Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

PROFALE
PROFESSIONELLES LEHRERHANDELN ZUR FÖRDERUNG FACHLICHEN LERNENS

Alexander Jan Luczak, Seminar: Inside A Physics Engine

Inverse Kinematik – Einführung (+ Godot)

Forward Kinematik & Inverse Kinematik

Forward / Vorwärts:

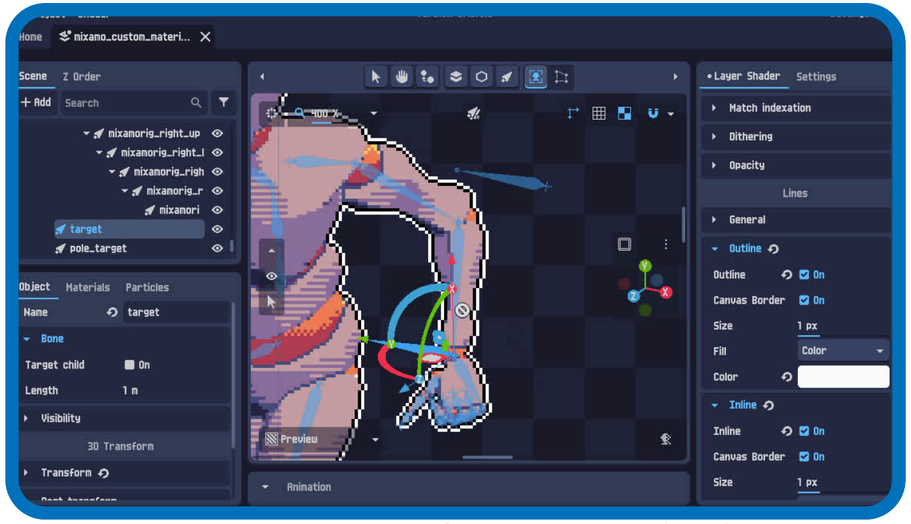
Winkel der Gelenke → Position des Endeffektors

Inverse / Rückwärts:

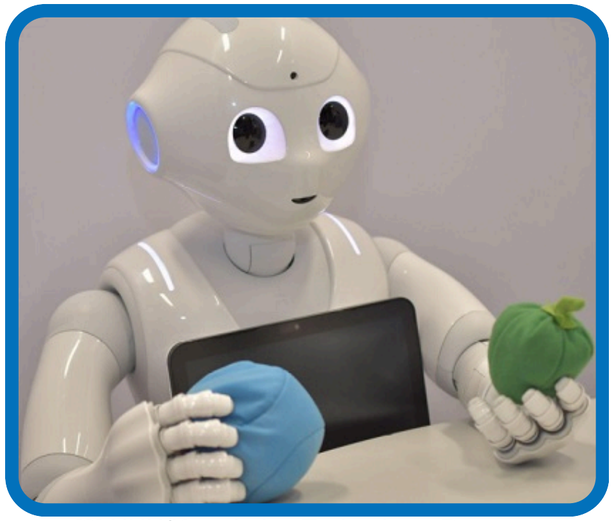
Position des Endeffektors → Winkel der Gelenke

Anwendungsgebiete

[1] Abb.: Screenshot aus „The Legend of Zelda: Ocarina of Time“ (Nintendo, 1998)



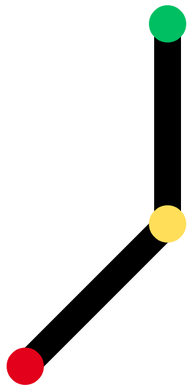
[2] Abb.: Deakcor, PixelOver Devlog 0.15.1 (2024)



[3] UHH/Knowledge Technology, Pepper

Forward Kinematik & Inverse Kinematik

Forward / Vorwärts:



Winkel der Gelenke
↓
Position des Endeffektors

Inverse / Rückwärts:

Position des Endeffektors
↓ ?
Winkel der Gelenke

Zwischendemo: C-Space

https://robotics.cs.unc.edu/C-space/

Methoden der Inversen Kinematik

Analytisch (geschlossen)

Datengetrieben (KI)

Heuristisch

Numerisch (iterativ)

