

# Modellierung & Simulation

## Seminar Modellierung und Simulation

Prof. Dr. Thomas Ludwig  
Julian Martin Kunkel  
Michaela Zimmer

03.12.2012 Übersicht: Modellierung & Simulation

Holger Trampe

# Modellierung und Simulation

1. Terminologie
2. Modelle erstellen
3. Vorteile und Grenzen
4. Simulationsprinzipien
5. Diskussion
6. Quellen

# 1. Terminologie

- Einzusetzende Begrifflichkeiten werden unterschiedlich definiert
- Relevanter Bereich für Terminologie ist „Themengebiet Computersimulation“
- Ausgewählte Definitionen werden ausgegeben zum gemeinsamen Verständnis



# 1. Terminologie

- System
- Modell
- Simulation
- Qualitätssicherung
  - Genauigkeit und Präzision
  - Verifikation und Validierung
- Computermodell

# 1. Terminologie - System

Kowalk

Ein System (system) ist eine räumlich abgeschlossene, logisch zusammengehörende und zeitlich begrenzte Einheit, die voneinander abhängende Komponenten umfasst.

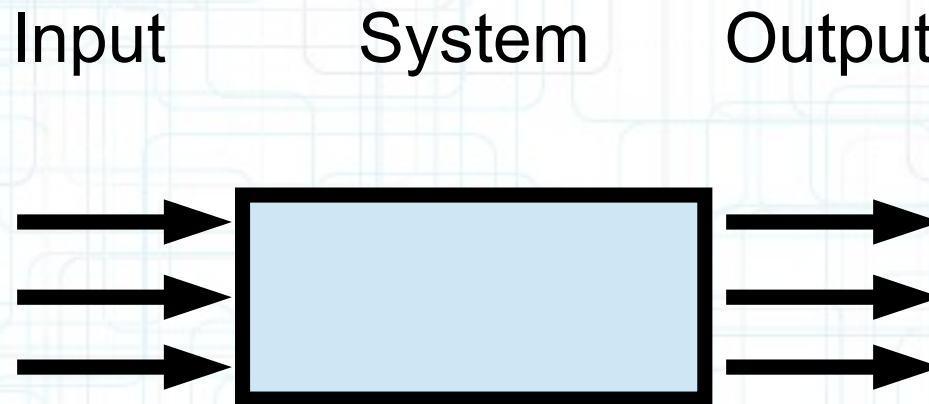
Oberkampf/Roy

**System: a set of physical entities that interact and are observable, where the entities can be a specified quantity of matter or a volume in space**

*Eine Reihe von physisch vorhandenen Dingen, die miteinander interagieren und beobachtbar sind. Sie können eine Menge von Teilchen sein oder ganze Körper im Raum.*



# 1. Terminologie - System



Input → Beeinflusst den Wert der gegebenen Variablen im System

System → Inputdaten werden verarbeitet

Output → Ergebnis der Systemverarbeitung

# 1. Terminologie – System

Raumschiff im Weltall mit Masse und Geschwindigkeit

- Äußere Einflüsse
  - Anziehungskraft Erde/Mond/Sonne etc.
  - Sonnenwinde
- Triebwerke starten um die Position des Schiffes zu verändern
- Daten bzgl. äußerer Einflüsse und das Systemverhalten (Massenveränderung) bestimmen die Größe der Änderung und damit die neue Position



# 1. Terminologie - Modell

Kowalk

Ein Modell (model) ist eine Zusammenfassung von Merkmalen eines realen (oder empirischen) künstlichen Systems sowie eine Festlegung der Beziehungen zwischen diesen Merkmalen; da ein Modell niemals alle Merkmale eines Systems umfassen kann, ist ein Modell eine Abstraktion eines realen Systems.

**Stachowiak**

**Ein Modell ist ein beschränktes Abbild der Wirklichkeit.**

Neelamkavil

Model: a representation of a physical system or process intended to enhance our ability to understand, predict, or control its behavior

*Repräsentiert ein physikalisches System oder einen Prozess, um das Verhalten zu verstehen, vorherzusagen, zu kontrollieren und zu verbessern.*



# 1. Terminologie - Modell

- Modelle werden mit Hinblick auf den Zweck entwickelt
- Erhalten nicht alle Eigenschaften des Vorbildes
- Pragmatisch und Effizient
- Mathematische Gleichungen können das Verhalten spezifizieren
- Äußere Einflüsse werden nicht Teil des Modells
- Bsp.:
  - Modellauto ist ein Modell eines Autos
  - Modellhaus ist ein Modell eines Hauses

# 1. Terminologie - Simulation

nach VDI 3633:

Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt.

