Wissenschaftliche Visualisierung

Christof Rezk-Salama

computergraphik und multimedia systeme
universität siegen

Kontakt

Dr. Christof Rezk-Salama

- **Persönlich:** Raum H-A 7109
- **Email:** rezk@fb12.uni-siegen.de
- **Telefon:** 0271/ 740 - 2826

Übung: Stefanie Nowak

- **Email:** nowak@ti.et-inf.uni-siegen.de

Organisatorisches II

- **Vorlesung**
  Dienstag 8.30 - 10.00
  Raum H-C 3303
- **Übungen**
  Dienstag 10.00 - 12.00
  Raum H-C 3303
  Aufgaben, Fragen, Grundlagen
  1. Übungsaufgaben nächste Woche
  1. Übungsstunde nächste Woche

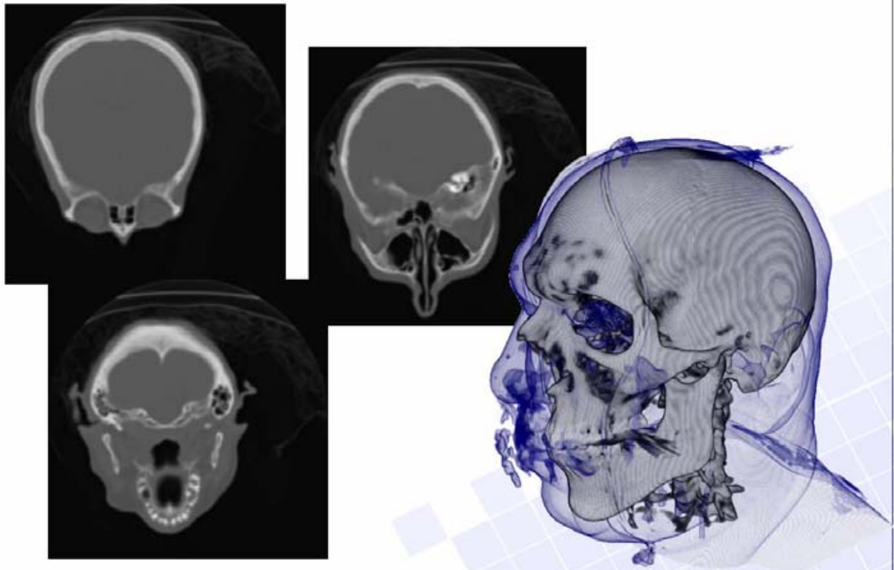
Organisatorisches III

- Weitere Vorlesungen im WS:
  - **Computergraphik II**
    Mi. 08:00 - 10:00
    Do. 08:00 -10:00
    Übung: Fr. 08:00 - 10:00
  - **Kolloquium Computergrafik**
    Fr. 13:00 - 14:00, Raum H-A 7118

Was bedeutet Visualisierung?

- *Visualisieren* =
  sichtbar machen, bildlich darstellen
- Warum will man Daten/Information visualisieren?
  - Zahlen sind nutzlos *ohne Zusammenhänge*

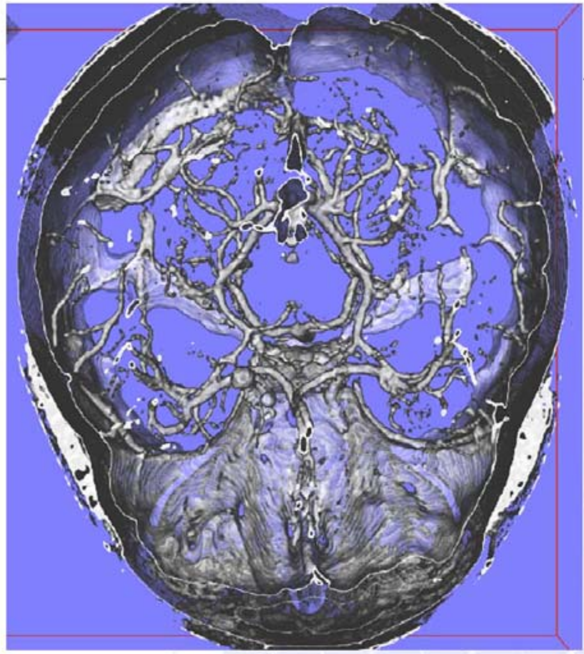
Beispiel



Was bedeutet Visualisierung?

- *Visualisieren* =
  sichtbar machen, bildlich darstellen
- Warum will man Daten/Information visualisieren?
  - Zahlen sind nutzlos *ohne Zusammenhänge*
  - Daten sind nutzlos *ohne Interpretation*

Beispiel



Was bedeutet Visualisierung?

- *Visualisieren* = sichtbar machen, bildlich darstellen
- Warum will man Daten/Information visualisieren?
  - Zahlen sind nutzlos *ohne Zusammenhänge*
  - Daten sind nutzlos *ohne Interpretation*
  - Information ist nutzlos *ohne Verständnis*

Sichtbar machen von Zusammenhängen
- Erleichtert die Interpretation
- Verbessert das Verständnis

Motivation

- **Wozu brauche *ich* Visualisierung?**

„One picture is worth ten thousand words"

Fred R. Barnard

  - Grafische Anwendungen sind
    - verständlich
    - intuitiv
    - benutzerfreundlich
    - ästhetisch
  - Die Industrie sucht Leute, die Grafische Anwendungen entwickeln können!
  - Es macht Spaß!