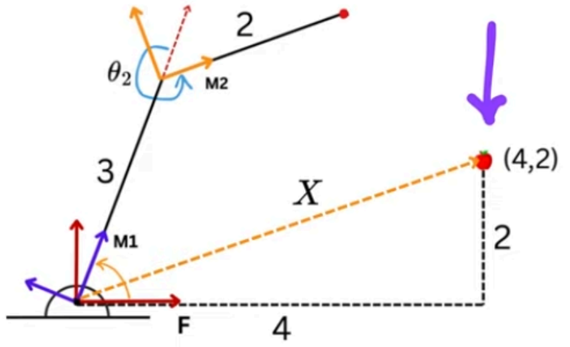
Optimierungs-basiert

Analytische (geschlossene) Lösungen

- Direkte mathematische Formeln
  - Trigonometrie
  - Algebra
- Nur für einfache Geometrien (< 6 DOG)
- Anwendung
  - Industrieroboter
  - Einfache Greifarme

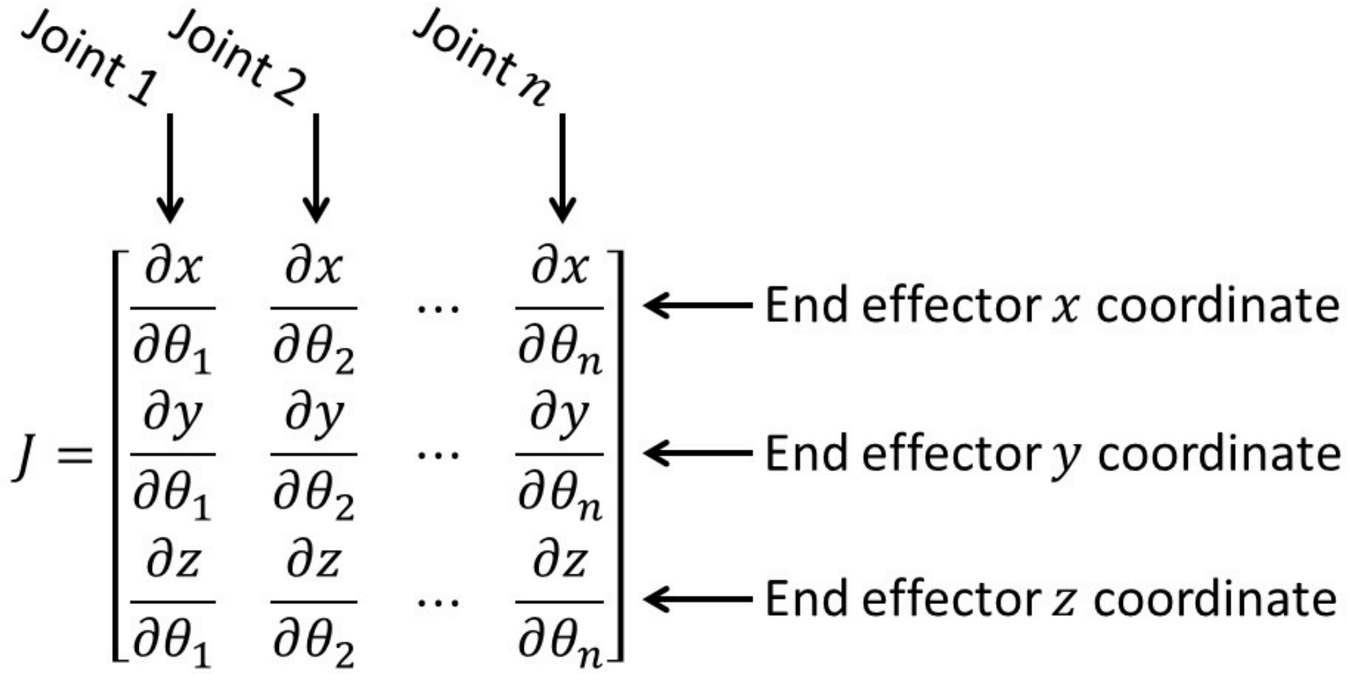
$$T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1+\theta_2) & -\sin(\theta_1+\theta_2) & 3\cos\theta_1 + 2\cos(\theta_1+\theta_2) \\ \sin(\theta_1+\theta_2) & \cos(\theta_1+\theta_2) & 3\sin\theta_1 + 2\sin(\theta_1+\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$X = Tx \qquad x = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad X = \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$



