge
globaler Konstanten



Umsetzung mit ODEMX

```
derivatives (t: Real) {  
    Fischdichte = state[0] / maxFischkapazitaet;  
    Fischzuwachs = maxSpezFischzuwachsrate * state[0] * (1 - Fischdichte);  
    Fangpotential = maxSpezFangmenge * state[1];  
    if (!Ortung)  
        Fangmenge= Fangpotential * Fischdichte  
    else {  
        if (state[0] > 0.0) Fangmenge= Fangpotential * Fangchance  
        else Fangmenge= 0.0;  
  
        if (state[0] < 0.0) Fischzuwachs= 0.0;  
    }  
    FangErloes = Fischpreis * Fangmenge;  
    Bootsunterhalt = spezUnterhaltskosten * state[1];  
    Nettoeinkommen = FangErloes - Bootsunterhalt;  
    Investitionsmittel_Boote= Investitionsanteil_Boote * Nettoeinkommen;  
    Neuerwerb_Boote = Investitionsmittel_Boote / Bootsneukosten;  
  
    if (state[1] > maxBootsAnzahl) Neuerwerb_Boote= 0.0;  
  
    Stilllegung_Boote = spezStilllegungsrate * state[1];  
  
    rate[0] = Fischzuwachs - Fangmenge;  
    rate[1] = Neuerwerb_Boote - Stilllegung_Boote;  
}
```

Verhinderung negativer Fangmengen

Verhinderung eines negativen Fischwachstums

Begrenzung der Bootsanzahl

Umsetzung mit ODEMX

```
derivatives (t: Real) {
  Fischdichte = state[0] / maxFischkapazitaet;
  Fischzuwachs = maxSpezFischzuwachsrate * state[0] * (1 - Fischdichte);
  Fangpotential = maxSpezFangmenge * state[1];
  if (!Ortung)
    Fangmenge= Fangpotential * Fischdichte
  else {
    if (state[0] > 0.0) Fangmenge= Fangpotential * Fangchance
    else Fangmenge= 0.0;

    if (state[0] < 0.0) Fischzuwachs= 0.0;
  }
  FangErloes = Fischpreis * Fangmenge;
  Bootsunterhalt = spezUnterhaltskosten * state[1];
  Nettoeinkommen = FangErloes - Bootsunterhalt;
  Investitionsmittel_Boote= Investitionsanteil_Boote * Nettoeinkommen;
  Neuerwerb_Boote = Investitionsmittel_Boote / Bootsneukosten;

  // if (state[1] > maxBootsAnzahl) Neuerwerb_Boote= 0.0;

  Stilllegung_Boote = spezStilllegungsrate * state[1];

  rate[0] = Fischzuwachs - Fangmenge;
  rate[1] = Neuerwerb_Boote - Stilllegung_Boote;
}
```

4. *Beispiel: Fischfang*

1. Problemstellung
2. Systemstruktur und Wirkungsgraph
3. Systemverhaltensgleichungen
4. Modellierung in ODEMx
5. Experimentserie

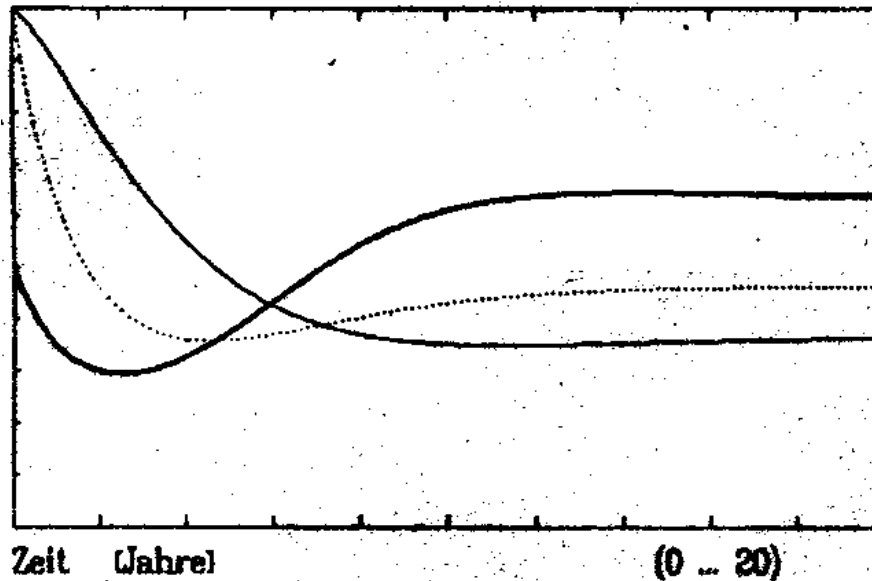
Standardlauf für *dichte-abhängigen* Fischfang (Untersuchung für einen Anfangswert)

FISCHFANG-DYNAMIK

— Fische
— Boote
... Fangmenge

(0 ... 1.00E+04)
(0 ... 100)
(0 ... 5000)

unterschiedliche
Skalierung



Fische (5.000 → 3.000 → 6.300)

Boote (100 → 36)

- nach starkem Rückgang (5.000 → 3.000) erholt sich Fischpopulation u. stabilisiert sich bei **6.300 tFisch**
 - Bootszahl verringert sich rasch von 100 auf **36**, wo sie sich stabilisiert
 - jährliche Fangmenge geht von 5.000t/a auf 1.800 zurück und stabilisiert sich bei **2.300 tFisch/a**
- nach **10 Jahren** stellt sich ein **Fließgewicht** ein

Experimente-Überblick

Grundverhalten des Systems
1a. mit Referenzwerten

→ Boote, Fische, jährliche Fangmenge

dichte-abhängige
Fangmethode

Parametersensitivität
1b. max. spezif. Fangmenge,
1c. Fischpreis,
1d. Investitionsanteil für neue Boote

→ Boote, Fische, jährliche Fangmenge

Grundverhalten des Systems
2a.

