

Einführung in die Computergraphik

SS 2025

Professur für Computergraphik und
Visualisierung (CGV)

Prof. Dr. Stefan Gumhold



Inhalt

- ◆ [Organisation](#)
- ◆ Motivation
- ◆ Geschichte der Computergraphik
- ◆ Einordnung und Begriffsbestimmung
- ◆ Ausblick Vorlesung



MOTIVATION

Motivation

Computerspiele



- Seit ihrer Erfindung faszinieren Computerspiele durch die Möglichkeit der Interaktion mit **virtuellen Welten in Echtzeit**
- Ihr kommerzieller Erfolg hat die **Entwicklung der Graphikhardware** maßgeblich vorangetrieben
- Die komplexen Simulationen heutiger Spiele basieren auf leistungsfähigen **Game Engines**
- Zum umfassenden Einfluss von Computerspielen auf unsere Gesellschaft: siehe TSD: [Schöne neue Cyberwelt?](#)*



(CryEngine 3)

Motivation

Filmindustrie



- ◆ Rapunzel neu verhöhnt
- ◆ 5 Jahre Produktionszeit
- ◆ Ausgaben 260 Millionen \$
- ◆ Einnahmen 591 Millionen \$
- ◆ Tool-Chain
 - ◆ 3D Modellierung
 - ◆ Bemalen der 3D Modelle
 - ◆ Beleuchtungsdesign
 - ◆ Simulation
 - ◆ Pflanzenbewuchs
 - ◆ Flüssigkeiten, Haare, ...
 - ◆ Motion Capturing & Animation
 - ◆ Rendering
 - ◆ Stereocinematographie
 - ◆ Bildverarbeitung

siehe auch

Blender Open Film Projects



Jean-Honoré
Fragonard
(1732–1806) –
Die Schaukel



Motivation Betriebssysteme

- Ältere Graphikkarten hatten sehr unterschiedliche Grundfunktionalität und ihre Treiber waren oft fehlerbehaftet
- Erst unter Betriebssystemen wie Windows 7 wurden Modi für die Benutzeroberfläche integriert, die vorwiegend die Graphikkarte für die Darstellung nutzen
- Echtzeitfähige Animationen, transparente Überlagerung sowie Schatten und Beleuchtungseffekte bereichern heutige graphische Benutzerschnittstellen



[bump top](#) originated on MAC OS



Windows 8 Wind Oberfläche

Motivation

Konstruktion & Planung



- ◆ In der Architektur und in den Ingenieurwissenschaften hilft die Computergraphik neu entworfene Designs zu visualisieren, ohne dass diese gebaut werden müssen.
- ◆ Für eine photorealistische Darstellungen wird die Beleuchtung simuliert, so dass die verwendeten Materialien ersichtlich werden.
- ◆ Nicht photorealistische Darstellungen sind oft linienbasiert und geben einen sehr guten Eindruck der geometrischen Form wieder.



<http://www.bestarchitecturaldesigns.com>



<http://www.loscabosquerencia.com>



GESCHICHTE DER CG

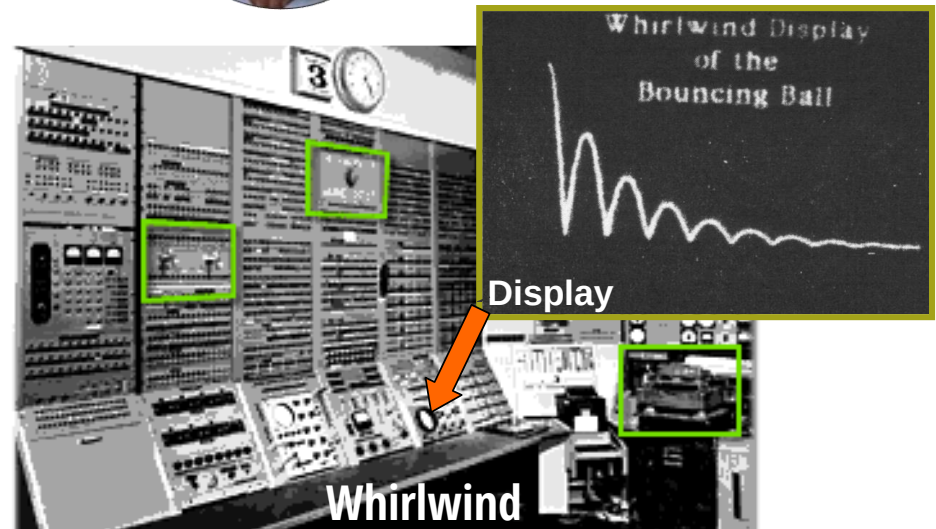
Geschichte

Militärisch Motiviert



Robert Rivers Everett (1921-2018)
Computer-Ingenieur am MIT

- ◆ **1949:** Erste Computergraphik auf dem [Whirlwind](#) (bouncing Ball Program von C. Adams)