Numerische (iterative) Verfahren

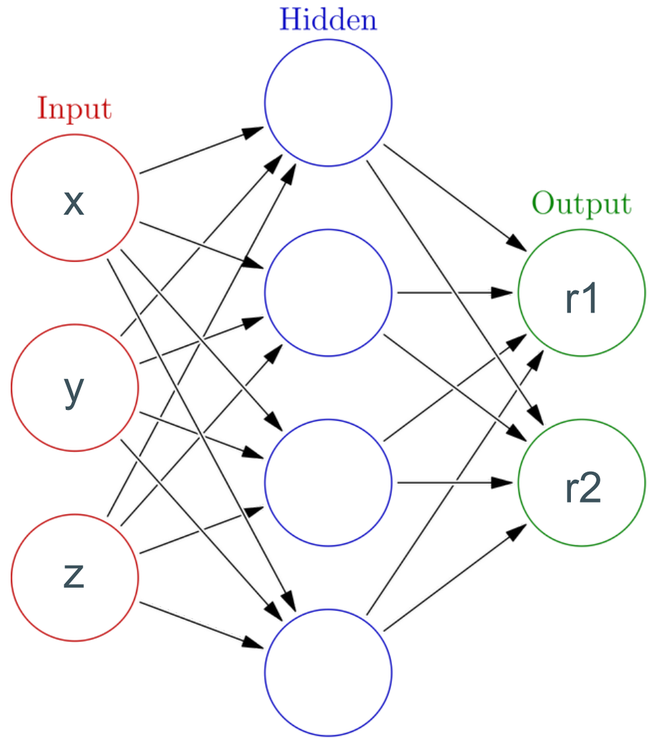
- Iterative Funktionsweise:
  a. Abstand messen
  b. Umrechnen
  c. Bewegen
- Besser für längere Arme
- Rechenbedarf hoch



Datengetriebene Lösungsansätze (KI)

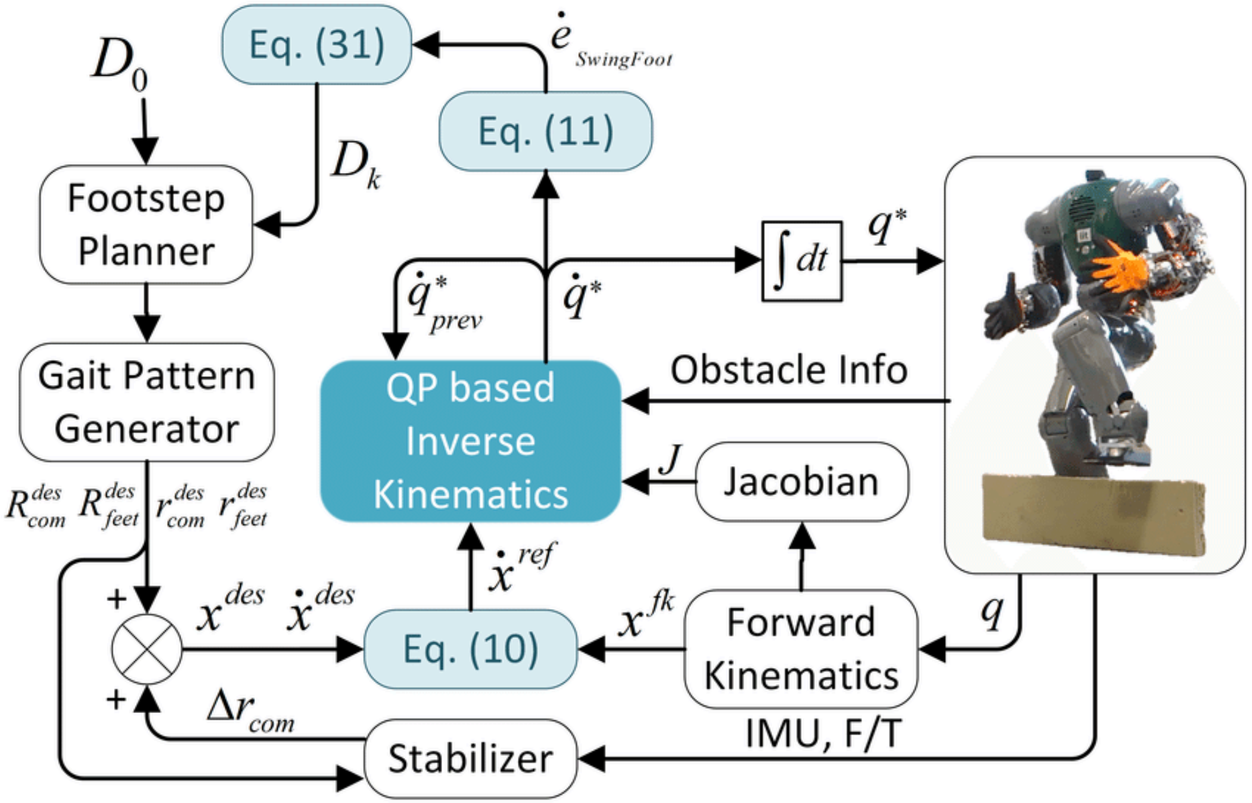
- Lernen durch Erfahrung
- Sehr schnell & adaptiv
- Gut für hochkomplexe Systeme