→ Boote, Fische, jährliche Fangmenge

ortungs-abhängige
Fangmethode

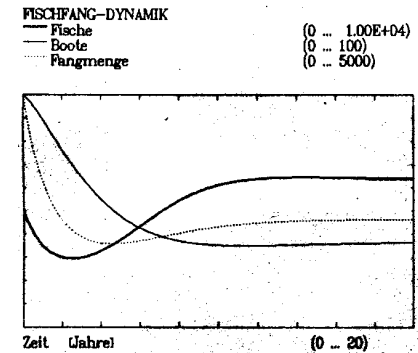
Parametersensitivität
2b. max. spezif. Fangmenge
2c. Fischpreis

→ Boote, Fische, jährliche Fangmenge

1a. Fischdichte-abhängige Fangmethode

Experiment

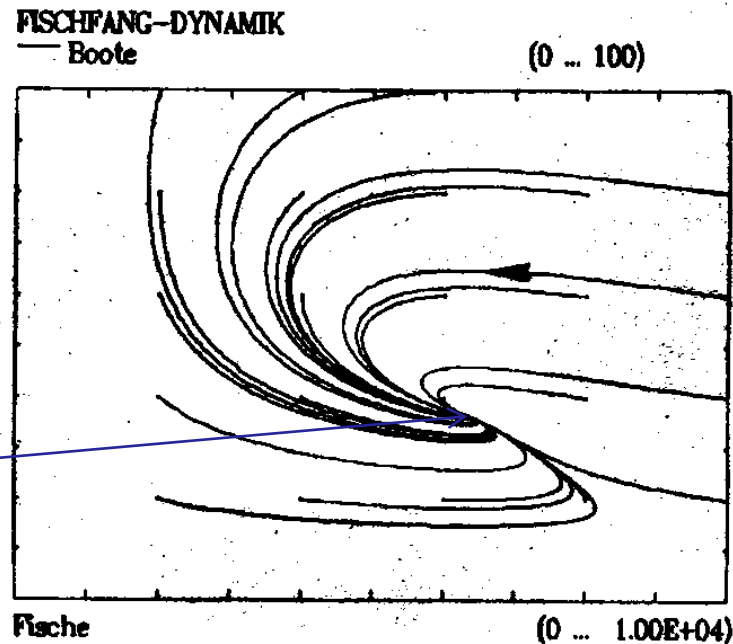
- Wahl von Referenzwerten für die Koeffizienten der DGL
- Einfluss der Startwerte (Fische, Boote) in abgesteckten Grenzen
- Zeitdauer: 20 Jahre



Parameter: Startwerte
{t Fisch bzw. Boote}

- Fische [0..10.000t]
- Boote [0..100]

stabiler Gleichgewichtspunkt
(gedämpfte Schwingung)



Resultat

- unabhängig von den Anfangsbedingungen geht der Systemzustand immer in ein und den selben Zustand über: etwa **37 Boote** und **6.300 t Fisch**
- dieser Gleichgewichtszustand ist zudem **stabil**

1b. Fischdichte-abhängige Fangmethode

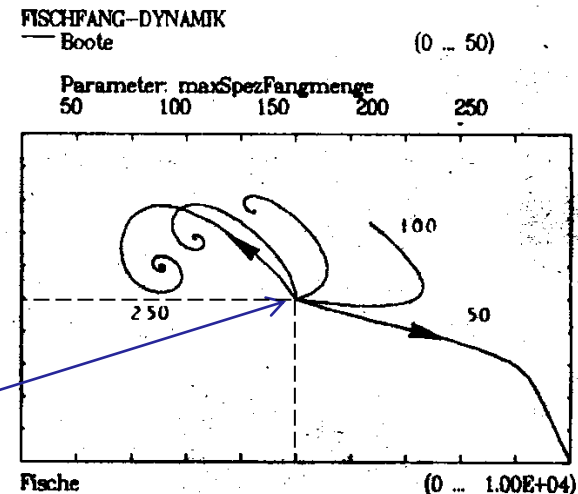
Experiment

- Einfluss der maximalen spezifischen Fangmenge auf Boote und Fische

Parameter: maximale spezif. Fangmenge
{t Fisch/ (Boot Jahr)}

- 50
- **100 bisher**
- 150
- 200
- 250

Startwert
25 Boote
5.000 tFisch



- bei geringer spezifischer Fangmenge (**50**) verringert sich die Bootsanzahl auf Null, was ein Anwachsen der Fischpopulation zur Folge hat
→ Fischfang ist unter diesen Umständen ökonomisch nicht sinnvoll
- bei **100** ergibt sich das bekannte Gleichgewicht (**37 Boote, 6.300 t Fisch**)
- bei weiterer Erhöhung (**150 bis 250**) verschiebt sich der Gleichgewichtspunkt zu kleinerer Fischpopulation und geringerer Bootsanzahl
- zunehmende (gedämpfte) Schwingung