- ◆ **1952:** Einsatz der Computergraphik zur Kennzeichnung von Flugobjekten auf Radarbildschirmen



Semi-Automatic Ground Environment

[SAGE](#) Computer mit 82 Graphikkonsolen zur Luftüberwachung, erster Einsatz eines Lichtgriffels

Geschichte

Militärisch Motiviert

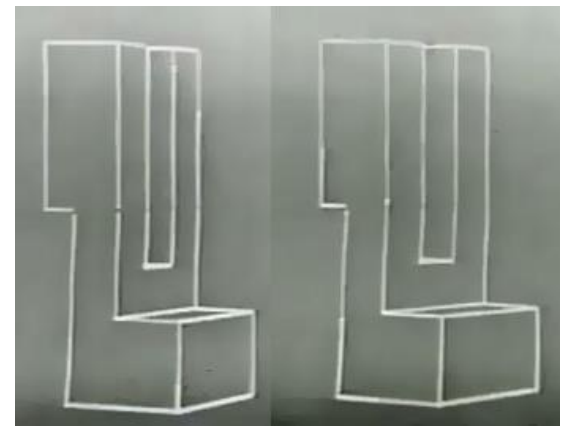


- ◆ **1962:** Sketchpad - erstes interaktives Computergraphiksystem von Sutherland mit
 - ◆ Bildkomposition aus graphischen Standardelementen,
 - ◆ Interaktion mit Tastatur und Lichtgriffel zur Arbeit mit Menüs,
 - ◆ entsprechenden Datenstrukturen zur Verwaltung graphischer Daten
- ◆ **1963:** Erste 3D Computergraphiken von L.G. Roberts auf dem TX2 des MIT

Lawrence Gilman Roberts (1937-2018)
1963 PhD@MIT, 2001 Draper Prize
"for the development of the Internet"

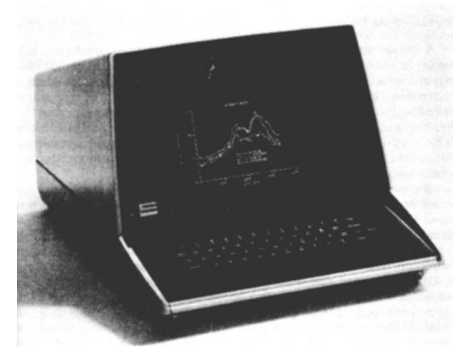


[Ivan Sutherland an der Konsole des TX-2 Computers](#)



*parallel-eye Stereopaar mit
hidden-line-removal Algorithmus*

- In 60er Jahren startet eine Vielzahl von CG-Forschungsprojekten (am MIT, General Motors, Bell Telephone Lab., Lockheed Aircraft usw.)
- **1965:** Erstes kommerzielles Vektor-Display von IBM (Preis ca. 100.000 US\$);
- **1968:** Erstes Bildspeicher-Display von Tektronix (bietet einem breiten Interessentenkreis Zugang zur Computergraphik, Preis ~10.000 USD)
- **1971:** Raster-Scan-Prinzip von M. Noll (Bell Lab.) vorgeschlagen
- **1972:** Erster Flugsimulator (General Electronics) (Beispiele heute: [online simulator](#) in GoogleEarth, [Aerial Informatics and Robotics platform](#), [AirSim](#))
- **1973:** erste Konferenz der **[SIGGRAPH](#)** (**S**pecial **I**nterest **G**roup on Computer **G**raphics) der ACM (Association of Computing Machinery), die sich ausschließlich mit Computer Graphik beschäftigt (bis fast 50.000 Teilnehmer 1997)



- ◆ **1979:** Gründung der Computer Graphik Abteilung von **LucasFilm** durch George Lucas (die Abteilung wird der „Special Effects“-Abteilung **ILM** – Industrial Light and Magic – zugeordnet)
- ◆ **1980:** Vorführung des Films **Vol Libre** (von Loren Carpenter, Boeing) auf der SIGGRAPH'80 (in dem Film wird der Flug durch eine **fraktale Landschaft** gezeigt)



Carpenter's Kunst-Gebirge wurde bei der Prämierung von der SIGGRAPH-Jury mit der Begründung ausgeschlossen, weil

„... es nicht wie eine Computer Graphik aussieht!“

<https://kottke.org/09/07/vol-libre-an-amazing-cg-film-from-1980>

Geschichte

Animationsfilm – Morphing

- ◆ **1980:** ~30 Min. Computeranimationen im Film Tron, (Film floppt, große Hollywood Filmstudios reagieren mit Zurückhaltung gegenüber Computer Graphik)
- ◆ **1982:** Erste Filmsequenz, in der sich Frau in Luchs verwandelt (T.Brigham, SIGGRAPH'82);



