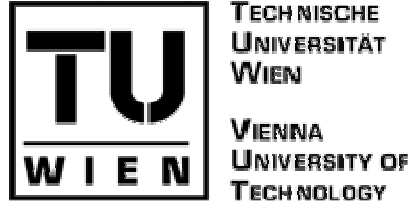


Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



D I P L O M A R B E I T

Entwicklung einer Software zur Biomechanischen Bewegungsanalyse

Ausgeführt am Institut für
Analysis und Scientific Computing

der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von
**Ao.Univ.Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat.
Gabriela Schranz-Kirlinger**

durch

Dirnberger Stephanie

Pfandlbrunnengasse 48.
2340 Mödling

(Student)

Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	S.1
1.1 „Biomechanisches Praktikum“ im Studienplan „Bewegung und Sport“	S.1
1.2 Beispiel Ruderbewegung	S.1
1.3 Was ist Biomechanik?	S.1
1.4 Datenerfassung	S.1
1.5 Kalibrierung	S.2
1.6 Aufbau der Analyse in MATLAB	S.2
1.7 Anleitung	S.3
2. Datenerfassung	S.4
2.1 Dateneingabe	S.4
2.2 Import in MATLAB	S.5
3. Kalibrierung und Umrechnung der Bildkoordinaten in Weltkoordinaten	S.6
3.1 Grundlegende Aspekte der Darstellenden Geometrie	S.6
3.1.1 Projektive Ebene	S.6
3.1.2 Kollineation	S.7
3.2 Kamera-Kalibrierung	S.7
3.3 Direkte Lineare Transformation	S.7
3.3.1 Lösen von linearen Gleichungssystemen	S.12
3.3.1.1 Das lineare Ausgleichsproblem	S.12
3.3.1.2 LAPACK	S.13
3.3.2 Berechnung der DLT-Parameter in MATLAB	S.13
3.4 Umrechnung der Bildkoordinaten in Weltkoordinaten	S.13
3.4.1 Realisierung der Umrechnung in MATLAB	S.14
4. Berechnung des Körperschwerpunkts	S.15
4.1 Grundlegendes zur Berechnung des Körperschwerpunkts (KSP)	S.15
4.2 Methode zur Bestimmung der Lage des KSP	S.15
4.3 Zerlegung des menschlichen Körpers in Teilkörper	S.17
4.4 Zusammenfassen zweier Schwerpunkte	S.17
4.5 Berechnung des Körperschwerpunkts	S.17

5. Nachstellung der Bewegung	S.19
5.1 Animation	S.19
5.2 Phasendiagramm	S.21
6. Berechnung von Gelenkwinkeln	S.22
6.1 Betrag des Winkels	S.22
6.2 Bestimmung auf welcher Seite einer gerichteten Gerade ein Punkt liegt	S.22
6.3 Sonderfälle: 0° und 180°	S.24
6.4 Reihenfolge der Eingabe der Punkte	S.24
6.5 Ausgabe des Programms	S.25
7. Berechnung Wegsummen und Distanzen	S.26
7.1 Wegsummen	S.26
7.2 Distanzen	S.26
8. Glätten von Graphen	S.27
8.1 Unglattheiten aufgrund von Messungenauigkeiten	S.27
8.2 Glättung mittels Mittelwertbildung	S.28
9. Numerische Differentiation und Splines	S.30
9.1 Zentraler Differenzenquotient	S.30
9.2 Einseitige Differenz (am Rand)	S.30
9.3 Stückweise polynomale Interpolation – Spline	S.31
9.3.1 Der natürlicher Spline	S.31
9.3.2 Der vollständiger Spline	S.32
9.3.3 Die periodische Randbedingung	S.32
9.3.4 not-a-knot	S.32
9.3.5 Splines in MATLAB	S.32
9.4 Numerische Differentiation mittels MATLAB	S.32
10. Auswertung der Daten	S.33
11. Die Programme	S.34
11.1 anleitung.m	S.34
11.2 read_data.m	S.35
11.3 dlt_parameter.m	S.37

