

1	Ziele und Probleme der Bewegungsanalyse	1
1.1	Fragestellungen / Computersimulation	1
1.2	Ziele einer Computersimulation in der Biomechanik.....	4
1.3	Probleme bei der Modellbildung	7

1 Ziele und Probleme der Bewegungsanalyse

1.1 Fragestellungen / Computersimulation

- Können wir die Bewegung des Menschen im Rechner nachbilden?
- Können wir die Belastungen in den Gelenken berechnen?
- Können wir den Knochenbruch voraus bestimmen?

und vieles mehr!

Mit Hilfe der **Computersimulation** (Bild 1.1) lassen sich diese Fragestellungen teilweise beantworten. Dazu dienen Programme aus dem Bereich von CAD (Computer Aided Design), FEM (Finite Elemente Methode), MKS (Mehrkörpersystem), wie sie für die Auslegung von Maschinen und Raumfahrzeuge entwickelt wurden.

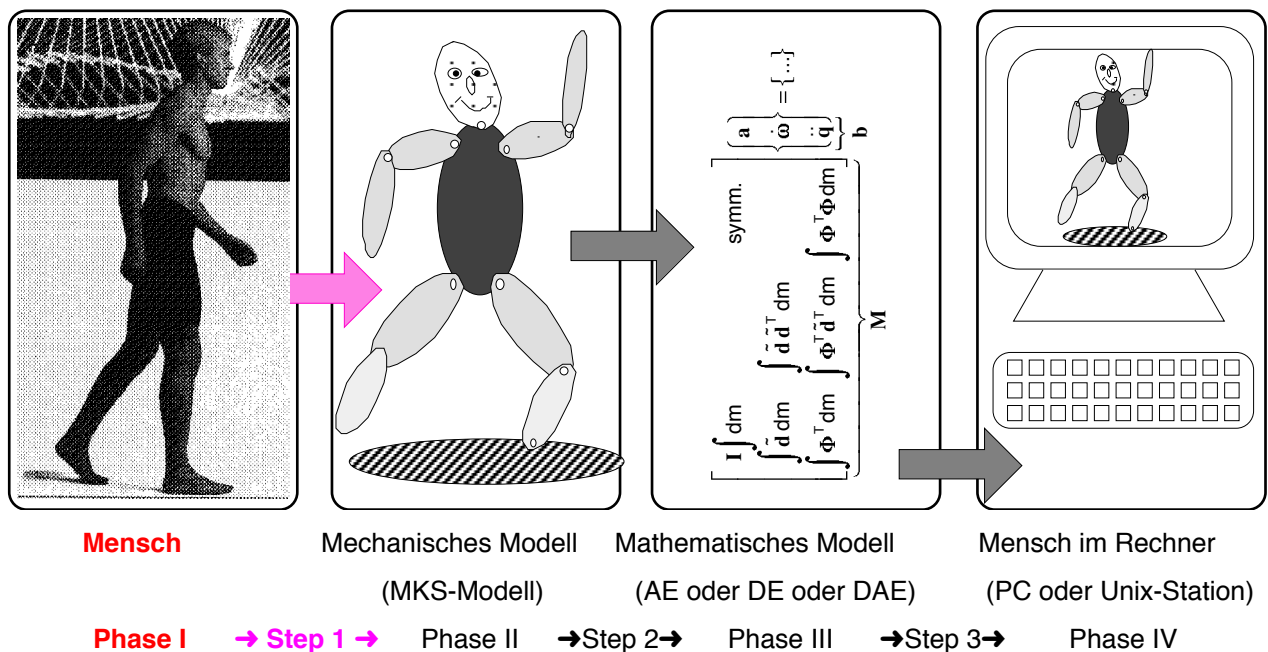


Bild 1.1: Phasen und Steps der Computersimulation: Vom realen Menschen bis zum Modell im Rechner

Die Computersimulation lässt sich grob in 4 Phasen unterteilen. Zwischen ihnen sind die Steps 1 bis 3 als Aktionen des Ingenieurs zu sehen.

Step 1:

Der **Biomechaniker** muss sich mit dem **Step 1** beschäftigen. Er ist der Vermittler zwischen dem Mediziner und dem Mechaniker bzw. er ist der Anwender der Computersoftware aus CAD, FEM und MKS. Er muss die **Modellbildung** zwischen Mensch und mechanischem Ersatzmodell vornehmen d.h. mechanische Modell festlegen und ihre Modellparameter ausfindig machen.