Nach Wiki:

Die Simulation oder Simulierung ist eine Vorgehensweise zur Analyse von Systemen, die für die theoretische oder formelmäßige Behandlung zu komplex sind.

Neelamkavil

**Simulation: the exercise or use of a model to produce a result**

*Die Ausübung oder Verwendung eines Modells, um ein Ergebnis zu erzielen.*



# 1. Terminologie - Simulation

- Simulationen werden am Modell durchgeführt
- Voran geht immer die Modellbildung
- Ergebnisse sind auf die Realität übertragbar
- Zeitverhalten der Simulation
  - Statisch/Dynamisch
- Einflüsse und Verhalten
  - Deterministisch/Stochastisch

# 1. Terminologie – Qualitätssicherung

Nach DIN EN ISO 8402, 1995-08, Ziffer 3..5:

Qualitätssicherung ist jede geplante und systematische Tätigkeit, die innerhalb des Systems verwirklicht und dargelegt wird, um Vertrauen dahingehend zu schaffen, dass eine Einheit die Qualitätsforderung erfüllen wird.

- System sollte so exakt wie möglich sind → Ziele der Modellierung erreichen
- Ergebnisse dienen als Grundlage für Entscheidungen in der Realität



# 1. Terminologie – Genauigkeit und Präzision

## Präzision

Präzision versteht sich die Abweichung des Wertes aus der wiederholten Messung mit gleichen Parametern.

## Genauigkeit

Genauigkeit ist die Abweichung der realen Messwerte.

- Äußere
  - Streuung der Mittelwerte der Messungen
- Absolute
  - Grad der Übereinstimmung zwischen angezeigtem und reellem Wert

# 1. Terminologie – Verifikation und Validierung

## Verifikation

substantiation that a computerized model represents a conceptual model within specified limits of accuracy

*Computergestütztes Modell bewegt sich innerhalb der durch das konzeptionelle Modell vorgegebene Grenzen.*

## Validierung

substantiation that a computerized model within its domain of applicability possesses a satisfactory range of accuracy consistent with the intended application of the model

*Computergestütztes Modell bewegt sich im Grad der Genauigkeit innerhalb der mit dem Modell abgezielten Anwendung.*