1c. Fischdichte-abhängige Fangmethode

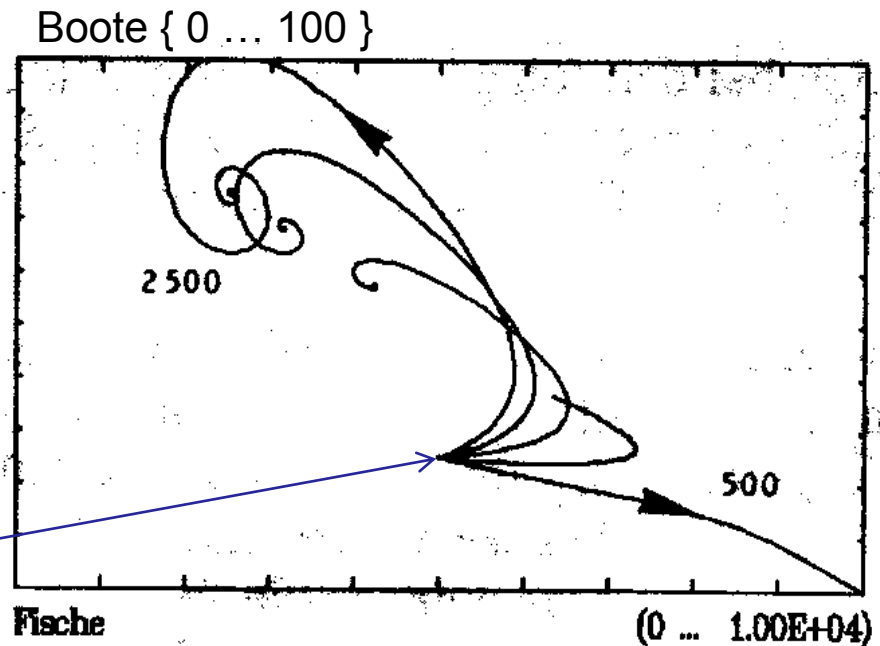
Experiment

- Einfluss des Fischpreises auf Boote und Fische

Parameter: Fischpreis
{€/t Fisch}

- 500
- **1.000** bisher
- 1.500
- 2.000
- 2.500

25 Boote
5.000 tFisch



- bei **höherem Preis** kann man eine größere Flotte (75 Boote) unterhalten, allerdings bei reduzierter Fischpopulation
- bei **zu geringem Preis** kommt es zum Erliegen des Fischfangs

1d. Fischdichte-abhängige Fangmethode

Experiment

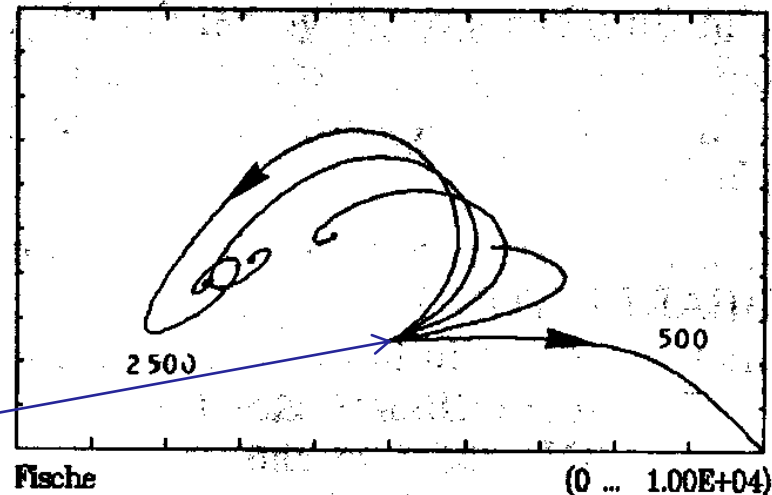
- Einfluss der Fischpreises auf die Fangmenge

Gibt es ein Optimum?

Parameter: Fischpreis
{€/t Fisch}

- 500
- 1.000
- 1.500
- 2.000
- 2.500

Fangmenge (0 .. 5.00E+03)



25 Boote
5.000 tFisch

- bei einem Preis von ca. 1.250 €/t Fisch wird eine optimale Fischmenge von ca. 2.500 t Fisch/a erzielt
- bei kleinerem oder größerem Preis ist die Fangmenge kleiner
- sinkt der Preis jedoch unter 900 €/t Fisch, ist Fischbetrieb nicht mehr möglich

Wechsel der Fangmethode

bislang

$$\text{Fangmenge} := \text{Fangpotential} * \text{Fischdichte}$$

ein Aussterben der Fischpopulation ist wegen Überfischens
prinzipiell unmöglich

nun

"nur" noch abhängig von Güte der Ortungstechnik

$$\text{Fangmenge} := \text{Fangpotential} * \text{Fangchance}$$

0,8

dramatische Systemverhaltensänderung
bisherige Anfangswerte → Systemzusammenbruch !

Experiment 2a
- nicht gezeigt-

Systemparameter

Gegenmaßnahme: Begrenzung der Fangmenge pro Boot

- **feste Größen**

- Fanggebiet := 100 {km²}
- spezFischkapazitaet:= 100 {t Fisch/km²}
- maxFischkapazitaet := Fanggebiet • spezFischkapazitaet {t Fisch}

- **spezifische Systemparameter**

- maxSpezFischzuwachsrate := 1.000 {1/Jahr}
- **maxSpezFangmenge** := **100 {t Fisch/ (Boot Jahr)}**
- spezUnterhaltskosten := 50.000 {€/(Boot Jahr)}
- Bootsneukosten := 100.000 {€/Boot}
- Bootslebensdauer := 15 {Jahre}
- Fischpreis := 1.000 {€/t Fisch}
- Investitionsanteil := 0.5
- Fische := 5.000 {t Fisch}
- Boote := 100 {Boote}

- **Experimentparameter**

(Auswahl aufgrund des festgelegten Untersuchungsziels)