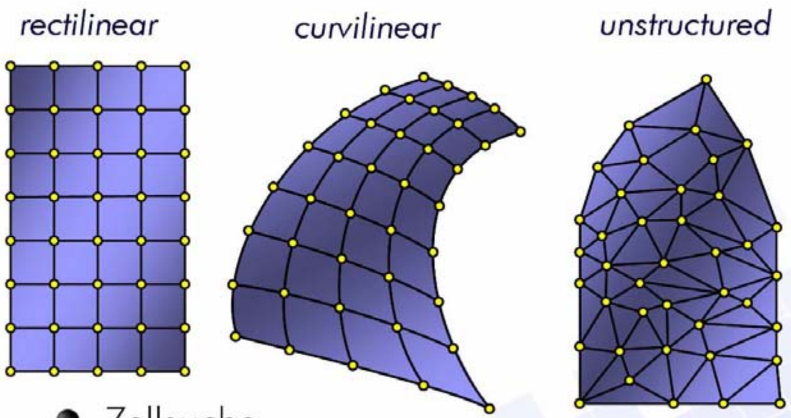
Überblick der Inhalte

- Einführung
- Gittertypen und Interpolation
- 2D Skalarfelder
- 2D und 3D Vektorfelder
- Volume Rendering (3D Skalarfelder)
- Hardwarebeschleunigtes Volume Rendering
- Volume Rendering für unstrukturierte Gitter

Überblick der Inhalte

- **Mathematik**
  - Lineare Algebra *(Vektoren, Matrizen)*
  - Komplexe Zahlen
  - Vektorfeld-Topologie *(Eigenwert einer Matrix)*
  - Abtasttheorem
  - Numerik *(Numerische Integration)*
    - Partikelbahnen
    - Lichttransport

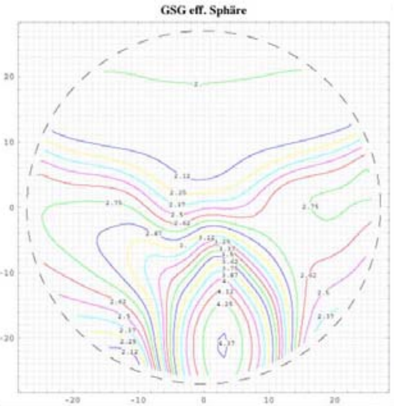
Gittertypen

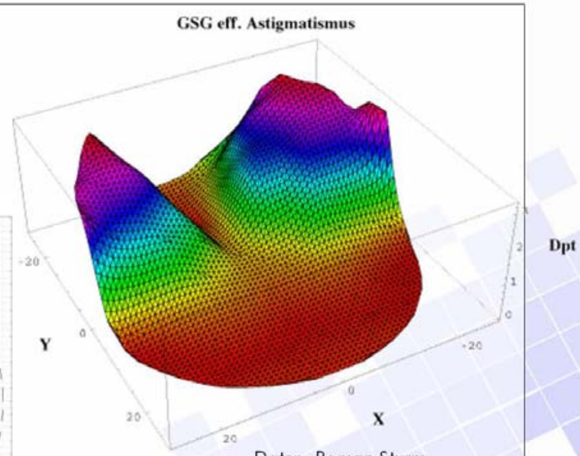


- Zellsuche
  - Interpolation auf Gittern
    - Differenzieren auf Gittern

2D Skalarfelder

- Isolinien
- Surface Plots

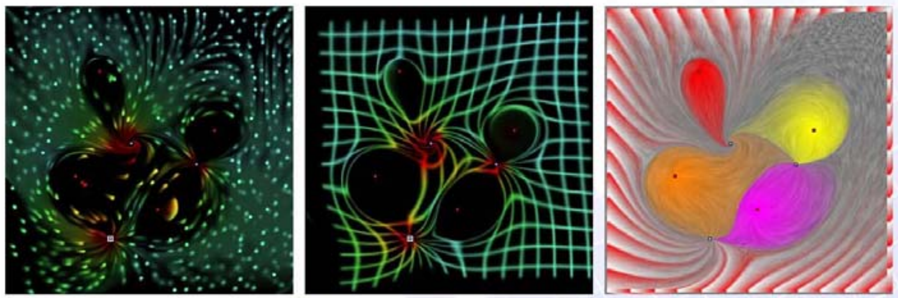




Daten: Roman Sturm, Universität Erlangen-Nürnberg

2D Vektorfelder

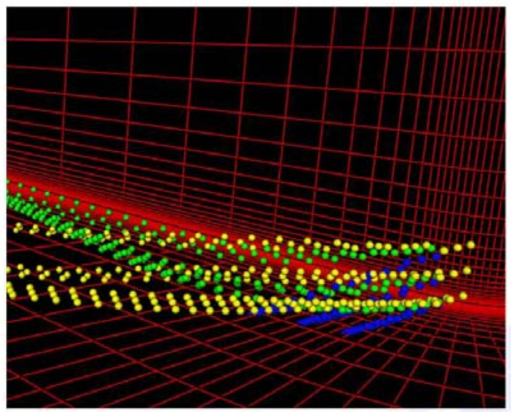
- Statische und zeitabhängige Daten
- Integration von Vektorfeldern
- Vektorfeld-Topologie



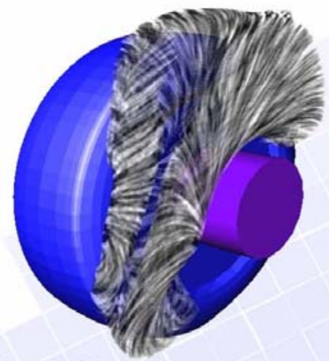
Quelle: Jarke v. Wijk, Technische Universiteit Eindhoven, SIGGRAPH 2003

3D Vektorfelder

- Particles, Stream Ribbons, Stream Tubes
- Stream Surfaces, Time Surfaces, 3D LIC