Die Steps 2 und 3 sind bereits erarbeitet und in kommerziellen Computerprogrammen realisiert, Tab. 1.1.

Sie umfassen:

Step 2: ◇ Entwicklung von Formalismen zum automatischen Aufstellen der Bewegungsgleichungen bzw. Systemgleichungen

◇ Entwicklung von Computerprogrammen mit Bibliothek von mechanischen Modellen zum Generieren der Bewegungsgleichungen (symbolisch oder numerisch)

Maschinenbau- und Raumfahrt-Ingenieure haben diese Aufgaben bereits gelöst.

Step 3: ◇ Entwicklung von numerischen Verfahren zum Lösen mehrdimensionaler, nichtlinearer algebraischer (AE) und / oder differentieller Gleichungen (DE bzw. DAE):

$$\text{AE: } \mathbf{y}_1(\mathbf{x}, t) = 0$$

$$\text{DE: } \dot{\mathbf{y}}_2(\mathbf{y}_2, \mathbf{x}, t) = 0$$

$$\text{DAE: } \dot{\mathbf{y}}_2(\mathbf{y}_2, \mathbf{x}, t) = 0 \quad \text{und} \quad \mathbf{y}_1(\mathbf{x}, t) = 0$$

◇ Entwicklung von graphischen Oberflächen zur Darstellung von Ergebniskurven und Animation des Gesamtmodells.

Auch diese Aufgaben wurden von Numerikern und Software-Ingenieuren gelöst.

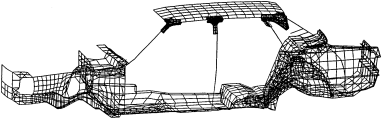
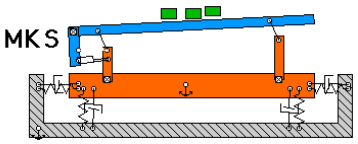
Thema	CAD	FEM	MKS
=>			
			
Einsatz	Konstruktion eines Systems, Datenerfassung für Geometrie und Material	Berechnung der Verformungen und Spannungen infolge Belastungen	Berechnung der nichtlinearen Kinematik und Dynamik von Systemen mit starren Körpern
Zusatzoptionen	Analyse der Kinematik, Synthesemöglichkeiten, FE-Netzgenerierung	Nichtlineare Kinematik und Dynamik, Bereitung von Daten für MKS	und mit elastischen Körpern, Spannungsberechnung
Programme	Catia, Euklid Pro-Engineer, Medusa, AutoCAD, Solid Edge SolidWorks	ANSYS, ABAQUS, MARC, Nastran (Brebbia 1982)	ADAMS, DADS, SIMPACT, WorkingModel (KnowledgeRevolution 1999), (Schiehlen 1990; Kortüm, Sharp et al. 1993)

Tabelle 1.1: Computerprogramme aus dem Bereich von CAD, FEM und MKS.

Welche Lösungsmethoden lassen sich einsetzen?

Abhängig von der Aufgabenstellung bzw. den gewünschten Ausgabegrößen wähle gemäß Tab. 1.2 aus.

Merke: Lege das Modell stets so einfach wie möglich aber so aufwendig wie nötig an!

	Statik	Kinetostatik	Kinetik (Dynamik)	Inverse Dynamik
Eingabe- größen	geometrische Lage Lasten, Gewicht	geometrische Lage Lasten, Gewicht Massenträgheitskräfte (Beschleunigung)	Startlage Lasten, Gewicht, eingeprägte Kräfte Massengeometrie Gesetz Muskelkraft	Zeitl. Verlauf d. Lage, Geschwindigkeit, Beschleunigung Lasten, Gewicht, eingeprägte Kräfte Massengeometrie
Ausgabe- größen	Antriebskräfte, Gelenkkräfte	Antriebskräfte, Gelenkkräfte	Zeitl. Verlauf Lage, Geschwindigkeit, Beschleunigung Gelenkkräfte	Gelenkkräfte, Muskelkräfte
Analyse- & Lösungs- methode	GGB Statik oder Prinzip virt. Leistung a) AE -> Hand oder Computer b) VektorE -> Hand	GGB Statik oder Prinzip virt. Leistung a) AE -> Hand oder Computer b) VektorE -> Hand	GGB Newton&Euler Prinzip virt. Leistung DE oder DAE -> Hand oder Computer	GGB Newton&Euler Prinzip virt. Leistung AE -> Hand oder Computer