- maxSpezFangmenge
- Fischpreis
- Investitionsanteil
- spezUnterhaltskosten
- Bootsneukosten

Umsetzung mit ODEMX

```
derivatives (t: Real) {
  Fischdichte = state[0] / maxFischkapazitaet;
  Fischzuwachs = maxSpezFischzuwachsrate * state[0] * (1 - Fischdichte);
  Fangpotential = maxSpezFangmenge * state[1];
  if (!Ortung)
    Fangmenge= Fangpotential * Fischdichte
  else {
    if (state[0] > 0.0) Fangmenge= Fangpotential * Fangchance
    else Fangmenge= 0.0;

    if (state[0] < 0.0) Fischzuwachs= 0.0;
  }
  FangErloes = Fischpreis * Fangmenge;
  Bootsunterhalt = spezUnterhaltskosten * state[1];
  Nettoeinkommen = FangErloes - Bootsunterhalt;
  Investitionsmittel_Boote= Investitionsanteil_Boote * Nettoeinkommen;
  Neuerwerb_Boote = Investitionsmittel_Boote / Bootsneukosten;

  // if (state[1] > maxBootsAnzahl) Neuerwerb_Boote= 0.0;

  Stilllegung_Boote = spezStilllegungsrate * state[1];

  rate[0] = Fischzuwachs - Fangmenge;
  rate[1] = Neuerwerb_Boote - Stilllegung_Boote;
}
```

2b. Fischdichte-unabhängige Fangmethode

Experiment einer Gegenmaßnahme: **Begrenzung der Fangmenge pro Boot**

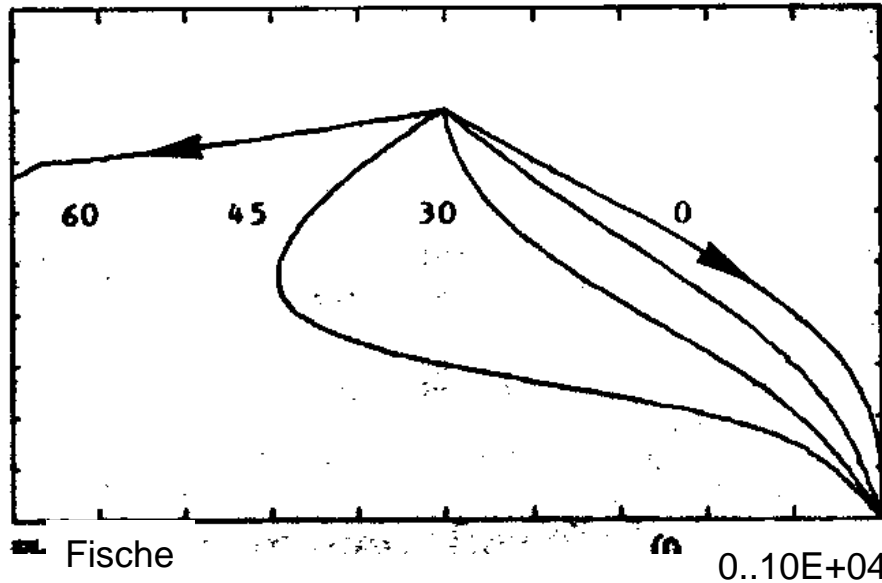
FISCHFANG-DYNAMIK

Boote

(0 ... 125)

Parameter: maxSpezFangmenge

0 15 30 45 60



Parameter: maxSpezFangmenge
{t Fisch / Boot a}

- 0
- 15
- 30
- 45
- 60

kritischer Wert: 46.1 {t Fisch / Boot a}
kleiner → nicht rentabel
größer → Überfischen

es gibt keinen Kompromiss (Anfangswerte haben **keinen** Einfluss) :

- entweder die Fischpopulation verschwindet (durch Überfischen)
- oder der Fischereibetrieb muss aufgegeben werden