Quelle: C. Teitzel, Universität Erlangen-Nürnberg

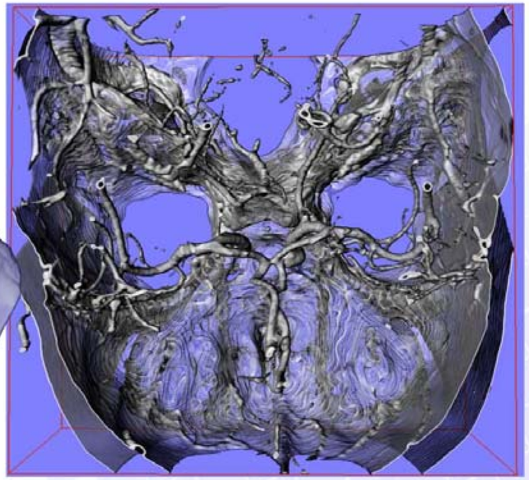


Daten: BMW, München
Quelle: Rezk-Salama, IEEE Visualization 99

Volumenvisualisierung

- Indirekte Verfahren (Isoflächen)

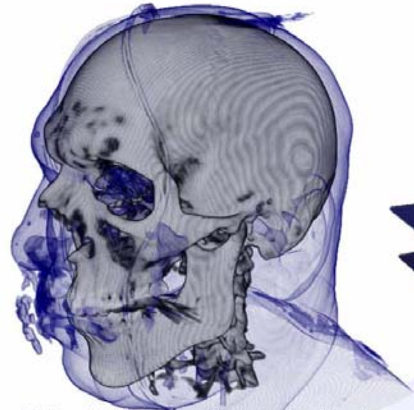
Daten: Antikensammlung, Universität Erlangen-Nürnberg



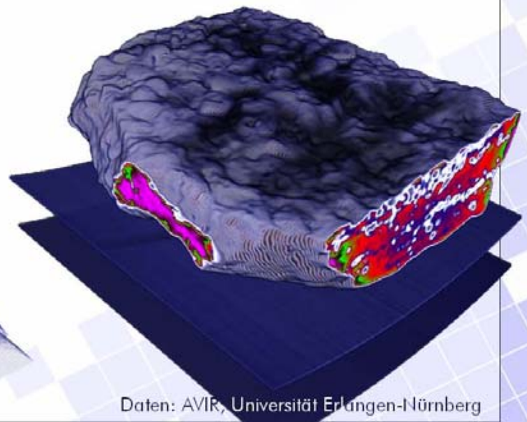
Daten: Abt. f. Neuroradiologie, Kopfklinik Erlangen

Volumenvisualisierung

- Direct Volume Rendering
- Hardware-beschleunigte Verfahren



Daten: Visible Human Project, Nat. Lib of Medicine, Maryland, USA



Daten: AVIR, Universität Erlangen-Nürnberg

Ausblick

Herausforderungen:

- Immense Datenmengen (Sensordaten und Simulation)
  Moore's Law spielt hier eine eher untergeordnete Rolle
- Hohe Komplexität der Daten
- Interaktivität, Echtzeitfähigkeit

Fortschritte:

- Schnelleres und besseres Verständnis (natur-) wissenschaftlicher Vorgänge
- Höhere Sicherheit, Effizienz und Qualität der Produktion
- Kürzere Entwicklungszeiten

Literatur zur Vorlesung

- R. Earnshaw and N. Wiseman,
  An Introductory Guide to Scientific Visualization.
  Springer Verlag, October 1992,
  ISBN: 0387546642

- K. Brodlie, L. Carpenter and R. Earnshaw,
  Scientific Visualization: Techniques Applications.
  Springer Verlag, January 1992,
  ISBN: 0387545654

- W. Schroeder, K. Martin, B. Lorensen:
  The Visualization Toolkit
  Kitware, Inc., February 2003,
  ISBN: 1930934076

Literatur zur Vorlesung

Konferenzen:

- IEEE Visualization
  http://vis.computer.org
- Eurographics Workshop on Visualization
  http://www.eg.org

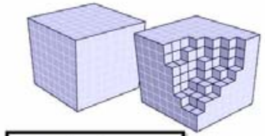
Journals:

- Journal of Visualization and Computer Animation
- IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics

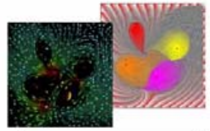
Papers und Artikel im Internet:

- http://www.citeseer.org

Visualisierungs-Pipeline

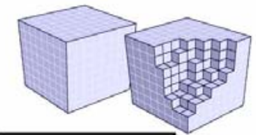


Rohdaten

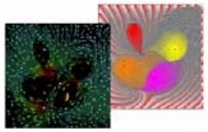


Bilder

Visualisierungs-Pipeline



Rohdaten

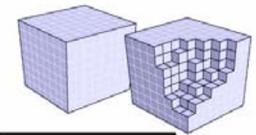


Bilder

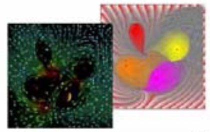
Filtering

- Auswahl, Selektion
- Vorverarbeitung
- Lineare Filter

Visualisierungs-Pipeline



Rohdaten



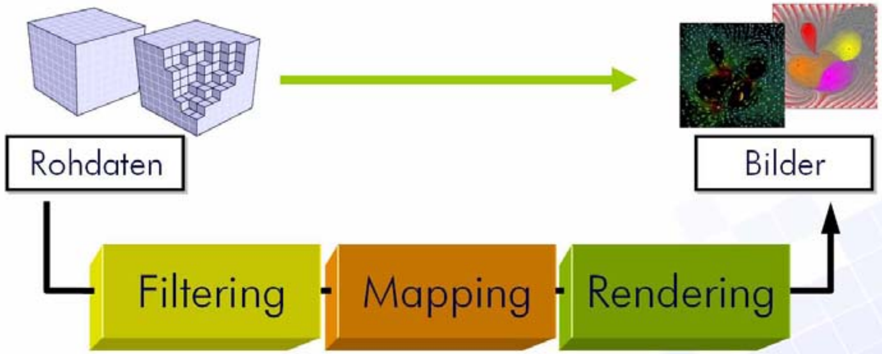
Bilder

Filtering — Mapping

Abbildung der Daten auf

- Geometrie und
- visuelle Eigenschaften (Farbe, Transparenz etc.)