# 1. Terminologie – Verifikation und Validierung

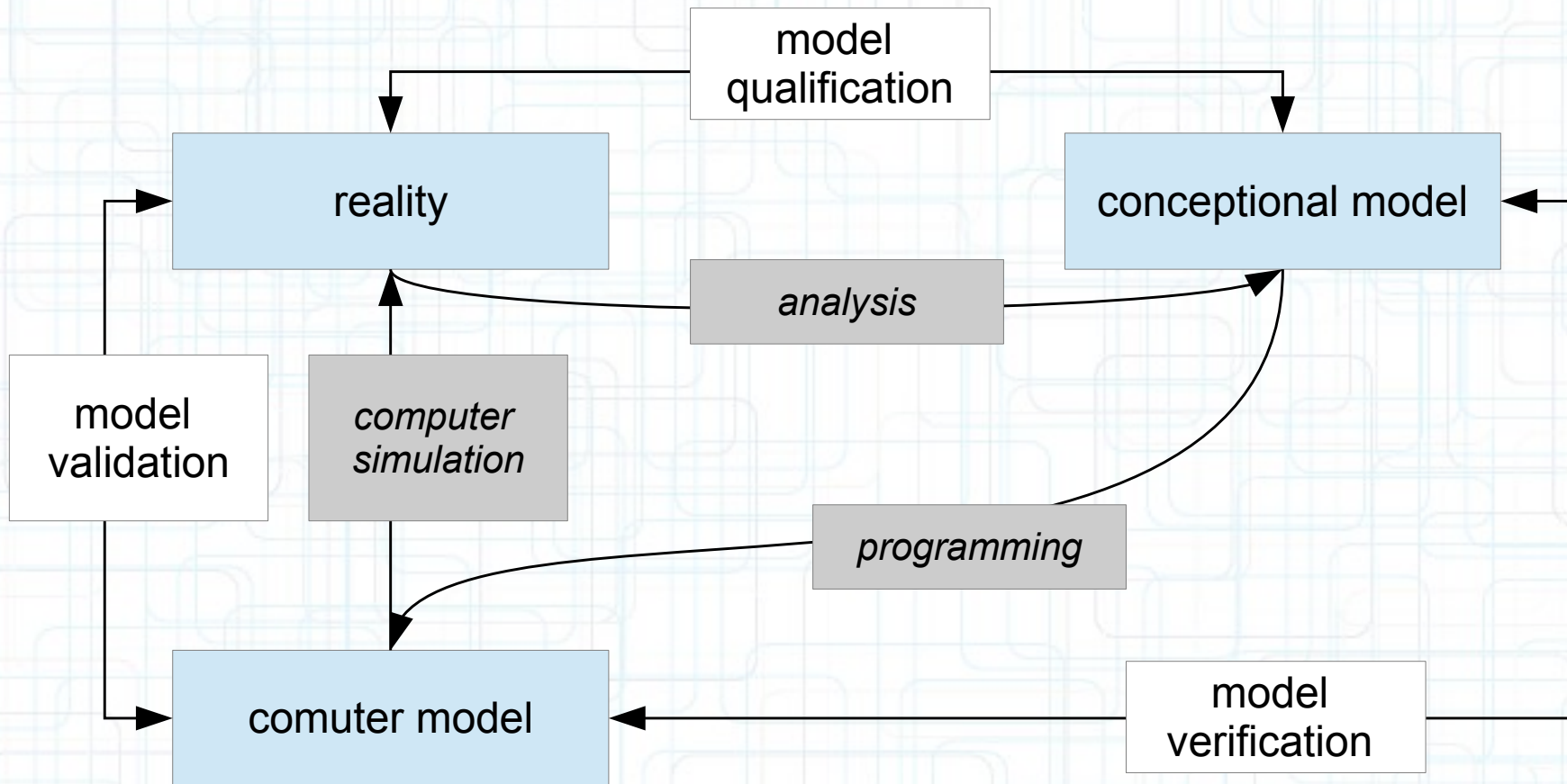
## Verifikation

- System ist korrekt abgeleitet
- Konzepte des konzeptionellen und computergestützten Modells stimmen überein

## Validierung

- Erfüllt die Anforderungen in der Praxis
- Bezieht sich auf die Ergebnisse und deren Interpretation
- Vergleicht die Ergebnisse des computergestützten Modells und die Messergebnisse aus der Realität

# 1. Terminologie – Verifikation und Validierung





# 1. Terminologie – Computermodell

Computermodell

Repräsentiert die reale Welt in einem Computerprogramm

Nutzen im Bereich Simulation und Modellierung

- Diskrete Überführung des konzeptionellen Modells
- Berechnung der im System festgelegten Abläufe
- Möglichkeiten zur grafischen Darstellung der berechneten Ergebnisse

# 2. Modelle erstellen

- Def. nach Stachowiak

*Ein Modell ist ein beschränktes Abbild der Wirklichkeit.*

- Abstrahiert und Idealisiert die Realität
- Verhalten bezüglich der relevanten Aspekte gemäß der Realität
- Vorbild kann Physisch vorhanden oder Abstrakt sein