Umsetzung mit ODEMX

Gegenmaßnahme: Begrenzung der Bootsanzahl

```
derivatives (t: Real) {
  Fischdichte = state[0] / maxFischkapazitaet;
  Fischzuwachs = maxSpezFischzuwachsrate * state[0] * (1 - Fischdichte);
  Fangpotential = maxSpezFangmenge * state[1];
  if (!Ortung)
    Fangmenge= Fangpotential * Fischdichte
  else {
    if (state[0] > 0.0) Fangmenge= Fangpotential * Fangchance
    else Fangmenge= 0.0;

    if (state[0] < 0.0) Fischzuwachs= 0.0;
  }
  FangErloes = Fischpreis * Fangmenge;
  Bootsunterhalt = spezUnterhaltskosten * state[1];
  Nettoeinkommen = FangErloes - Bootsunterhalt;
  Investitionsmittel_Boote= Investitionsanteil_Boote * Nettoeinkommen;
  Neuerwerb_Boote = Investitionsmittel_Boote / Bootsneukosten;

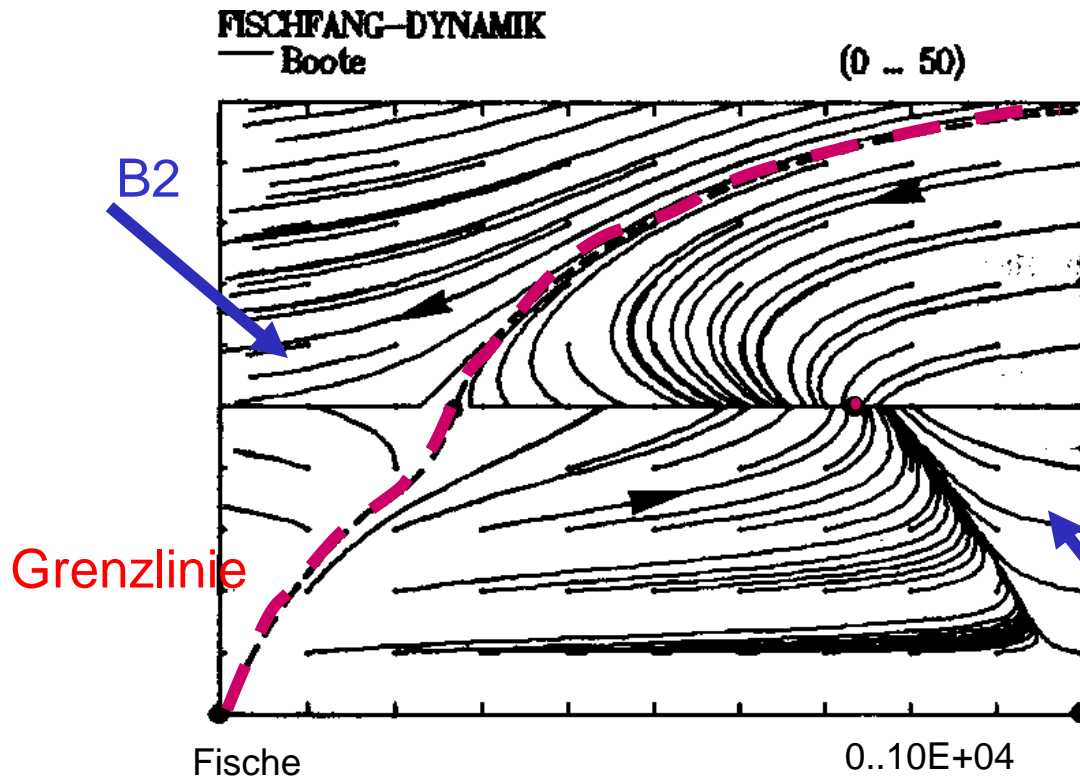
  if (state[1] > maxBootsAnzahl) Neuerwerb_Boote= 0.0;

  Stilllegung_Boote = spezStilllegungsrate * state[1];

  rate[0] = Fischzuwachs - Fangmenge;
  rate[1] = Neuerwerb_Boote - Stilllegung_Boote;
}
```

2c. Fischdichte-unabhängige Fangmethode

Begrenzung der Bootsanzahl auf 25 (willkürliche Annahme)



Zustandsraum zerfällt in zwei Bereiche:

- **B1**: entweder Bewegung in einen stabilen Gleichgewichtspunkt oder
- **B2**: Zusammenbruch der Fischpopulation wenn anfängliche Bootsanzahl zu hoch ausfällt

- bedingt erfolgreich: Verhalten ist von **Anfangsbedingungen** abhängig
- es gibt einen stabilen Bereich B1 (unter der Grenzlinie)
- es gibt einen instabilen Bereich B2 (über der Grenzlinie)
- Gleichgewichtspunkt: **25 Boote, 7.236 t Fisch** (36 Boote, 6.300 tFisch)

2d. Fischdichte-unabhängige Fangmethode

Experiment: Haben wir mit 25 Booten schon die maximale Fangmenge erreicht?
Beobachtung der Fangmengen über 50 Jahre

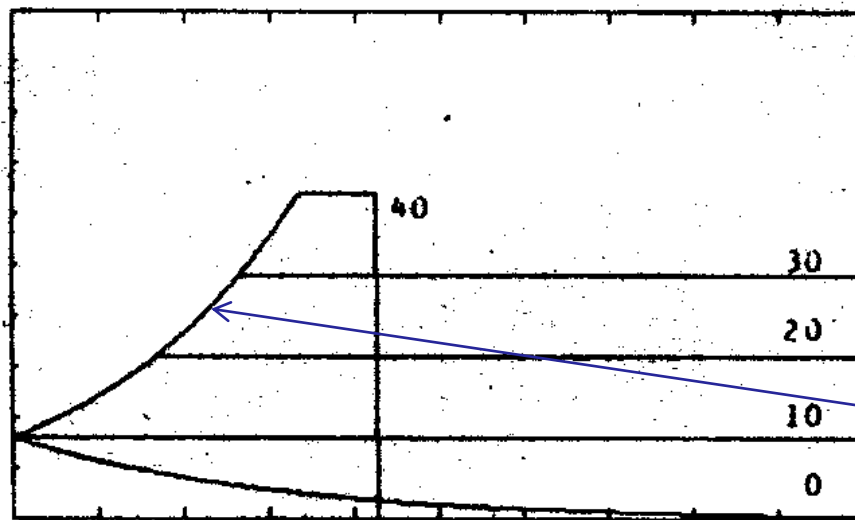
FISCHFANG-DYNAMIK

— Fangmenge

(0 ... 5000)