- ◆ Diese Technik wird später **Morphing** genannt – (wurde bis 1987 nicht weiter beachtet, bis LucasFilm sie in dem Film „Willow“ einsetzt)

- ◆ **1984:** Gründung [Wavefront](#) Technologies für Animations-Software
- ◆ **1986:** Gründung der Firma [Pixar](#) durch Ed Catmull und A.R. Smith nach Abspaltung von Lucas Film
- ◆ Pixar's [RenderMan](#) wird Industrie-Standard
- ◆ **1988:** Film **The Abyss**, James Cameron
(ILM stellt dabei die Szene mit der Wasser-Kreatur her, die die Gesichter der Mannschaft imitiert)



aus J.D. Foley, et al
Computer Graphics –
Principles and Practice

- ◆ **1989:** Einführung von **Motion Capture**, Nutzung mechanischer Eingabegeräte für Computeranimation
- ◆ **1992:** Neue Maßstäbe bei computergenerierten Spezialeffekten (Animationen des „T1000“-Roboters in J. Cameron's Film Terminator 2)
- ◆ **1993:** Steven Spielberg's Film Jurassic Park (anstelle der ursprünglich geplanten Puppenanimationen werden Computeranimationen für die Dinosaurierszenen eingesetzt)

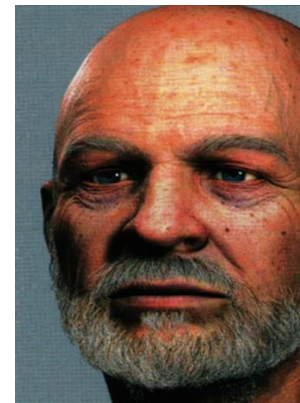
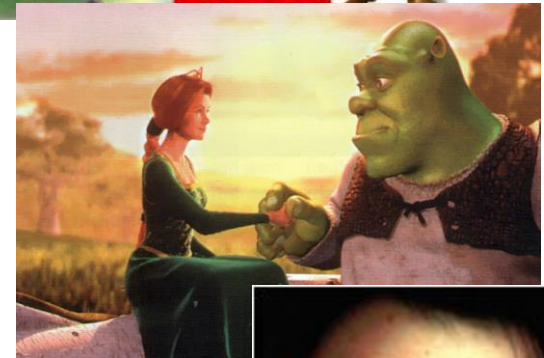


Geschichte

Animationsfilm - Charaktere



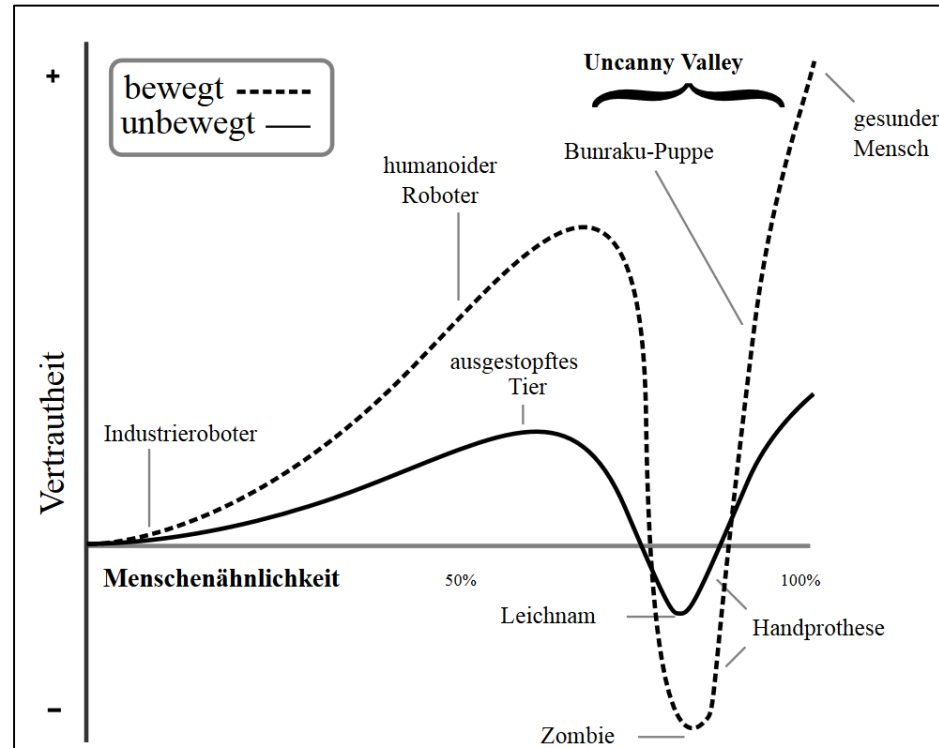
- ◆ **1995:** Toy Story kommt in die Kinos; erster vollständig computeranimierte Film von Pixar
 - ◆ Rendering: 800 000 Std. Berechnungszeit für 70 min. Film auf 177 Sun Sparc 20
 - ◆ Der Film ist ein großer Kassenerfolg, wird für drei Oskars nominiert, erhält jedoch keinen davon ...
- ◆ **2001:** sehr gute Gesichtsanimationen virtueller Charakteren im Film Shrek
- ◆ **Final Fantasy**, erster komplett computeranimierter Spielfilm mit realistischen virtuellen Charakteren
 - ◆ die Produktion des Films dauerte ~4 Jahre; etwa 170 Computeranimatoren waren tätig