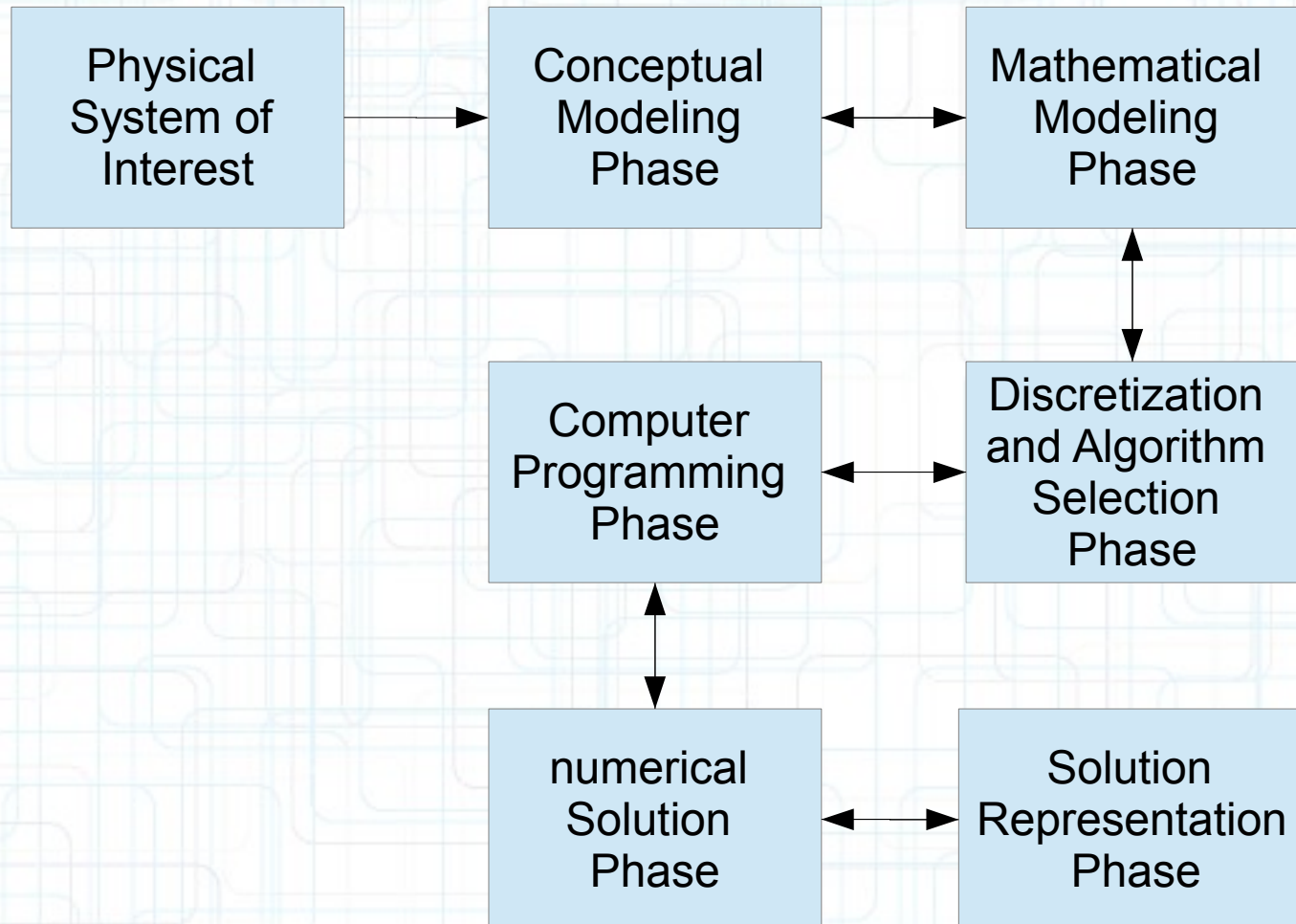
# 2. Modelle erstellen

- Modellarten
  - Analytische Modelle
    - Bauen auf Mathematik und Physik auf (Bsp.)
  - Deskriptive Modelle
    - Nachbildung einer vollständigen Welt im Computer
- Modellart bestimmt nicht den Prozess der Modellierung
- Ziel und Zweck des Modells sowie deren Qualität steht im Vordergrund (Validierung und Verifikation)
- Begleitendes Beispiel:

Project Scientific Computing - Planetenbahnberechnung



# 2. Modelle erstellen



# 2. Modelle erstellen

## Conceptual Modeling Phase

- Physikalische System wird charakterisiert
- Umgebungsvariablen werden angefügt
  - Diese werden nicht modelliert
  - Wirken aber auf das System ein
- Umwelt und Szenarien der Simulation werden festgelegt
- Zum Bsp.:
  - Beziehung zwischen den Körpern werden hergestellt
  - Anzahl der beteiligten Körper soll variabel gestaltet werden
  - Positions- und Geschwindigkeitsänderung



# 2. Modelle erstellen

## Mathematical Modeling Phase

- Mathematische Modell wird entwickelt
- Basiert auf dem Konzeptionellen
- Zum Bsp.:
  - Einführung der gekoppelten Bewegungsgleichung
  - Gleichung zur Berechnung der neuen Position und Geschwindigkeiten sowie deren Reihenfolgen bestimmen