Visualisierungs-Pipeline



Bildsynthese

- Darstellung der Geometrie in einem Bild

Rohdaten

Rohdaten werden kategorisiert durch:

- **Räumliche Dimension**
  (in Bezug auf die Anordnung der Datenpunkte)
  1D: z.B. elektro-mechanisches Signal, Schall
  2D: Druckverteilung auf einer Oberfläche
  3D: Druckverteilung im Raum
- **Dimension der Datenwerte**
  (in Bezug auf die Information zu jedem Datenpunkt)
  Skalare Daten: z.B. Druck, Dichte, Temperatur
  Vektorielle Daten: z.B. Geschwindigkeitsfelder
  Tensordaten: z.B. Stress-Tensor
  Multivariate Daten: mehrere skalare und vektorielle Größen

Rohdaten

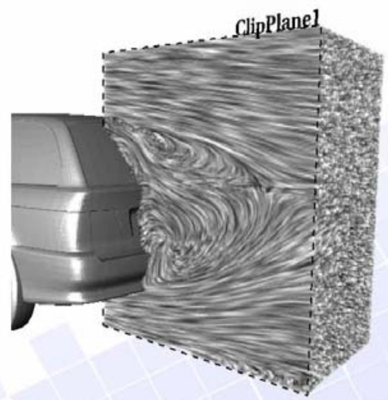
Rohdaten entstehen durch:

- **Messungen und Aufnahmen**
  1D: z.B. elektrische Signale,
  2D: z.B. Kartographie, Fotographie
  3D: z.B. Computer- und Kernspin-Tomographie
- **Simulation:**
  Technik: z.B. Flugzeug- und Automobilbau
  Naturwissenschaften: z.B. elektrische Felder
  Meteorologie: Wettersimulationen

Simulation und Visualisierung

Physikalisches Phänomen

z.B. Luftströmung um die Karosserie eines Autos

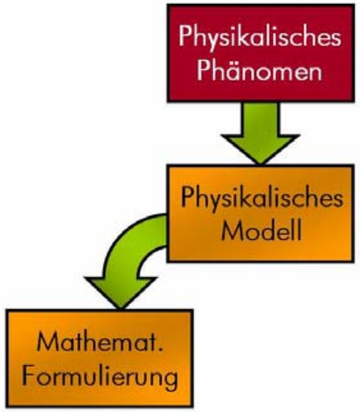


Simulation und Visualisierung

z.B. Luftströmung um die Karosserie eines Autos

z.B. inkompressible, laminare Strömung

Simulation und Visualisierung

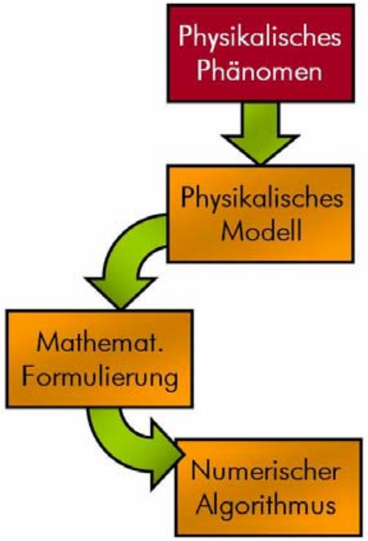


z.B. Luftströmung um die Karosserie eines Autos

z.B. inkompressible, laminare Strömung

z.B. Navier-Stokes Gleichungen

Simulation und Visualisierung



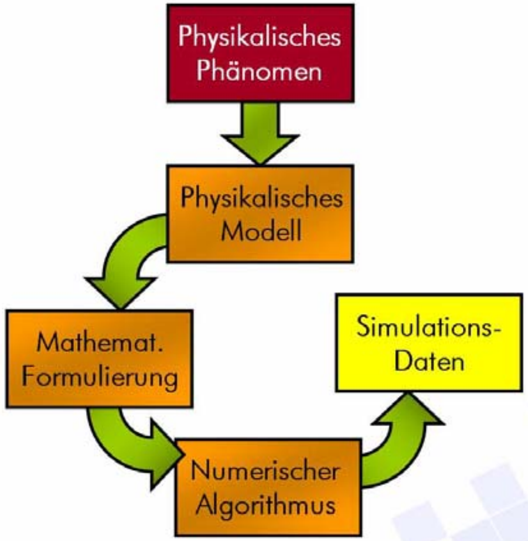
z.B. Luftströmung um die Karosserie eines Autos