- Aber Black-Box Prinzip



Optimierungsbasierte Lösungen

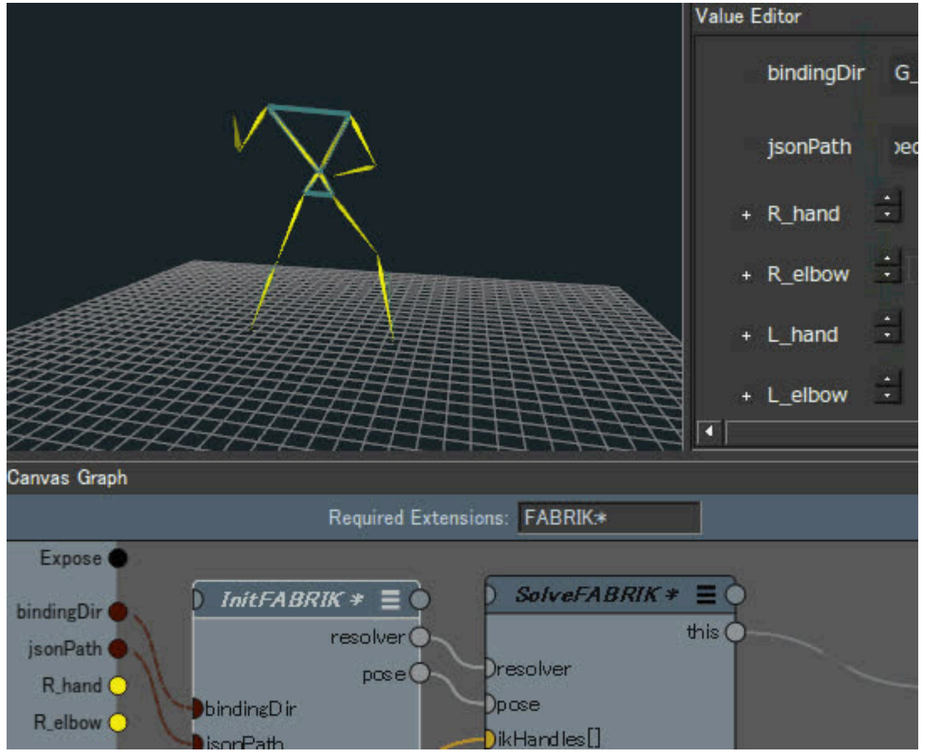
- Minimierung einer Kostenfunktion
- Adaptiv aber rechenintensiv
- Gut für zusätzliche Bedingungen
  - Stromkosten, Kollision, etc.
- Sinnvoll in mobilen und humanoiden Robotern



Heuristische Verfahren

- Geometrische Annäherungsstrategien
- Sehr effizient (Echtzeitfähig)
- Fokus auf visueller Plausibilität
- Genutzt in VR und Videospielen

- Teilweise mathematisch unpräzise



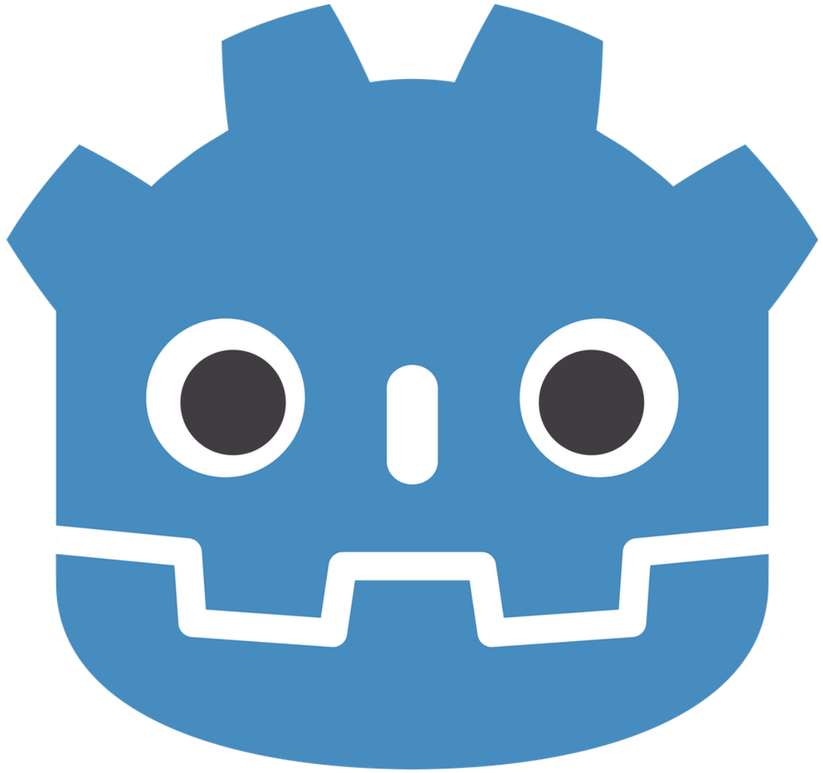
Übersicht:

Methode	Genauigkeit	Effizienz	max. Problemkomplexität
Analytisch	Maximal (Exakt)	Sehr hoch	Gering
Numerisch	Sehr hoch (Iterativ)	Mittel	Hoch
Datengetrieben	Mittel (Approximiert)	Sehr hoch	Sehr hoch
Optimierung	Hoch	Gering	Hoch
Heuristisch	Gering	Sehr hoch	Hoch

In Godot:

- TwoBoneIK3D
- **CCDIK3D**
- **FABRIK3D**
- JacobianIK3D

(Alle auch mit Skeleton2D)



CCD - Cyclic Coordinate Descent

- Startet am letzten Glied
- Berechnet optimalen Winkel
- Geht zum nächsten Glied über

CCD - Cyclic Coordinate Descent

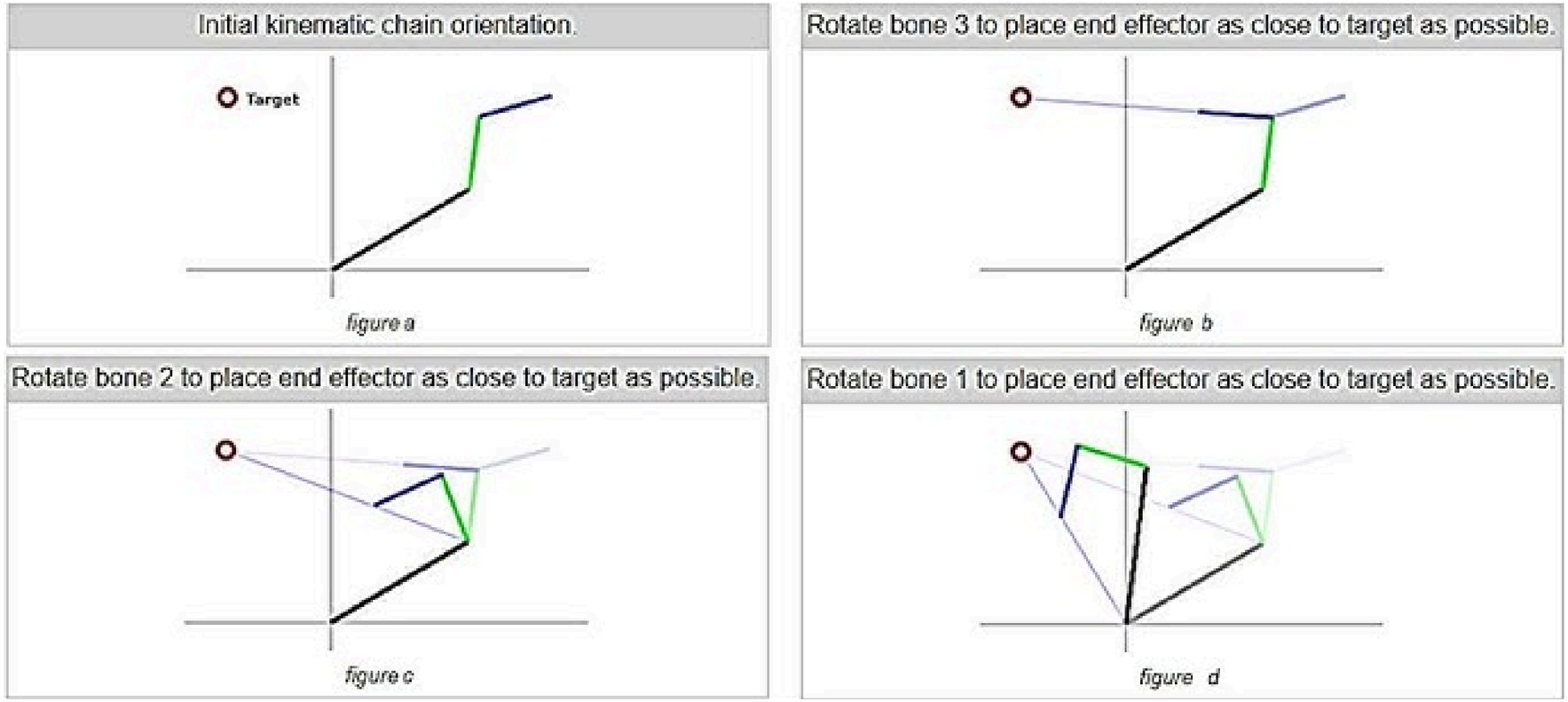