# 2. Modelle erstellen

Mathematical  
Modeling  
Phase

Gekoppelte Bewegungsgleichung

$$F_x^i = -G \sum_{k=0}^{\text{AnzahlObjekte}} \frac{m^i m^k}{\|r^i - r^k\|} (x^i - x^k) = m^i \frac{d^2}{dt^2} x^i$$

$$F_y^i = -G \sum_{k=0}^{\text{AnzahlObjekte}} \frac{m^i m^k}{\|r^i - r^k\|} (y^i - y^k) = m^i \frac{d^2}{dt^2} y^i$$

$$F_z^i = -G \sum_{k=0}^{\text{AnzahlObjekte}} \frac{m^i m^k}{\|r^i - r^k\|} (z^i - z^k) = m^i \frac{d^2}{dt^2} z^i$$

Gleichung für Position und Geschwindigkeit

$$\frac{d}{dt} x_{i+1} = \frac{d}{dt} x_i + h \frac{d^2}{dt^2} x_i$$

$$x_{i+1} = x_i + h \frac{d}{dt} x_i$$



# 2. Modelle erstellen

Discretization  
and Algorithm  
Selection  
Phase

- Mathematisches Modell wird in ein vollständig diskretes Modell überführt
- Umfang und Ablauf der Simulation wird auf eventuell eingesetzte Mittel angepasst

# 2. Modelle erstellen

Computer  
Programming  
Phase

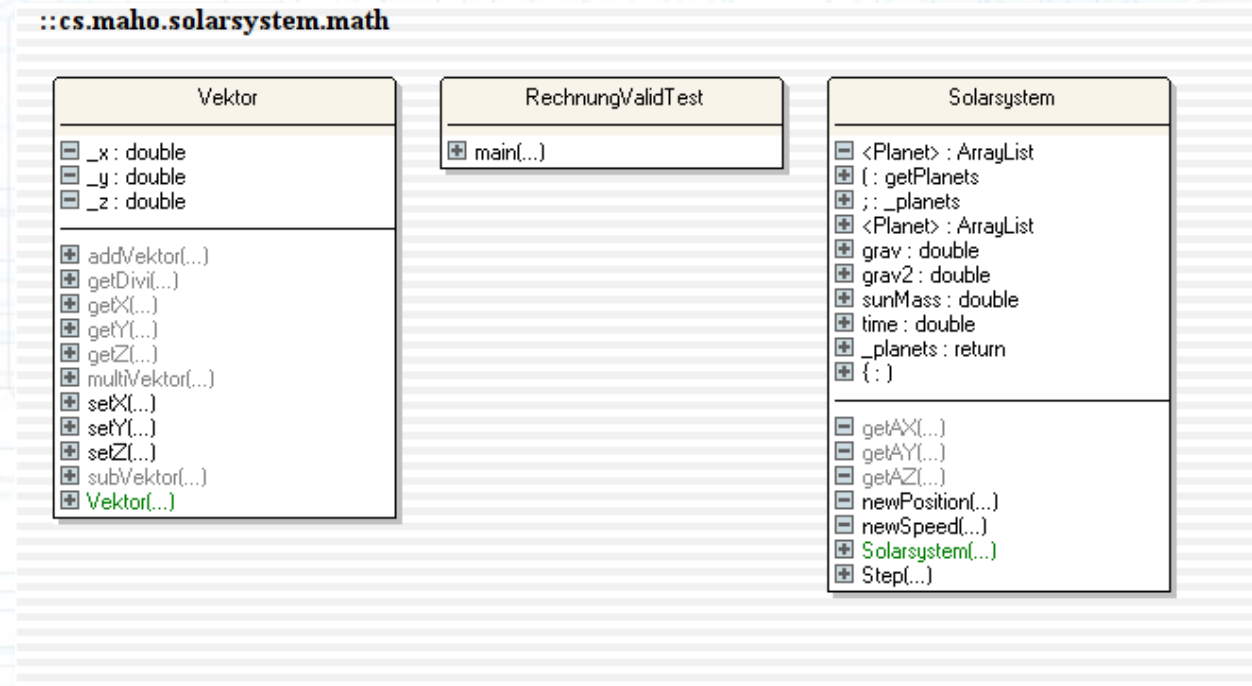
- Diskretes Modell wird implementiert
- Input-Daten festlegen
- Klassen und Objektstruktur aufbauen
- Programmcode implementieren
- Kopplungen zu anderer Software werden implementiert