Parameter: Maximale Bootszahl

0 10 20 30 40



Parameter: maxBootsanzahl

- 0
- 10
- 20
- 30
- 40

2.000 tFisch/a
mit 25 Booten

Erkenntnis über die Sensibilität des Systems

→ maximaler Ertrag ergibt sich genau an der Zusammenbruchsgrenze

für **32 Boote** (und mehr): Überfischung

Umsetzung mit ODEMX

```
derivatives (t: Real) {  
  Fischdichte = state[0] / maxFischkapazitaet;  
  Fischzuwachs = maxSpezFischzuwachsrate * state[0] * (1 - Fischdichte);  
  Fangpotential = maxSpezFangmenge * state[1];  
  if (!Ortung)  
    Fangmenge= Fangpotential * Fischdichte  
  else {  
    if (state[0] > 0.0) Fangmenge= Fangpotential * Fangchance  
    else Fangmenge= 0.0;  
  
    if (state[0] < 0.0) Fischzuwachs= 0.0;  
  }  
  FangErloes = Fischpreis * Fangmenge;  
  Bootsunterhalt = spezUnterhaltskosten * state[1];  
  Nettoeinkommen = FangErloes - Bootsunterhalt;  
  Investitionsmittel_Boote= Investitionsanteil_Boote * Nettoeinkommen;  
  Neuerwerb_Boote = Investitionsmittel_Boote / Bootsneukosten;  
  
  if (state[1] > maxBootsAnzahl) Neuerwerb_Boote= 0.0;  
  
  Stilllegung_Boote = spezStilllegungsrate * state[1];  
  
  rate[0] = Fischzuwachs - Fangmenge;  
  rate[1] = Neuerwerb_Boote - Stilllegung_Boote;  
}
```

Verhinderung negativer Fangmengen

Verhinderung eines negativen Fischwachstums

Begrenzung der Bootsanzahl

Zusammenfassung Fischfangmodell

1. bei nichtlinearen Systemen: globale Analyse notwendig,
Attraktoren mit unterschiedlichen Einzugsbereichen sind möglich
2. Verhalten kann parameterabhängig sein
→ umfangreiche Sensitivitätsanalyse
3. Gleichgewichtszustände können ermittelt werden
→ Test, ob sämtliche Ableitungen Null sind
4. Stabilität der Gleichgewichtspunkte zeigt sich im Lauf der Zustandsbahnen
5. Geringfügige Systemänderung kann dramatische Folgen haben:
→ beuteabhängige Fangmethode (stabiler GP)
→ ortungstechnische Fangmethode (instabiler und stabiler Bereich)
6. Strukturänderung von 5. hatte destabilisierende Wirkung
→ nachträgliche Stabilisierung nur durch Begrenzung der Fangflotte möglich
(spezifische Fangmenge reichte nicht aus)
7. bei Maximierung des Beuteertrages kann nur ein sicherer Abstand zur
Zusammenbruchsgrenze des Systems die Stabilität erhalten
8. kann der Räuber auf eine andere Beute ausweichen, kann es zu vollständigen
Vernichtung der Beutepopulation kommen

5. Differenzenverfahren zur Beschreibung zeitkontinuierlicher Prozesse in ODEMx

- Beispiel: Tankerflotte
- Prinzipielle Erweiterung der Modellklassen zeitkontinuierlicher Prozesse
- Zelluläre Automaten

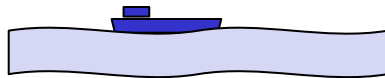
Wortmodell: Tanker-Tank-Raffinerie (kont.)

Tankerflotte besteht aus 15 Schiffen, befördert Erdöl (je 150 tb)

4 +/- 1 Tage (normalverteilt) \longleftrightarrow 5 +/- 1.5 Tage (normalverteilt)

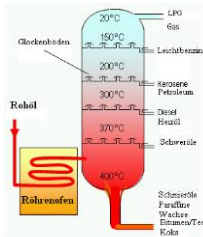
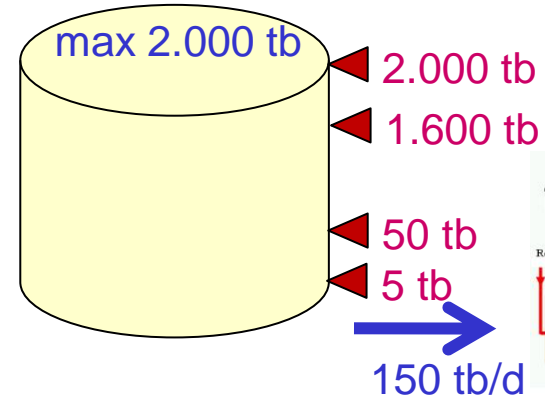
Valdez(Alaska)

Seattle(Washington)



Parallele Beladung
ohne Einschränkung

nur 1 Entladedock



Beladung von Tankern
Bedingungen/Aktionen:

- Zeit: $(150+x)/50$, x gleichv. [-10,+10]

Entladung von Tankern
Bedingungen/Aktionen:

- 2-Schicht-System 4.00 – 20.00 Uhr
- Stopp, falls unter 5% des Fassungsvermögens (7,5 tb)
- $x(t+dt) = x(t) - dt * in$
(in= 300 tb/d oder 0 tb/d)