z.B. inkompressible, laminare Strömung

z.B. Navier-Stokes Gleichungen

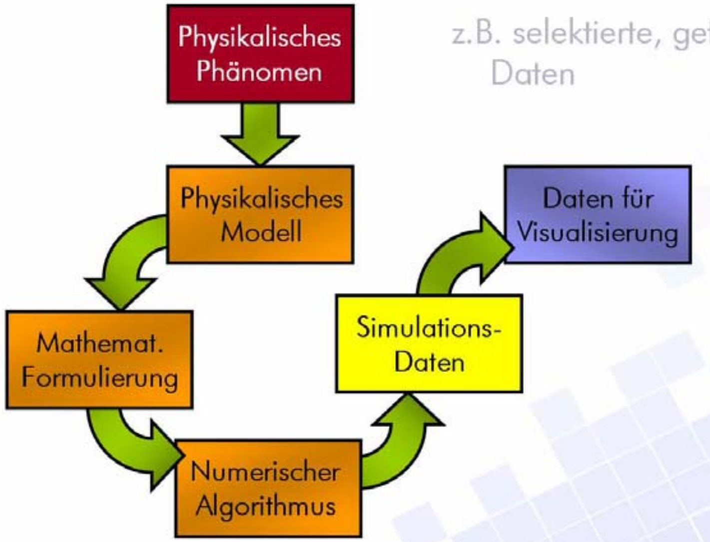
z.B. Finite Elemente Simulation

Simulation und Visualisierung



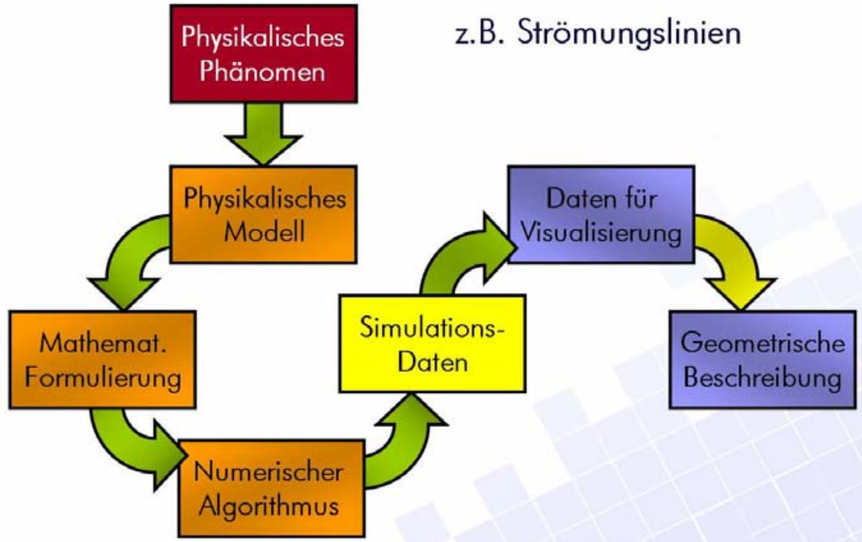
Simulation und Visualisierung

z.B. selektierte, gefilterte Daten



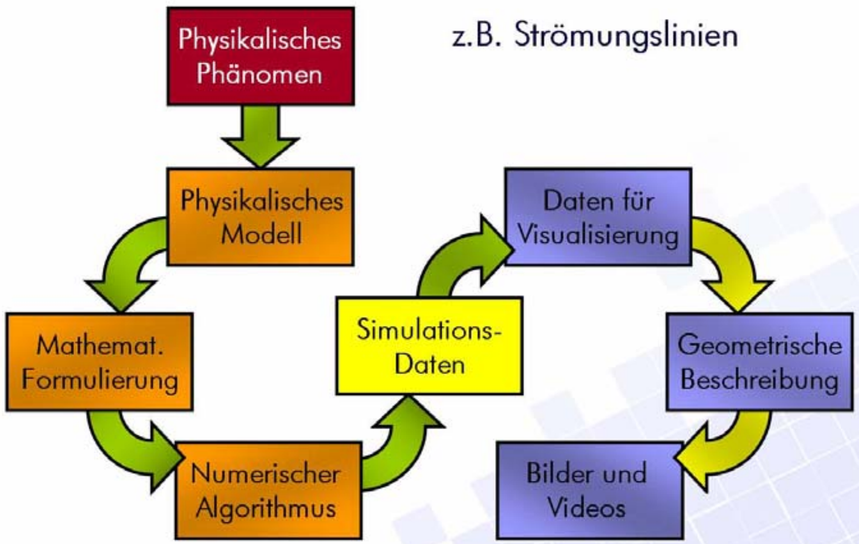
Simulation und Visualisierung

z.B. Strömungslinien



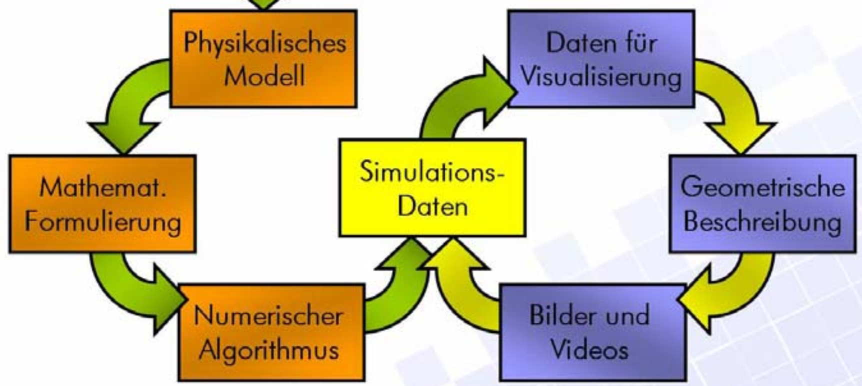
Simulation und Visualisierung

z.B. Strömungslinien

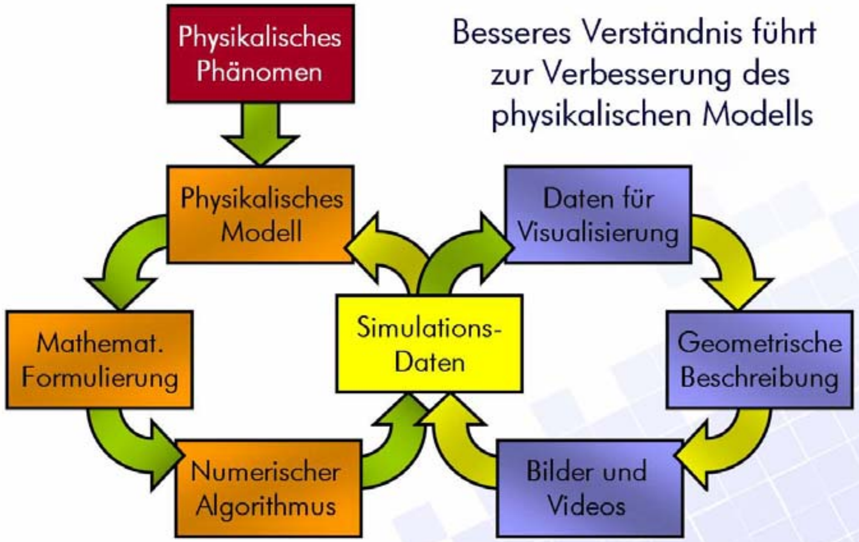


Simulation und Visualisierung

Analyse der Bilder führt zu besserem Verständnis der Simulationsdaten



Simulation und Visualisierung



Wiederholung: Lineare Algebra

- Ein *Punkt* beschreibt eine bestimmte Position im Raum *(Ortsvektor)*
- Ein *Vektor* beschreibt eine Richtung im Raum, unabhängig von der Position *(Richtungsvektor)*