aus: digital
production, Heft 3/01



- Nicht perfekt animierte Charaktere wirken sehr schnell sehr unnatürlich
- Final Fantasy war deshalb ein Flop
- Besonders schwierig ist die realistische Darstellung von Haut, Gesicht und Haaren
- Wege aus dem Uncanny Valley:
 - Animation auf nicht menschliche Charaktere wie Gollum in Herr der Ringe beschränken
 - Dynamische 3D Erfassung von Schauspieler:innen
 - Stilisierte Darstellung
 - generative AI-Modell mit sehr vielen Daten trainieren



© Wikipedia

[Repliee](#)

- ◆ erste Verfahren zur schattierten Objektdarstellung:
 - ◆ Beleuchtungsverfahren (Phong 1975, Blinn 1977),
 - ◆ Schattierungsverfahren (Gouraud 1971, Phong 1975),
 - ◆ Texturierung (Catmull 1974),
 - ◆ Schattenwurf (Crow 1977);



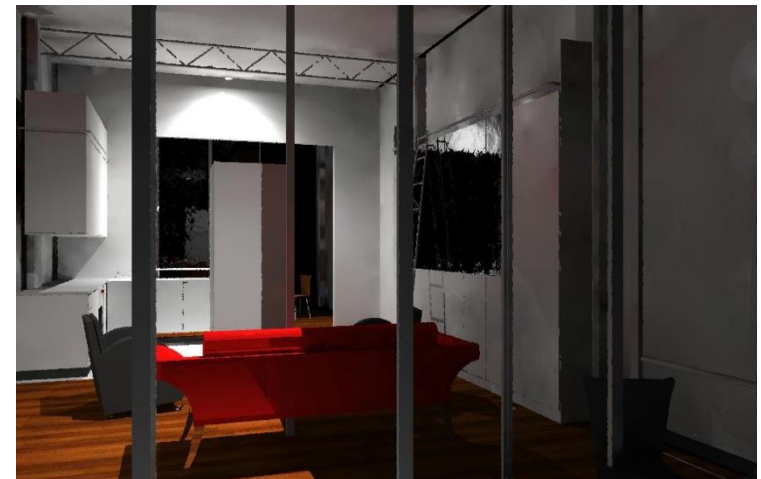
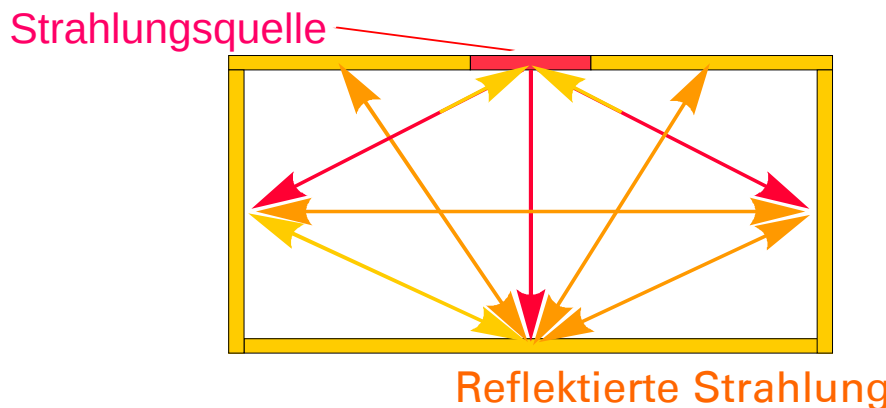
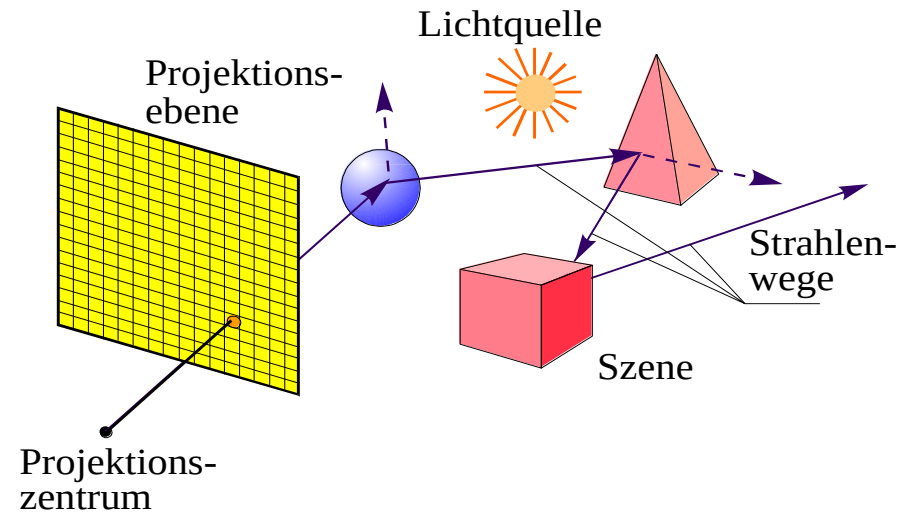
M. Newell (Univ. of Utah) modelliert
1975 den **Utah Teapot** –
eine Ikone der Computer Graphik.