# 2. Modelle erstellen

Discretization  
and Algorithm  
Selection  
Phase

## Klassendiagramm



# 2. Modelle erstellen

```
//Berechnung start
private void newPosition()
{
    for(int i = _from; i < _to;i++)
    {
        _planets.get(i).getPosition().setX(_planets.get(i).getPosition().getX() + Galaxy._time * _planets.get(i).getSpeed().getX());
        _planets.get(i).getPosition().setY(_planets.get(i).getPosition().getY() + Galaxy._time * _planets.get(i).getSpeed().getY());
        _planets.get(i).getPosition().setZ(_planets.get(i).getPosition().getZ() + Galaxy._time * _planets.get(i).getSpeed().getZ());
    }
}

private void newSpeed(){
    for(int i = _from; i < _to;i++)
    {
        _planets.get(i).getSpeed().setX(_planets.get(i).getSpeed().getX() + Galaxy._time * getAX(_planets.get(i)));
        _planets.get(i).getSpeed().setY(_planets.get(i).getSpeed().getY() + Galaxy._time * getAY(_planets.get(i)));
        _planets.get(i).getSpeed().setZ(_planets.get(i).getSpeed().getZ() + Galaxy._time * getAZ(_planets.get(i)));
    }

    //Neue Geschwindigkeit wird gespeichert
    for(int i = _from; i < _to;i++)
    {
        _planets.get(i).setTempSpeed();
    }
}

private double getAX(Planet refPlanet)
{
    double A = 0;
    for(int i = 0; i < _planets.size();i++)
    {
        //Für alle anderen Planeten
        if(!_planets.get(i).getId().equals(refPlanet.getId())){
            A = A + Galaxy.grav * ((_planets.get(i).getMass() / Vektor.getDivi(_planets.get(i).getSpeed(), refPlanet.getSpeed())) * (_planets.get(i).getPosition().getX() -
            refPlanet.getPosition().getX()));
        }
    }
    return A;
}
}
```



# 2. Modelle erstellen

## Numerical Solution Phase

- Simulation wird durchgeführt bzw. das Computerprogramm ausgeführt
- Numerische Lösungen werden gesammelt welche die finalen Daten darstellen
- Dies sind rein diskret erzeugte Daten