Abb.: “Numerical Inverse Kinematics Using the CCD Method”

Zwischendemo: CCD

In Godot

FABRIK - Forward and Backward Reaching IK

- Backward Reach:
  - Endeffektor wird auf das Ziel gesetzt
  - Iterativ werden die Glieder bis zur Root angepasst
  - Danach nicht unbedingt am Ursprung
- Forward Reach:
  - Erster Effektor wird auf die Root gesetzt
  - Iterativ werden alle Glieder bis zum Endeffektor angepasst
- Wird wiederholt

FABRIK - Forward and Backward Reaching IK

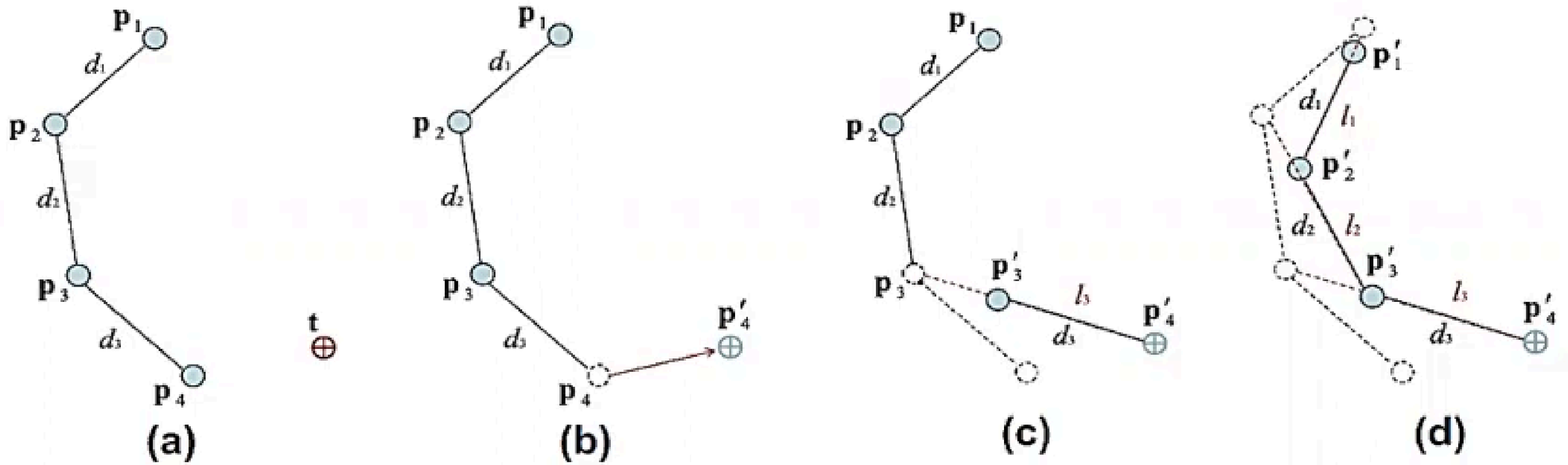


Abb.: “FABRIK - A simple algorithm for Inverse Kinematics”