Geschichte

Forschung – Raytracing / Radiosity



- **1979:** erstmalige Darstellung von spiegelnder Reflexion und Transparenz mit Hilfe des Raytracing (Kay)
- Anfang 80iger Jahre: Entwicklung des Volume-Rendering
- **1984:** Globale Beleuchtungs-Simulation mit **Radiosity** (Goral u.a., Nishita)



Radiosity-Bild

Geschichte

Forschung – neuere Entwicklungen



- ◆ **2009:** Globale Beleuchtung in Echtzeit (Screen space techniques, voxelization)
- ◆ **2012:** real time path tracing demos (also in WebGL)
- ◆ **2019:** NVIDIA introduces raytracing (RTX) to GPUs leveraging RTXGI
- ◆ **2019:** NVIDIA introduces Deep learning super sampling (DLSS)



without (left) and with (right) RTXGI

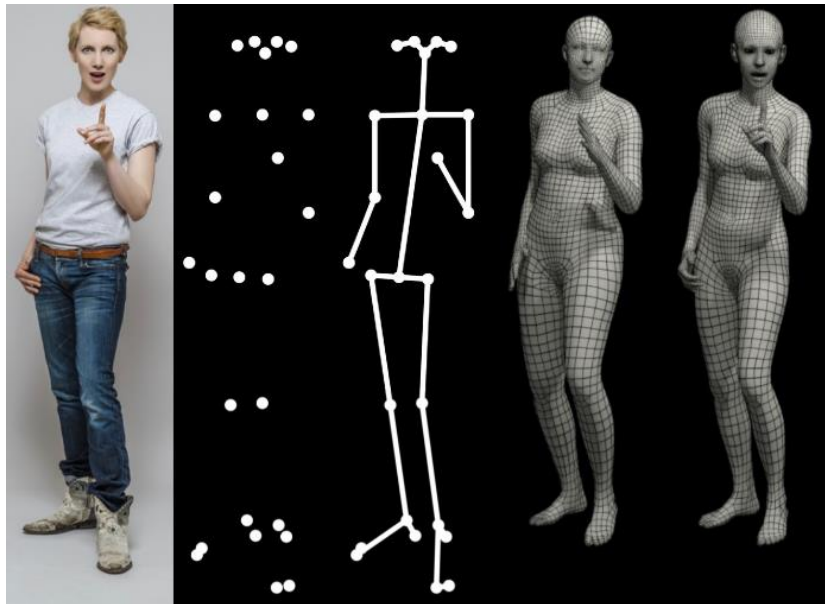


Deep learning super sampling

Geschichte

Forschung – neuere Entwicklungen

- ◆ **2019:** SMPL-X kombiniert parametrische Modelle für Körper, Hände und Gesichtsmimik



[SMPL-X](#) human surface model can be fit to images

- ◆ **2020:** Neural Radiance Fields lernen wie man aus vielen Photos einer Szene neue Ansichten generiert