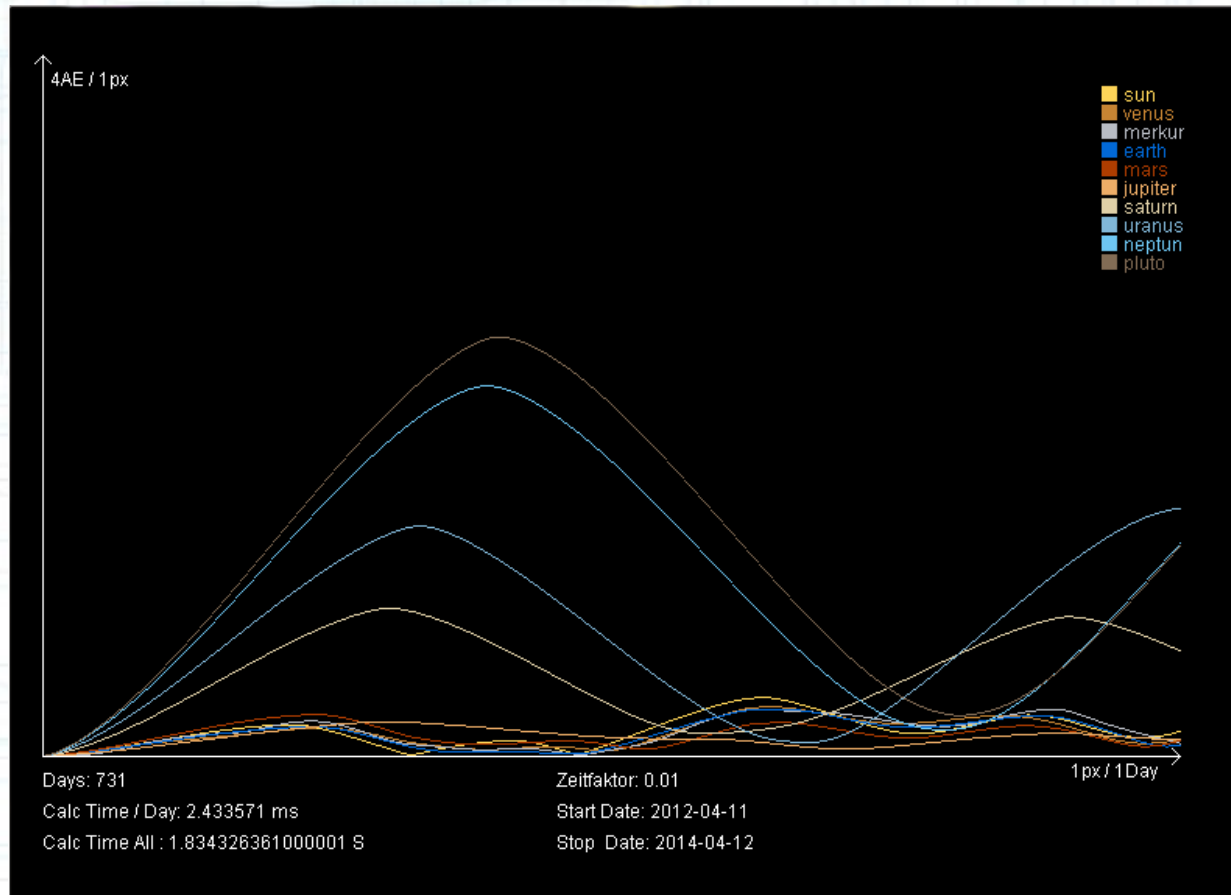
# 2. Modelle erstellen

Solution  
Representation  
Phase

- Gesammelte Daten werden in interpretationsfähige Formen umgesetzt
  - Diagramme
  - Grafiken
  - Gegenüberstellungen
- Folgende Teile werden präsentiert
  - Eingegebenen Daten
  - Moduldesign und Programmcode
  - Programm und Kopplungen
  - Rohdaten
  - Interpretation der Daten

# 2. Modelle erstellen

Solution  
Representation  
Phase





# 3. Vorteile und Grenzen

Welche Vorteile bieten Modelle und deren Einsatz in Simulationen?

Welche Grenzen ergeben sich?

# 3. Vorteile und Grenzen

- Modelle und deren Simulation als Untersuchungsmethode verstehen lernen
- Div. Vorgänge zu langsam/schnell um sie beobachten zu können
  - Galaxiekollision
  - Chemische Prozesse wie Explosionen und dabei auftretende Temperaturen
- Wirtschaftliche Faktoren sowie Hochleistungsrechner heben Simulation auf neue Stufe
  - Wettersimulationen
  - Weltraummissionen
  - Windkanaltests (Auto- und Flugzeugentwicklung)
  - Architektur (Brückenbau, Wolkenkratzer)



# 4. Simulationsprinzipien

- Simulationen generell überall möglich
  - Aktienkurse auf dem Smartphone
- Einfache Modelle, Simulationen und Visualisierungen sind so fast überall durchführbar
- Komplexere Vorgänge mit diesen technischen Mitteln nicht möglich
- Unterschiedliche Strategien unterstützen bei der Umsetzung
  - Ereignisorientiert
  - Transaktionsorientiert
  - Prozessorientiert
  - Zeitgesteuert
  - Stochastisch



# 4. Simulationsprinzipien

- Ereignisorientiert
  - Zustandsänderungen werden durch Ereignisse hervorgerufen
  - Einige Ereignisse initial vorhanden
  - Andere werden abgearbeitet
  - Zwischenzeit wird übersprungen
  - Simulation handelt sich von Ereignis zu Ereignis
  - Multi-Agenten Simulation
  - Diskret-Ereignis Simulation
- Bsp.:
  - Ampelgesteuerte Verkehrskreuzung

# 4. Simulationsprinzipien

- Transaktionsorientiert
  - Unterkategorie der Ereignisorientierten Simulation
  - Untereinander vernetzte Station reichen Arbeitseinheiten untereinander weiter
  - Verschiedene Aufenthaltszeiten an den Stationen führt zu Abhängigkeiten in der Transaktion untereinander
- Bsp.:
  - Warteschlangensystem wie Flughafenabfertigung



# 4. Simulationsprinzipien

- Prozessorientiert
  - Unterart von Ereignisorientiert
  - Jede Einheit im System fordert eigene Daten und liefert eigene Ergebnisse → eigene Prozesse
  - Direkter Einfluss auf die Simulationszeit
  - Verändern lokale und systemweite Zustände
- Bsp.:
  - Versandhaus