FABRIK - Forward and Backward Reaching IK

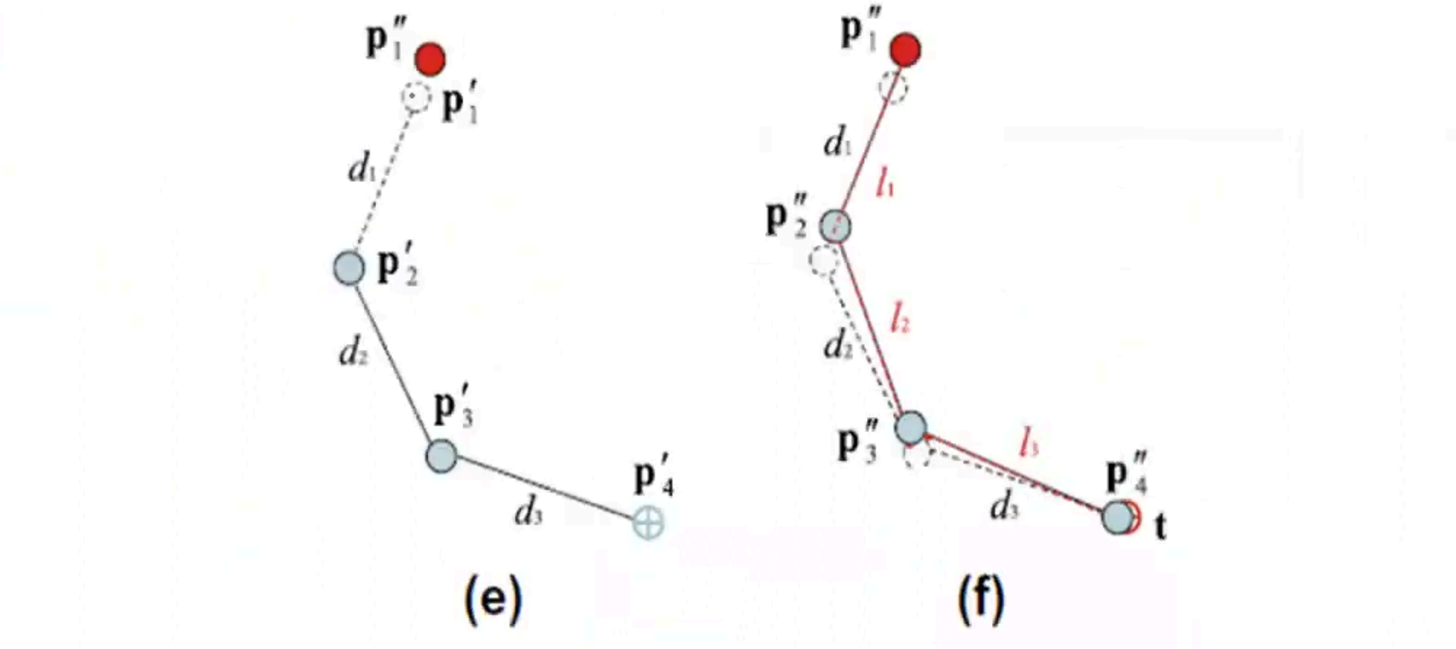


Abb.: “FABRIK - A simple algorithm for Inverse Kinematics”

Zwischendemo: FABRIK

https://editor.p5js.org/rjgilmour/sketches/wwA3D1ZUg

CCD oder FABRIK?

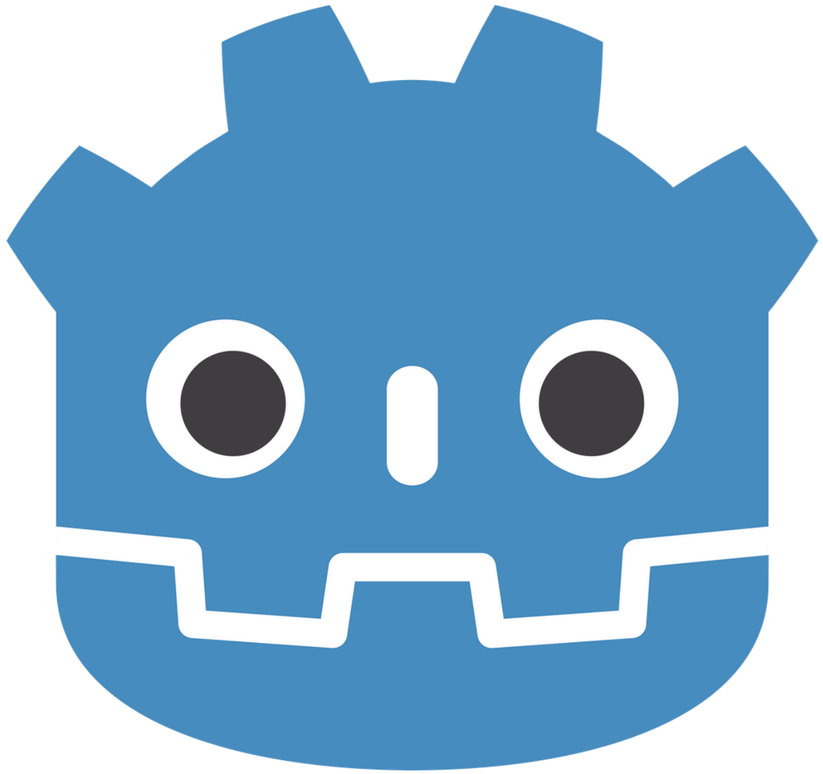
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