Raffinerie

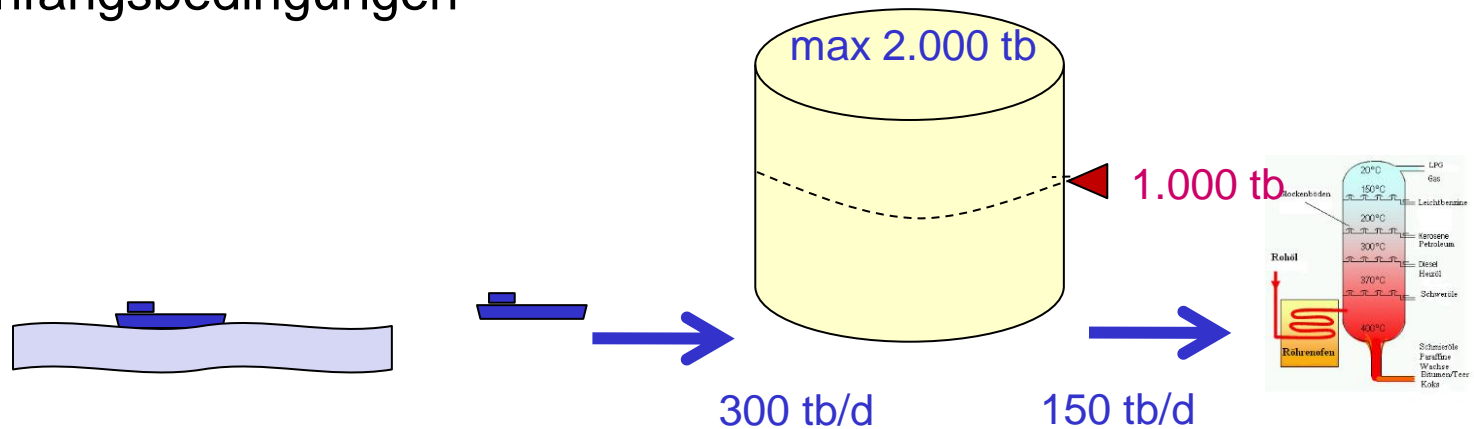
Bedingungen/Aktionen:

- 3-Schicht-Betrieb
- Stopp, falls unter 5 tb, Fortsetzung bei mind. 50 tb
- Stopp, falls 2000 tb, Fortsetzung bei wenigstens 1.600 tb
- $y(t+dt) = y(t) - dt * (in - out)$
(in= 300 tb/d oder 0 tb/d)
(out= 150 tb/d oder 0 tb/d)

Problem: simulative Nachbildung (365 Tage) bei Bestimmung der Auslastung eingesetzter Ressourcen, verbrauchte Menge Öl, Wartezeit der Tanker bei Variation der Tanker-Anzahl

Wortmodell: Tanker-Tank-Raffinerie (kont.)

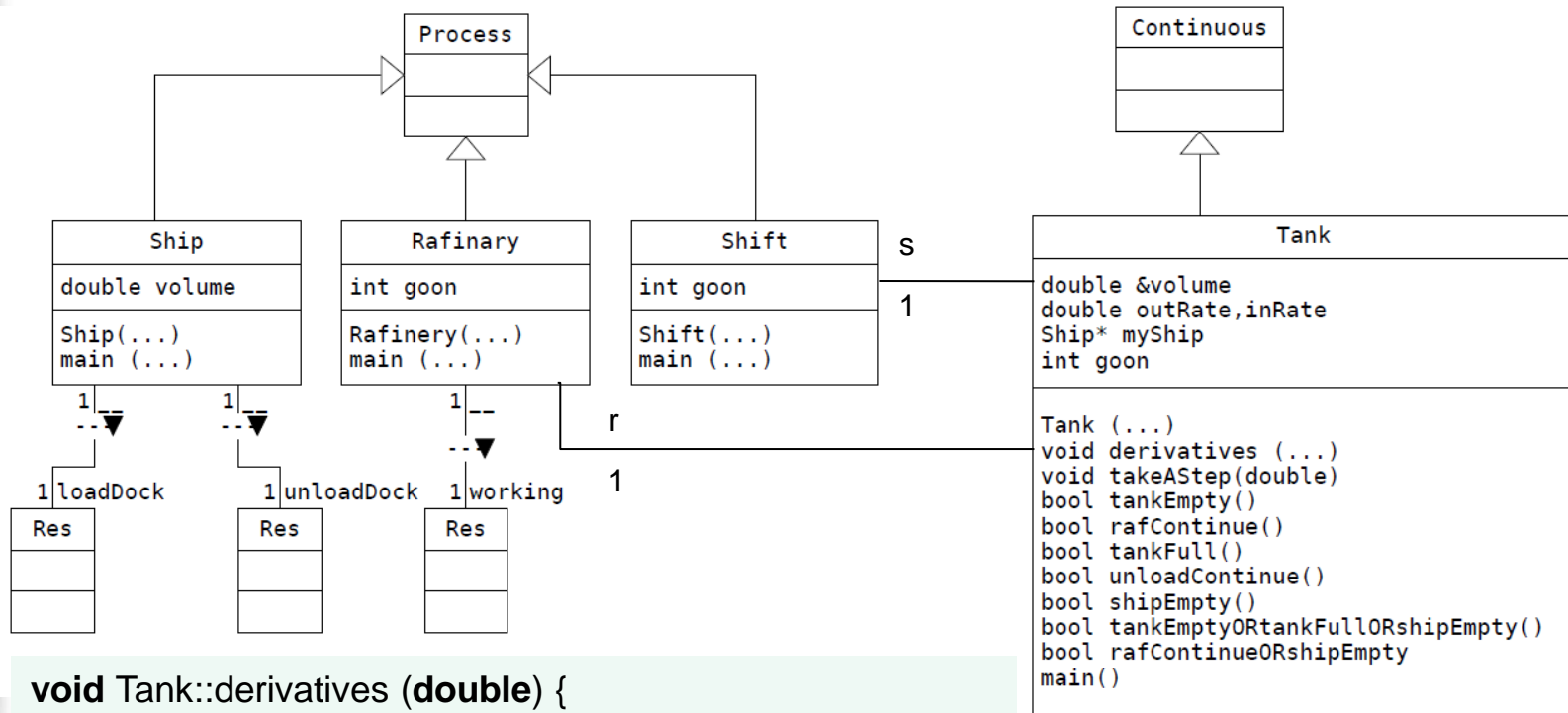
Anfangsbedingungen



ein Tanker ist mit Systemstart bereits in Seattle

nach jeweils weiteren 12 h
Eintreffen des nächsten Tankers

System: Struktur und Verhalten



```

void Tank::derivatives (double) {
    if (myShip && s->goon && goon) inRate = 300;
    else inRate = 0;
    if (r->goon) outRate = 150; else outRate = 0;
}
  