Kartesische Koordinaten

Punkt = dreidimensionaler Ortsvektor

$$\vec{p} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

Rotation + Skalierung

Transformation von Punkten:

$$\tilde{\vec{p}} = \mathbf{A}\,\vec{p} + \vec{t}$$

$$= \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix}$$

Kartesische Koordinaten

Punkt = dreidimensionaler Ortsvektor

$$\vec{p} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

Rotation + Skalierung

Translation

Transformation von Punkten:

$$\tilde{\vec{p}} = \mathbf{A}\,\vec{p} + \vec{t}$$

$$= \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix}$$

Kartesische Koordinaten

Vektor = dreidimensionaler Richtungsvektor

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$$

Transformation von Vektoren:

$$\begin{aligned} \tilde{\vec{v}} &= \mathbf{A}\,\vec{v} \\ &= \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Homogene Koordinaten

Behandle Punkte und Vektoren auf die gleiche Weise:

$$\vec{x}_h = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix}$$

Ortsvektor

$$\vec{p} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Richtungsvektor

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ 0 \end{pmatrix}$$

Homogene Koordinaten

Punkt = vierdimensionaler Ortsvektor

$$\vec{x}_h = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix}$$

Homogenisierung:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x/w \\ y/w \\ z/w \end{pmatrix}$$

Transformation:

$$\tilde{\vec{x}}_h = \mathbf{A}_h \vec{x}_h = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & t_x \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & t_y \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Transformationen

Zwei affine Transformationen hintereinander

- in kartesischen Koord.

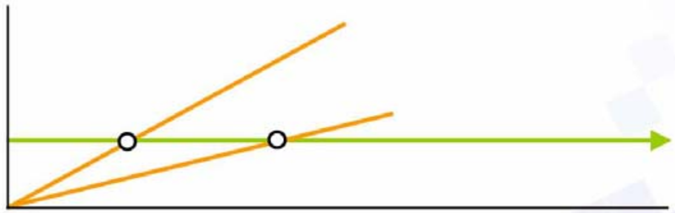
$$\begin{aligned} T_2(\vec{x}) &= \mathbf{A}_2\vec{x} + \vec{t}_2 \\ T_2\big(T_1(\vec{x})\big) &= \mathbf{A}_2\mathbf{A}_1\vec{x} + \mathbf{A}_2\vec{t}_1 + \vec{t}_2 \end{aligned}$$

- in homogenen Koordinaten:

$$\begin{aligned} T_2(\vec{x}) &= \mathbf{A}_2\vec{x} \\ T_2\big(T_1(\vec{x})\big) &= \mathbf{A}_2\mathbf{A}_1\vec{x} \end{aligned}$$

Anschaulich in 1D

- Ein Punkt in **1D** *entspricht*
- einem Strahl in homogenen Koordinaten



- Rotation in homogenen Koordinaten *entspricht*
- Translation in kartesischen Koordinaten

Translation

- Verschiebung um den Vektor $\vec{t} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix}$
- In homogenen Koordinaten:

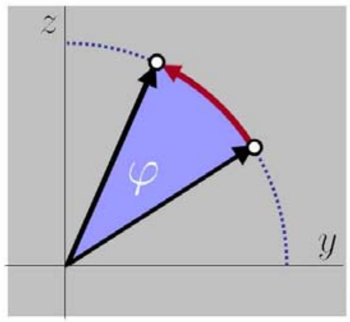
$$\mathbf{T}\,\vec{x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x + t_x \\ y + t_y \\ z + t_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

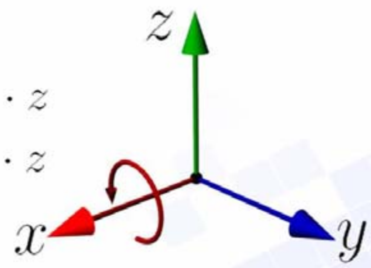
- Keine Translation für Richtungsvektoren.

Rotation

Drehung um die x-Achse

$$\begin{aligned} \tilde{x} &= x \\ \tilde{y} &= \cos\varphi \cdot y - \sin\varphi \cdot z \\ \tilde{z} &= \sin\varphi \cdot y + \cos\varphi \cdot z \end{aligned}$$

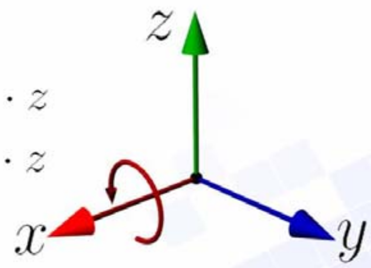




Rotation

Drehung um die x-Achse

$$\begin{aligned} \tilde{x} &= x \\ \tilde{y} &= \cos\varphi \cdot y - \sin\varphi \cdot z \\ \tilde{z} &= \sin\varphi \cdot y + \cos\varphi \cdot z \end{aligned}$$