PROFALE
PROFESSIONELLES LEHRERHANDELN ZUR FÖRDERUNG FACHLICHEN LERNENS

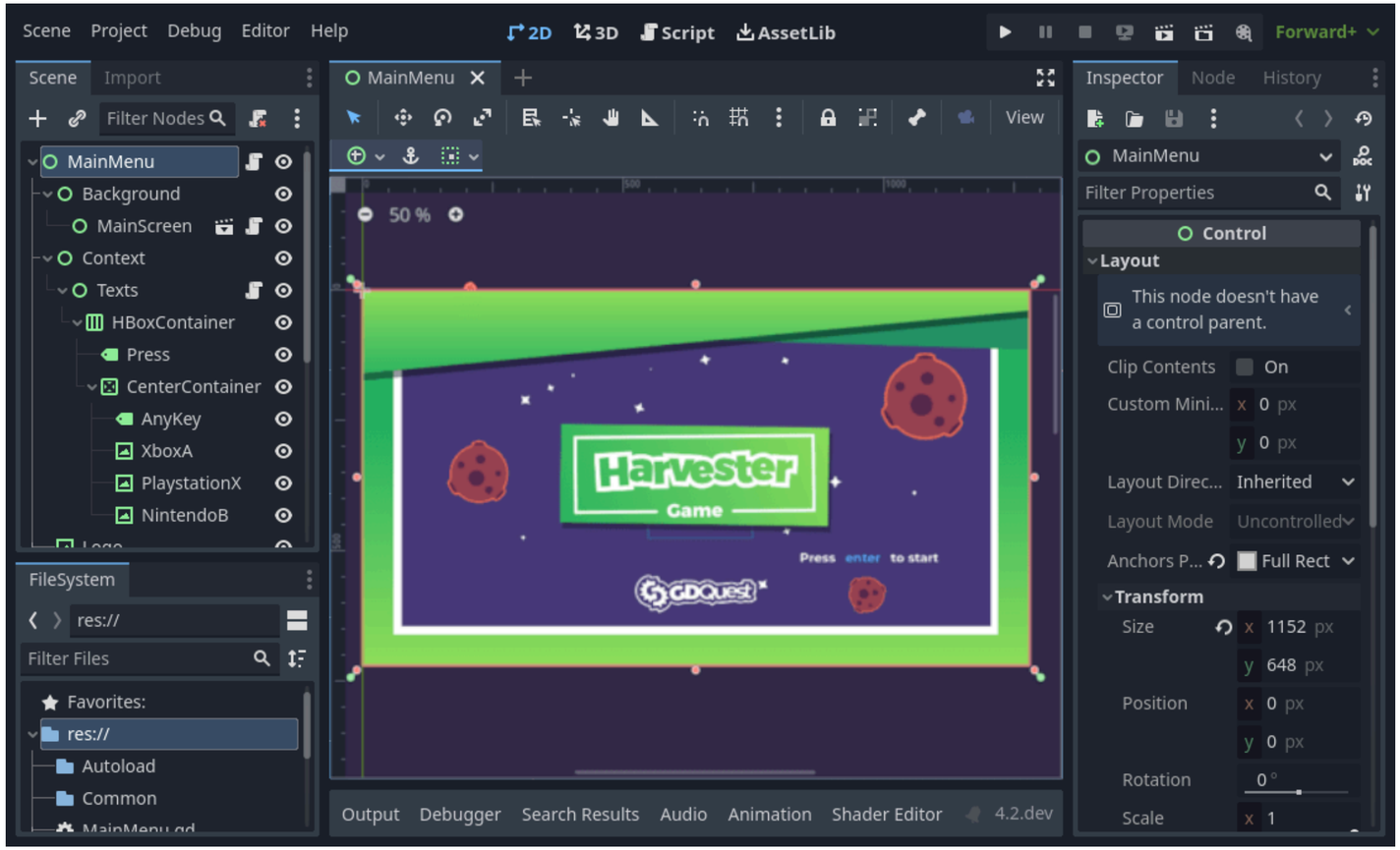
Kurze Einführung in Godot (4.6)

Was ist Godot?

- Game Engine
- Kostenlos & Open Source
- All-In-One Editor
- Nutzt GDscript oder C#
- Bekannt für Indie Games, wie
  - Slay the Spire 2
  - Buckshot Roulette



Grundprinzip: Nodes und Scenes



Demonstration in Godot