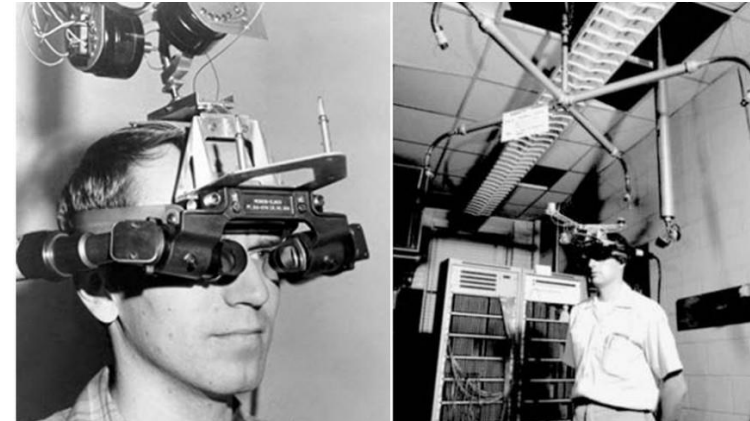


[Mip-NeRF 360](#): Unbounded Anti-Aliased Neural Radiance Fields



- ◆ **Mitte der 70iger:**
 - ◆ graphische Unterprogrammpakete (PLOT10, CAL-Comp)
 - ◆ graphische Programmiersprachen (DIGRA 73)
- ◆ **1977:** erste Vorschläge zur Standardisierung von Graphiksoftware – CORE
- ◆ **1981:** erstes „Rendering“-System **REYES** („Rendering everything you ever saw“, von L. Carpenter für LucasFilm – wird später zu Renderman weiterentwickelt)
- ◆ **1988:** **G**raphical**K**ernel**S**ystem **3D** - erster ISO-Standard
- ◆ **1992:** [OpenGL](#) 1.0 released (final version is 4.6)
- ◆ **1996:** Direct3D as part of DirectX 2.0 (final version is 12 Ultimate)
- ◆ **2009-2011:** Entwicklung von WebGL & XML3D (see: [three.js](#))
- ◆ **2016:** Vulkan 1.0 (latest version^{10.04.24} is 1.3) low level parallel programming of GPU with less CPU usage
- ◆ **2023:** nach 6-jähriger Entwicklung ist WebGPU in Chrome Browser

- ◆ **1968: Sword of Damocles**
AR Head Set ([I. Sutherland](#) MIT)
- ◆ **1982:** Gründung **Silicon Graphics** Inc. (SGI), Jim Clark, (Entwicklung von Hochleistungsrechnern für graphische Anwendungen)
- ◆ **1983:** [Jaron Lanier](#) (Atari Research Center) entwickelt **Datenhandschuh**
- ◆ **1985:** Gründung der Firma VLP (Virtual Programming Languages) durch J. Lanier, um die ersten kommerziellen Virtual Reality Produkte zu entwickeln



Sword of Damocles



Geschichte

Erweiterte Realität

- ◆ **2010:** MS Kinect bietet lowcost Echtzeit-3D-Scanning für Interaktion
- ◆ **2013:** Leap Motion ermöglicht das Tracking von 10 Fingern für neue interaktive Anwendungen
- ◆ **2016** Head Mounted Displays
 - ◆ Oculus Rift: $2 \times 1080 \times 1200 \times 90\text{Hz}$ 110°
 - ◆ VIVE: $2 \times 1080 \times 1200 \times 90\text{Hz}$ 110°
 - ◆ HoloLens: $2 \times 1268 \times 720 \times 60\text{Hz}$ 35° seethrough
- ◆ **2018/9/20**
 - ◆ VIVE Pro: $2 \times 1440 \times 1600 \times 90\text{Hz}$ 110°
 - ◆ HoloLens 2: $2 \times 2\text{K} \times 60\text{Hz}$ 70° seethrough
 - ◆ Oculus Rift S: $2 \times 1280 \times 1440 \times 80\text{Hz}$ 110°