```

```

void Tank::takeAStep (double h) {
    derivatives(0);
    volume += h * (inRate - outRate);
    if (myShip) myShip->volume -= h * inRate;
}
  
```

System: Verhalten (Schichtbetrieb)

```
int Shift::main() {  
    // Tank- und Shift-Objekte werden synchronisiert  
    ::t->addPeer (this);  
  
    holdFor (SMALL_NIGHT);  
    for (;;) {  
        goon = 1;  
        holdFor (DAY);  
        goon = 0;  
        holdFor (NIGHT);  
    }  
    return 0;  
}
```

3-Schicht-Betrieb

- Stopp, falls unter 5 tb, Fortsetzung bei mind. 50 tb
- Stopp, falls 2000 tb, Fortsetzung bei wenigstens 1.600 tb

```
void Tank::derivatives (double) {  
    if (myShip && s->goon && goon) inRate = 300;  
    else inRate = 0;  
    if (r->goon) outRate = 150; else outRate = 0;  
}
```


System: Konstanten

// Modellparameter

```
int SHIPS = 5; // Anzahl der Schiff
```

// echte Modellkonstanten

```
const double SHIP_MAX_VOL = 150.0; // Ladevolumen der Schiffe
const double SHIP_REST_VOL = 7.5; // Restinhalt nach Entladung
const double DAY = 0.667; // 16 h Arbeitszeit
const double NIGHT = 0.333; // 8 h Ruhe
const double SMALL_NIGHT = 0.25; // Beginn um 6.00Uhr
const double ARRIVE = 0.5; // alle 12h kommt ein Tanker an
const double LOAD_TRIP = 5.0; // Fahrzeit (voll)
const double UNLOAD_TRIP = 4.0; // Fahrzeit (leer)
const double TANK_MAX_VOL = 2000.0; // Tankfassungsvermoegen
const double TANK_CONT_VOL = 1860.0; // Entladung wird fortgesetzt
const double TANK_MIN_VOL = 50.0; // Raffinerie faengt an zu arbeiten
const double TANK_START_VOL = 1000.0; // Anfangsinhalt des Tanks
const double IN_RATE = 300.0; // Tagesentladerate der Schiffe
const double OUT_RATE = 150.0; // Tageserate der Raffinerie
const SimTime PERIOD = 365.0; // 365 Tage
```

System: Verhalten (Zustandsbedingungen)

// Bedingung zur Unterbrechung der Raffinerie:

```
bool empty() {  
    return volume < TANK_MIN_VOL;  
}
```

// Bedingung zum erneuten Starten der Raffinerie:

```
bool raf_continue() {  
    return volume >= TANK_MIN_VOL+100; }
```

// Bedingung zur Unterbrechung der Tankerentladung:

```
bool full() {  
    return volume >= TANK_MAX_VOL; }
```

// Bedingung zur Fortsetzung der Tankerenladung:

```
bool unload_continue() {  
    return volume < TANK_CONT_VOL; }
```

// Bedingung zur Beendigung der Tankerentladung:

```
bool ship_ready() {  
    if (myShip)  
        return myShip->volume <= SHIP_REST_VOL;  
    return false; }
```

// Zusammengesetzte Zustandsereignisse

```
bool empty_OR_full_OR_ready() {  
    return empty() || full() || ship_ready();  
}
```

```
bool rcontinue_OR_ready() {  
    return raf_continue() || ship_ready();  
}
```

3-Schicht-Betrieb

- Stopp, falls unter 5 tb, Fortsetzung bei mind. 50 tb
- Stopp, falls 2000 tb, Fortsetzung bei wenigstens 1.600 tb

System: Verhalten (Tank-Lebenslauf)

```
int Tank::main() {
    for (;;) {
        integrate (0, (Condition)&Tank::tankEmpty_OR_tankFull_OR_shipEmpty);
        if (tankEmpty()) {
            r->goon= 0;
            r->activate();
            integrate (0, (Condition)&Tank::rafContinue_OR_shipEmpty);
            if (rafContinue()) {
                r->goon=1;
                r->activate();
            }
            if (shipEmpty()) {
                integrate(0, (Condition)&Tank::rafContinue);
                r->goon = 1;
                r->activate();
            }
        }
        if (tankFull()) {
            goon = 0;
            integrate (0, (Condition)&Tank::unloadContinue);
            goon = 1;
        }
        if (shipEmpty()) {
            myShip->activate();
        }
    }
    return 0;
}
```

System: Verhalten (Tanker-Lebenslauf)

```
int Ship::main() {
    ::t->addPeer(this);
                                     // Tank- und Ship-Objekte werden synchronisiert
    for(;;) {
        loadDock->acquire(1);
        holdFor((150 + loading->sample())/50.0);
        volume = SHIP_MAX_VOL;
        loadDock->release(1);
        holdFor (loadTrip->sample());
        unloadDock->acquire(1);
        ::t->myShip= this;
        ::t->goon= 1;
        sleep();
        ::t->myShip= 0;
        ::t->goon= 0;
        unloadDock->release(1);
        holdFor (unloadTrip->sample());
    }
    return 0;
}
```

System: Verhalten (Rafinerie-Lebenslauf)

```
int Refinery::main() {  
    for (;;) {  
        working->acquire(1);  
        sleep();  
        working->release(1);  
        sleep();  
    }  
    return 0;  
}
```

Simulationsergebnisse (Tankinhalt)