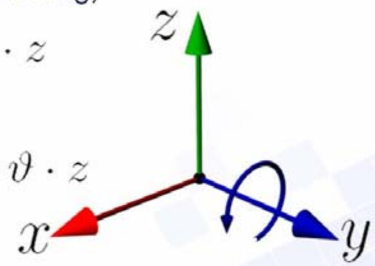


$$\mathbf{R}_x(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotation

Drehung um die y-Achse *(analog)*

$$\begin{aligned}\tilde{x} &= \cos\vartheta\cdot x + \sin\vartheta\cdot z\\ \tilde{y} &= y\\ \tilde{z} &= -\sin\vartheta\cdot x + \cos\vartheta\cdot z\end{aligned}$$

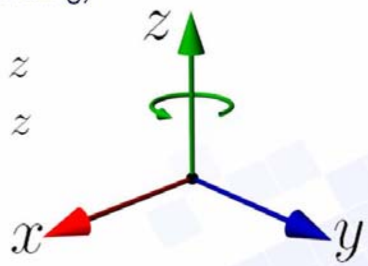


$$\mathbf{R}_y(\vartheta) = \begin{pmatrix}\cos\vartheta & 0 & \sin\vartheta & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ -\sin\vartheta & 0 & \cos\vartheta & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

Rotation

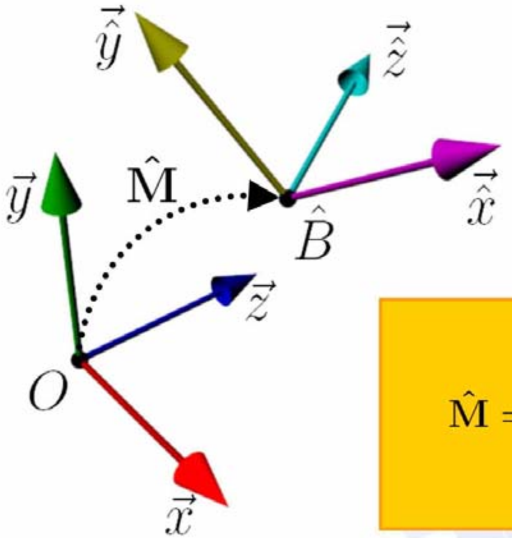
Drehung um die z-Achse *(analog)*

$$\begin{aligned}\tilde{x} &= \sin\xi\cdot x + \cos\xi\cdot z\\ \tilde{y} &= \cos\xi\cdot x - \sin\xi\cdot z\\ \tilde{z} &= z\end{aligned}$$



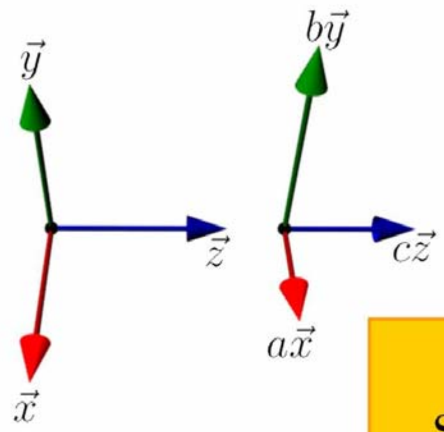
$$\mathbf{R}_z(\xi) = \begin{pmatrix}\cos\xi & -\sin\xi & 0 & 0\\ \sin\xi & \cos\xi & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

Rotation und Translation



$$\hat{\mathrm{M}} = \begin{pmatrix}| & | & | & |\\ \vec{\hat{x}} & \vec{\hat{y}} & \vec{\hat{z}} & \vec{\hat{t}}\\ | & | & | & |\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

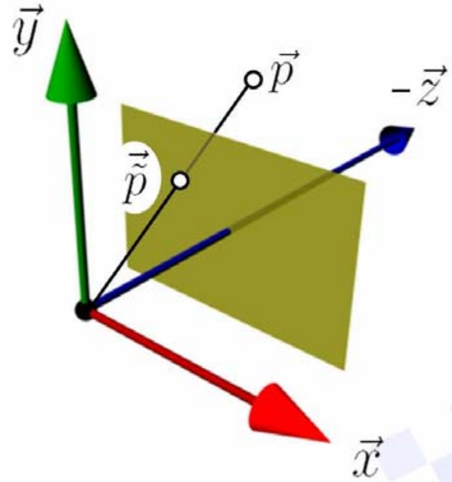
Skalierung (Scaling)



$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix}a & 0 & 0 & 0\\ 0 & b & 0 & 0\\ 0 & 0 & c & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

Projektion

Perspektivische Projektion auf die Ebene $z = -d$



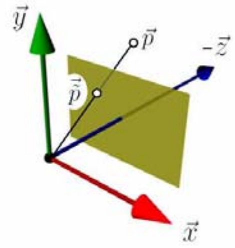
$$\vec{p} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

$$\Downarrow$$

$$\tilde{\vec{p}} = \begin{pmatrix} -d \cdot p_x / p_z \\ -d \cdot p_y / p_z \\ -d \end{pmatrix}$$

Projektion

Perspektivische Projektion auf die Ebene $z = -d$



$$\mathbf{P}_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/d & 0 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{\vec{p}} = \mathbf{P}_z \vec{p} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/d & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ -p_z/d \end{pmatrix}$$

Projektion

Perspektivische Projektion auf die Ebene $z = -d$

$$\tilde{\vec{p}} = \mathbf{P}_z \vec{p} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/d & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ -p_z/d \end{pmatrix}$$

Homogenisierung:

$$\Rightarrow \quad \tilde{\vec{p}} = \boxed{\begin{pmatrix} -d \cdot p_x / p_z \\ -d \cdot p_y / p_z \\ -d \\ 1 \end{pmatrix}}$$

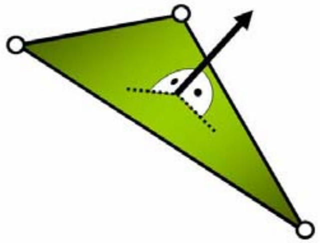
Homogene Koordinaten

homogen		kartesisch
$\vec{x}_h = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix}$	$\Rightarrow$	$\vec{x} = \begin{pmatrix} x/w \\ y/w \\ z/w \end{pmatrix}$

- Was ist wenn $w = 0$?
- Interpretation 1: Richtungsvektor
- Interpretation 2: Punkt im Unendlichen

Normalenvektoren

Dreieck wird transformiert



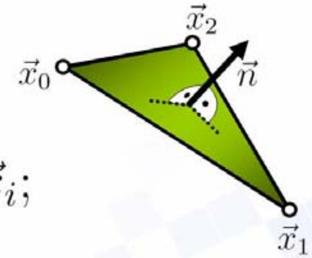
$$\vec{\tilde{x}}_i = \mathbf{A}\vec{x}_i;$$

Frage: Wie muß der Normalenvektor transformiert werden?