HoloLens HMD



VIVE HMD



Oculus Rift HMD



HoloLens 2 HMD



VIVE Pro HMD



Oculus Rift S HMD



EINORDNUNG UND BEGRIFFSBESTIMMUNG



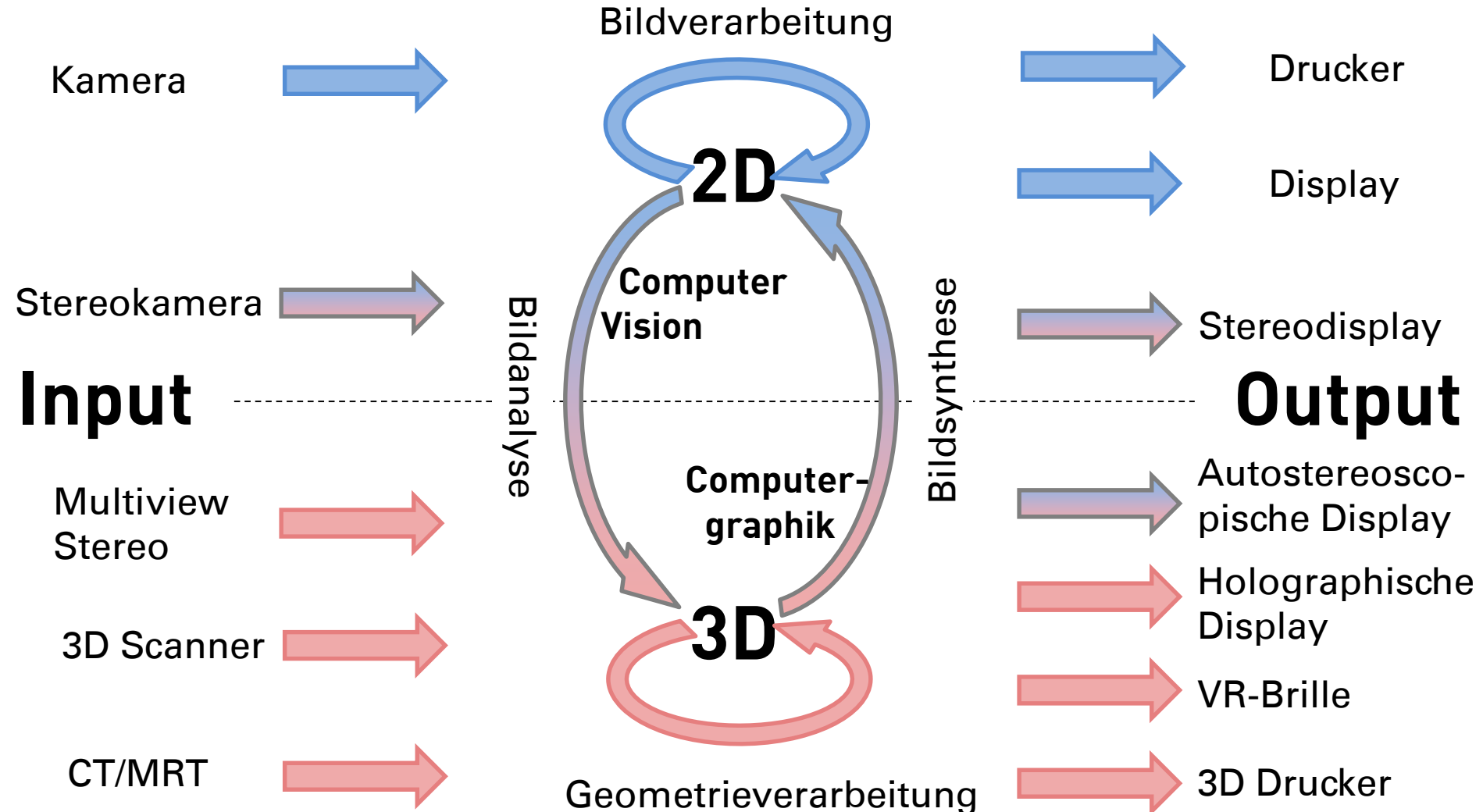
- Die **graphische Datenverarbeitung** ist in der ISO-Norm wie folgt definiert (ISO DIS 2382/13, 1982):

“Methods and techniques for converting data to and from graphics displays via computer”

- Mit “to” und “from” sind zwei Wege aufgezeichnet, einmal
 - von der Beschreibung (Modell) zum Bild und einmal vom
 - Bild zur Beschreibung
- Die graphische Datenverarbeitung kann wie auf der nächsten Folie dargestellt weiter aufgegliedert werden.

Einordnung und Begriffsbestimmung

Übersicht der GDV





Computer Graphics

Modelling

Rendering /
Image Synthesis

Animation

Application Domains

Visualization

Natural Sciences

Medicine

Geoinformatics

Information

Engineering

CAD/CAM

Simulation

Round Trip

3D Scanning

Interaction

Operating Systems

User Interaction

virtual Reality

augmented Reality

Entertainment

Games

Special Effects

Cartoons

CGV research areas



- Die Programmierung graphischer Anwendung findet typischer Weise in vier Schichten statt

- Anwendung / Graphische Benutzungsschnittstelle (GUI)