# 4. Simulationsprinzipien

- Zeitgesteuert
  - Simulation läuft kontinuierlich und wird um ein Zeitinkrement erhöht
  - Bei jeder Epoche werden Modellkomponenten ausgeführt und Zustandsänderungen vollbracht
  - Einsetzbar für Physik, Technik, Mathematik
  - Numerische Simulationen
- Bsp.:
  - Wettermodelle
  - Astronomische Forschungen

# 4. Simulationsprinzipien

- Stochastisch
  - Sammelbegriff für numerische Simulation mit stochastisch ermittelten Zufallsgrößen
  - Monte-Carlo-Simulation
  - Eintrittswahrscheinlichkeit/ -punkt bzw. deren Dauer ermittelt durch Zufallsgrößen
- Bsp.:
  - Flächenberechnung eines Viertelkreises (annähernd)



# 5. Diskussion

Wie weit darf die Simulation von der Realität entfernt sein?

The screenshot shows the NDR.de website interface. At the top, there is a search bar and a navigation menu with categories like HOME, REGIONAL, SPORT, RATGEBER, UNTERHALTUNG, KULTUR, GESCHICHTE, FERNSEHEN, RADIO, MEDIATHEK, and DER NDR. Below the navigation is a banner image of Hamburg. A secondary navigation bar lists regions: NIEDERSACHSEN, SCHLESWIG-HOLSTEIN, MECKLENBURG-VORPOMMERN, HAMBURG, WETTER, and VERKEHR. The main content area features a news article titled "Bewegungssimulator soll Schiffe sicher machen" with a sub-headline "Messungen günstiger und genauer". The article text describes a new motion simulator at TUHH. To the left, there is a "WETTER" section for Hamburg and a "AKTUELLES AUS DER REGION" section with a map of Hamburg. To the right, there is a "WEITERE INFORMATIONEN" section with two sub-articles: "Neues Gesicht für die TU Hamburg-Harburg" and "Aerographit - das leichteste Material der Welt".

**NDR.de** Das Beste am Norden

Suchen

HOME REGIONAL SPORT RATGEBER UNTERHALTUNG KULTUR GESCHICHTE FERNSEHEN RADIO MEDIATHEK DER NDR

HAMBURG

NIEDERSACHSEN SCHLESWIG-HOLSTEIN MECKLENBURG-VORPOMMERN HAMBURG WETTER VERKEHR

AKTUELLES AUS DER REGION  
Hamburg

Stand: 24.08.2012 15:32 Uhr

## Bewegungssimulator soll Schiffe sicher machen

Ein roter Bewegungssimulator schaukelt im neuen Windkanal der Technischen Universität Hamburg-Harburg.

Messungen günstiger und genauer

Mit einem neuen Simulator kann die Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) die Bewegungen moderner Schiffe genauer vorhersagen. Das am Donnerstag vorgestellte Gerät ist fast sechs Meter lang und ermöglicht laut TUHH Untersuchungen, die dazu dienen, Schiffe sicherer und energieeffizienter zu konstruieren.

### Neues Gesicht für die TU Hamburg-Harburg

Wissenschaftssenatorin Stapelfeldt weihte das neue Hauptgebäude ein.  
(24.08.2012) [mehr](#)

### Aerographit - das leichteste Material der Welt



# 5. Diskussion - Ausblick

- SRC Simtech Universität Stuttgart
  - Molekular- und Partikelsimulation
  - Zentrum in Stuttgart für Simulationen
- GRS Sim
  - Paralleles Programmieren
  - Materialforschung
  - Biophysikalische Berechnungen
- DWD – Deutscher Wetterdienst
  - Klimavorhersagen

# Zusammenfassung

- Begriffe zum Bereich Computersimulation definiert
- Vorgang zur Modellerstellung erarbeitet
- Simulationsprinzipien vorgestellt und unterschieden
- Ausblick für zukünftige Simulationen



# Quellen

Verification and Validation in Scientific Computing

Oberkampf, Roy; Cambridge University, 2010

Modellierung, Simulation, Visualisierung: Zur aktuellen Aufgaben der Informatik

Wedekind, Görz, Kötter, Inhetveen; Springer, 1998

Modellbildung und Simulation

Mattern; Universität Darmstadt, 1995

Wikipedia

Simulation, Modell, Computersimulation

VDI Richtlinien 3633-1

VDI; 2000

ndr.de

<http://www.ndr.de/regional/hamburg/tuharburg107.html>

13:49 Uhr, 16.11.2012

**Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!**