Normalenvektoren

Für die Normale gilt:

$$\langle \vec{n} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;$$



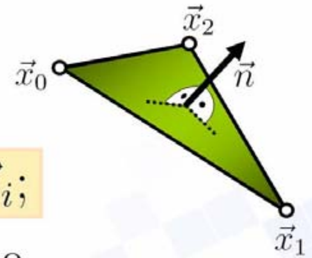
Transformation: $\vec{\tilde{x}}_i = \mathbf{A}\vec{x}_i;$

$$\langle \vec{\tilde{n}} \circ (\vec{\tilde{x}}_i - \vec{\tilde{x}}_j) \rangle = 0;$$

Normalenvektoren

Für die Normale gilt:

$$\langle \vec{n} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;$$



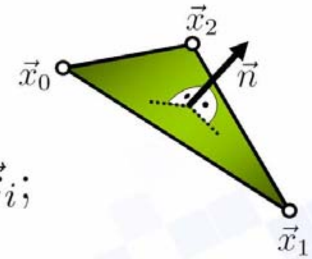
Transformation: $\vec{\tilde{x}}_i = \boxed{\mathbf{A}\vec{x}_i;}$

$$\langle \vec{\tilde{n}} \circ (\mathbf{A}\vec{x}_i - \mathbf{A}\vec{x}_j) \rangle = 0;$$

Normalenvektoren

Für die Normale gilt:

$$\langle \vec{n} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;$$

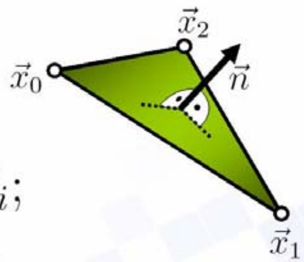


Transformation: $\vec{\tilde{x}}_i = \mathbf{A}\vec{x}_i;$

$$\langle \vec{\tilde{n}} \circ \mathbf{A}(\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;$$

Normalenvektoren

Für die Normale gilt:



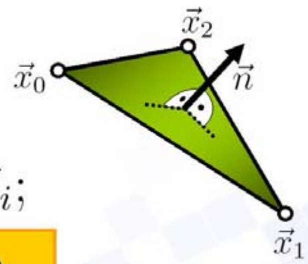
$$\langle \vec{n} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;$$

Transformation: $\vec{\tilde{x}}_i = \mathbf{A}\vec{x}_i;$

$$\langle \mathbf{A}^T \vec{\tilde{n}} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;$$

Normalenvektoren

Für die Normale gilt:



$$\boxed{\langle \vec{n} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;}$$

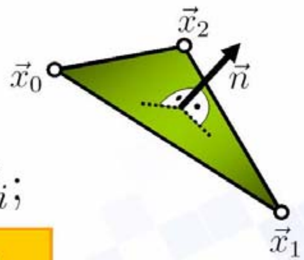
Transformation: $\vec{\tilde{x}}_i = \mathbf{A}\vec{x}_i;$

$$\boxed{\langle \mathbf{A}^T \vec{\tilde{n}} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;}$$

$$\Rightarrow \mathbf{A}^T \vec{\tilde{n}} = \vec{n}$$

Normalenvektoren

Für die Normale gilt:



$$\boxed{\langle \vec{n} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;}$$

Transformation: $\vec{\tilde{x}}_i = \mathbf{A}\vec{x}_i;$

$$\boxed{\langle \mathbf{A}^T \vec{\tilde{n}} \circ (\vec{x}_i - \vec{x}_j) \rangle = 0;}$$

$$\Rightarrow \mathbf{A}^T \vec{\tilde{n}} = \vec{n}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{\tilde{n}} = (\mathbf{A}^T)^{-1} \vec{n}}$$

Inverse Transponierte Matrix

Zusammenfassung

Wiederholung Lineare Algebra:

Homogene Koordinaten:

- erlauben Gleichbehandlung von Punkten (Ortsvektoren) und Richtungsvektoren
- Rotation, Translation und Skalierung (Affine Abbildungen) in einer Transformationsmatrix
- Projektionsmatrizen

Literatur

Koordinatensysteme und Transformationen nachzulesen in:

Speziell im Kontext Computergrafik:

- J. Foley, A. van Dam, S. Feiner, and J. Hughes. *Computer Graphics, Principle And Practice*. Addison-Wesley, 1993.
- E. Haines, T. Akenine-Möller. *Real-Time Rendering*

Allgemein

- Lehrbücher über Lineare Algebra

Zusammenfassung

- **Visualisierung bedeutet:**

  Sichtbar *machen* von Daten, Informationen und ***Zusammenhängen*** im Hinblick auf eine ***leichtere Interpretation*** und ein ***besseres Verständnis*** der Daten

- **Ziel der heutigen Vorlesungsstunde**:
  - Überblick über den Inhalt der Vorlesung
  - Motivation für kommende Stunden
  - Wiederholung einiger Grundlagen

Nächste Stunde

- Gittertypen,
- Interpolation auf Gittern
- Zellsuche
- Differenzieren auf Gittern