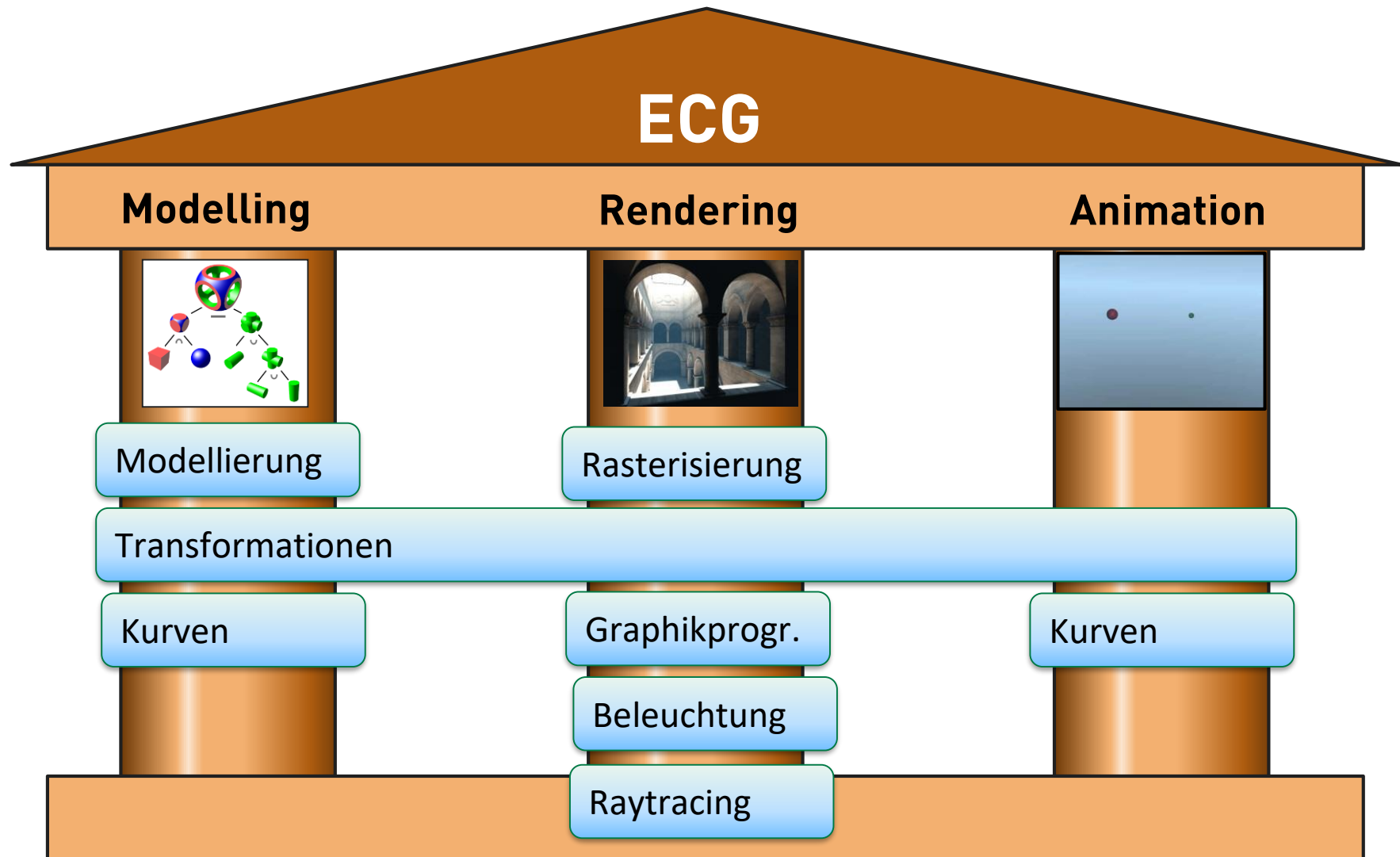
- SceneGraph / GameEngine / Processing / SDL / CGV Framework

- OpenGL, DirectX, Vulkan / OpenCL, DirectCompute , CUDA

- Shader – GLSL, HSL, CG / Kernel



AUSBLICK VORLESUNG



Vorlesung

- Einführung
- Modellierung
- Graphikprogrammierung
- Transformationen
- Rasterisierung
- Kurven
- Beleuchtung
- Raytracing

Übung

- C- und C++-Tutorials
- Programmierung
- Graphikprogrammierung
- Rasterisierung
- Kurven
- Raytracing



Wintersemester

- Computer Graphics 1
- Data Visualization
- Computer Graphics 3
- Komplexpraktikum CGV
- KP Medinf. Teil II

Sommersemester

- ECG
- Computer Graphics 2
- Scientific Visualization
- Hauptseminar CGV
- Komplexpraktikum CGV
- KP Medinf. Teil I

Webseite

Bücher

- ◆ P. Shirley, M. Gleicher, S. R. Marschner, E. Reinhard, K. Sung, W. B. Thompson, P. Willemsen: *Fundamentals of Computer Graphics*. Nr. 2, AK Peters, Wellesley 2005.
- ◆ J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner, J. F. Hughes: Computer Graphics - Principles and Practice (second Edition). Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1996
- ◆ J. Encarnacao, W. Straßer, R. Klein: Gerätetechnik, Programmierung und Anwendung graphischer Systeme Teil I und II. Oldenbourg, München, Wien, 1996, 1997

Zeitschriften

- ◆ ACM Transactions on Graphics (publiziert Siggraph Proceedings)
- ◆ Computer Graphics Forum (publiziert Eurographics Proceedings)
- ◆ IEEE CG & Applications