Tabelle 1.2: Methoden der Statik und Dynamik

(Kräfte steht synonym für Kräfte und Momente,

GGB Statik => statische Gleichgewichtsbedingungen am freigeschnittenen Körper,

Prinzip virt. Leistung => virtuelle Leistung aller eingepprägten Kräfte und Momente im System ist null)

a) Hilfreiche Mathematik-Programme sind Mathematica, Maple, Matlab, etc.

b) Verwende MKS Programme wie in Tab. 1.1 gezeigt.

Beispiel 1.1: Computersimulation der Landung eines Skifahrers auf der Hügelpiste. Bild 1.2 links die Aufnahme des Skifahrers, rechts die entsprechende Animation des dynamischen Modell.

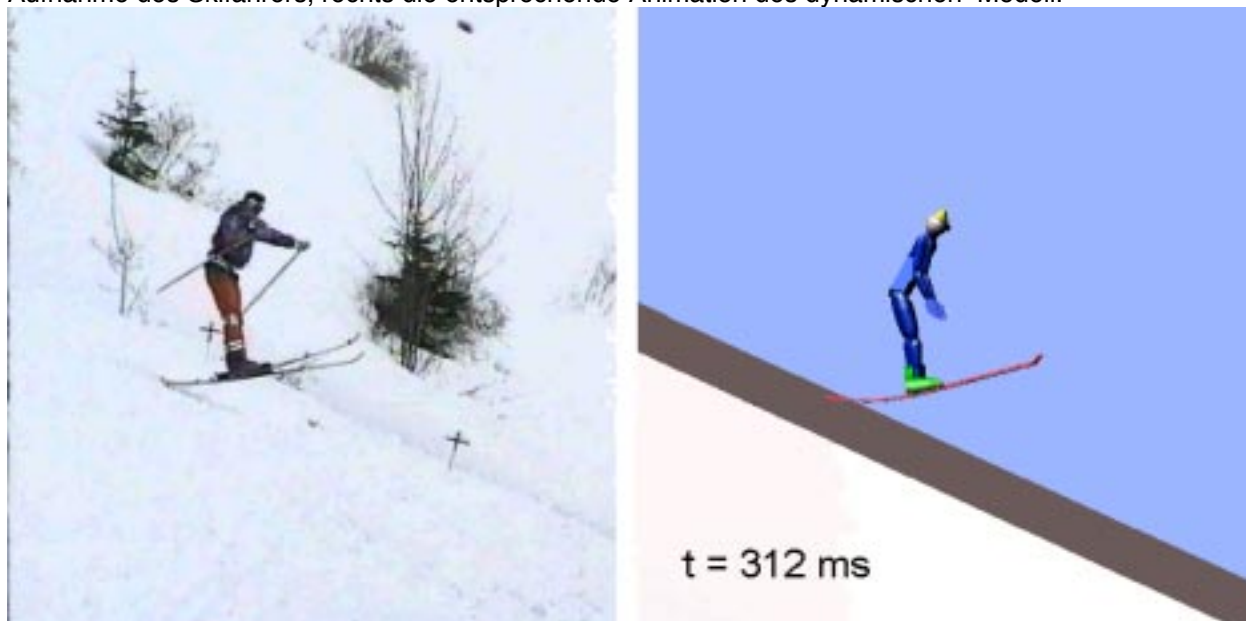


Bild 1.2: Landung eines Skifahrers auf der Hügelpiste - Real und Simulation.

1.2 Ziele einer Computersimulation in der Biomechanik

Wozu kann eine Simulation dienen oder mechanische Analyse beitragen?

- ◇ Hebt das Verständnis der Mechanik des menschlichen Skeletts beim Gehen, Sport,
- ◇ Ermöglicht Einblick in die Gelenk- und Bandbelastungen (Bild 1.7)
- ◇ Ermöglicht präzise Vorbereitungen bei Operationen
- ◇ Zeigt erwartete Belastungen der Implantate auf, z.B. für eine optimale Prothese einer Person (Bild 1.3, Bild 1.5)
- ◇ Nachrechnungen von Unfallsituationen mit Knochenbruch, Bänderriß etc. (Bild 1.2, Bild 1.3) im Sport, Straßenverkehr, bei Berufsunfällen, siehe Aufprallsituationen
- ◇ Auffinden von chronischen Überlastungen der Glieder und Gelenke im Berufsleben, z.B. beim Heben von Lasten (Bild 1.3), oder siehe (Jäger, Luttmann et al. 1991)
- ◇ Steigerung von Sportleistungen durch Kompensation von Fehlbewegungen z. B. beim Turnen (Bild 1.4), Skifahren, etc.

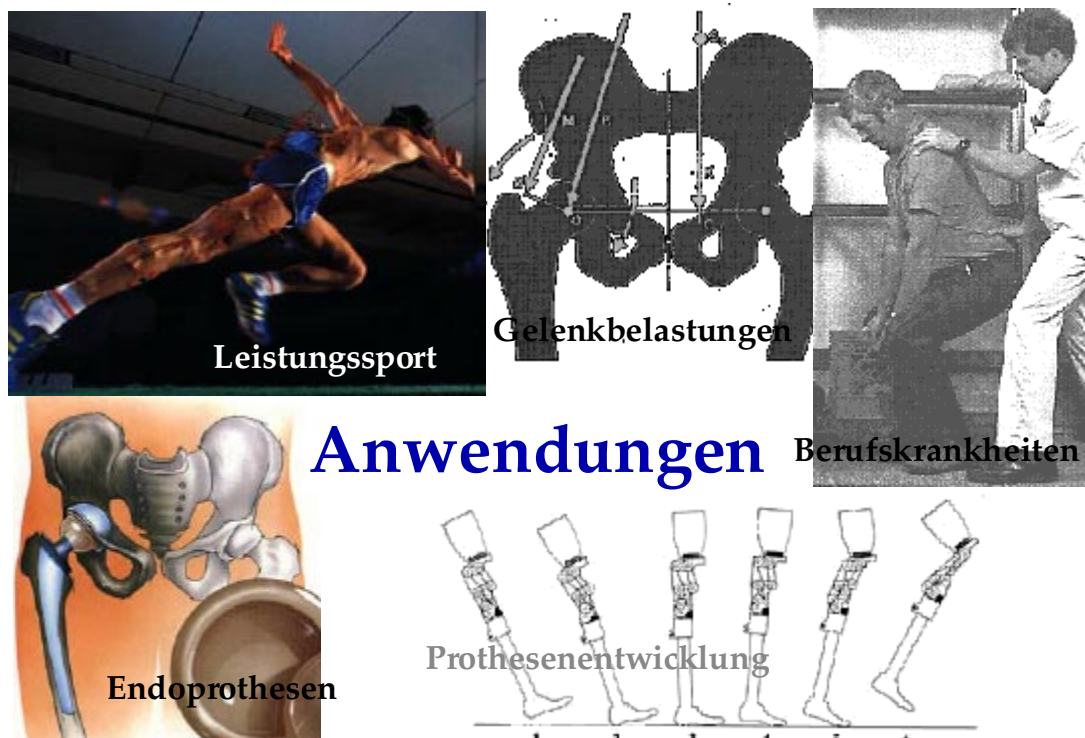


Bild 1.3: Anwendungen von Computersimulationen in der Biomechanik

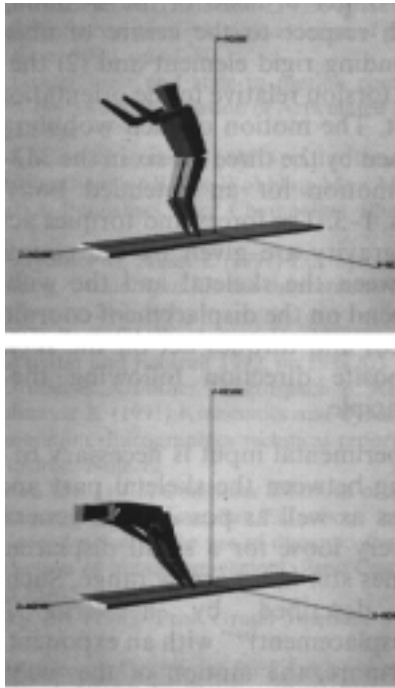


Bild 1.4: Sprung auf Brett
Rechnersimulation, (Ertl, Ruder et al. 1993)



Bild 1.5: Optimierung von Prothesen

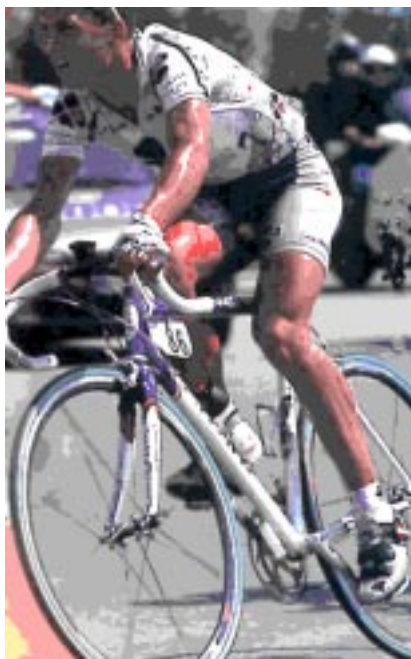


Bild 1.6: Optimierung beim Radfahren
(Jüptner 2001; Ertl 2003)



Bild 1.7: Bewegungsanalyse beim Rudern

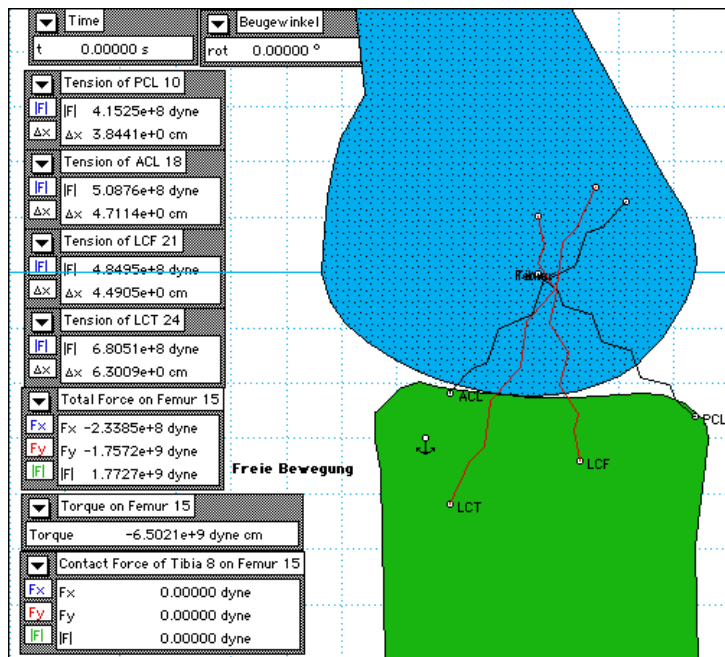


Bild 1.8: Berechnung der Zugkräfte in den Bändern
(Lehner and Wallrapp 1996)

1.3 Probleme bei der Modellbildung

Was sind die Schwierigkeiten der Modellbildung und Datenbeschaffung bei Menschen?

1. Schwierig oder nicht beschreibbare Komponenten sind
 - Anisotropie der Knochenfestigkeit und Massenverteilung
 - Komplexität der Gelenke (z.B. Knie)
 - Vielzahl räumlich wirkender Muskeln
 - Zugkraftgesetze der Muskeln und deren Einflußgrößen
 - Ständige Änderungen der anatomischen Eigenschaften, z.B. Abmessungen, Gewicht, Festigkeit insbesondere bei Erkrankung bzw. Heilungsprozess
 - Sensibilität des Menschen, z. B. Gleichgewichtsorgan, Tastsinn, Reaktion)
2. Jeder Mensch ist absolut verschieden (physikalisch) in Hinblick auf
 - Geschlecht
 - Abmessungen
 - Gewicht
 - Festigkeit
 - Sensibilität und Reaktionen
 - Gesundheitszustand

Übung 1.1: Geben Sie weitere Aspekte für Computersimulationen in der Biomechanik an.

.....

.....

.....

.....

.....

Übung 1.2: Nennen Sie noch weitere Probleme der Modellbildung?

.....

.....

.....

.....

.....