11.4	umrechnung.m	S.37
11.5	schwerpunkt.m	S.38
11.6	stabdiagramm.m	S.40
11.7	verlauf.m	S.41
11.8	dreieck.m	S.43
11.9	pythagoras.m	S.45
11.10	glaetten.m	S.46
11.11	ableitung.m	S.47
11.12	diagramm.m	S.48
12.	Beispiel Ruderbewegung	S.51
12.1	read_data.m	S.53
12.2	dlt_parameter.m	S.55
12.3	umrechnung.m	S.56
12.4	schwerpunkt.m	S.58
12.5	stabdiagramm.m	S.60
12.6	verlauf.m	S.60
12.7	dreieck.m	S.62
12.8	pythagoras.m	S.64
12.9	glaetten.m	S.66
	12.9.1 Beispiel 1	S.66
	12.9.2 Beispiel 2	S.67
12.10	ableitung.m	S.68
	12.10.1 Beispiel 1	S.68
	12.10.2 Beispiel 2	S.68
12.11	ableitung.m	S.70
	12.11.1 Beispiel 1	S.70
	12.11.2 Beispiel 2	S.71
	12.11.3 Beispiel 3	S.72
	12.11.4 Beispiel 4	S.73
13.	Literaturliste	S.75

1. Einleitung

1.1 „Biomechanisches Praktikum“ im Studienplan „Bewegung und Sport“

Im Laufe des Bewegungs- und Sportstudiums absolvieren die Sportstudierenden die Lehrveranstaltung „biomechanisches Praktikum“. In dieser LV werden verschiedene Methoden und Programme zur videobasierten Analyse von Bewegungen eingesetzt. Auf die biomechanischen, physikalischen und mathematischen Hintergründe wird jedoch nur wenig eingegangen. In dieser Arbeit ist ein Verfahren zur Bewegungsanalyse entwickelt worden, welches auch die biomechanischen Hintergründe darlegt.

1.2 Beispiel Ruderbewegung

Als Beispiel für die Bewegungsanalyse wurde die Ruderbewegung gewählt. Diese ist zweidimensional gut erfassbar und weist auch keine Geschwindigkeitsspitzen auf. Bewegungen, welche in einer Ebene nicht sinnvoll nachvollziehbar sind, oder extreme Geschwindigkeitsspitzen (Nieder-Hoch-Sprung) aufweisen, sind für die vorliegende Analyse nicht geeignet.

1.3 Was ist Biomechanik? (in Anlehnung an H. Hatze [HAT])

Biomechanik ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die die menschliche Bewegung beschreibt, analysiert und einschätzt. Sie ist jene Wissenschaft, die die Strukturen und Funktionen von biologischen Systemen unter Verwendung von Methoden aus der Mechanik untersucht.

1.4 Datenerfassung

Eine Bewegung soll mit Hilfe einer Projektion (Kamera) zweidimensional erfasst werden. Um die Bewegung effektiv nachvollziehen und analysieren zu können, werden die wichtigsten Gelenkpunkte (z.B. Fußgelenk, Kniegelenk, Hüftgelenk, Schultergelenk, Ellbogengelenk, Handgelenk und Schläfe) markiert. Nachdem die Bewegung (mit fixer Kameraposition) gefilmt wurde, wird das Video in eine Bildserie zerlegt. Anschließend wird ein Koordinatensystem in jedes Einzelbild gelegt. Die *Bildkoordinaten* seien nun jene Koordinaten, welche sich aus den Einzelbildern herauslesen lassen. Nachdem alle Bildkoordinaten (händisch) erfasst wurden, kann jeder Bildpunkt eindeutig durch seine Bildkoordinaten und die Bildnummer (Zeit) identifiziert werden.

1.5 Kalibrierung

Bevor eine Beziehung zwischen den Bildkoordinaten und der Wirklichkeit hergestellt werden kann, muss ein Koordinatensystem im realen Raum festgelegt werden. Die daraus ablesbaren Koordinaten seien die *Weltkoordinaten* eines Punktes. Da sich die Analyse hier auf eine zweidimensional gemessene Bewegung beschränkt, reicht es aus, die Bild- und Weltkoordinaten eines echten Viereckes (keine drei Punkte sind auf einer Geraden) in der Bildebene und der Bewegungsebene (Wirklichkeit) zu bestimmen (siehe Kapitel 3). Die Weltkoordinaten des Vierecks können im statischen Zustand gemessen werden. Mit Hilfe dieser vier Punktepaare können die Abbildungseigenschaften zwischen der Bildebene und der Bewegungsebene eindeutig festgelegt werden (=> **Kalibrierung**).

1.6 Aufbau der Analyse in MATLAB

Die Bewegungsanalyse wird mit Hilfe der Mathematiksoftware MATLAB realisiert. Es sind mehrere Teilprogramme gestaltet worden, welche die einzelnen Aufgaben erfüllen.

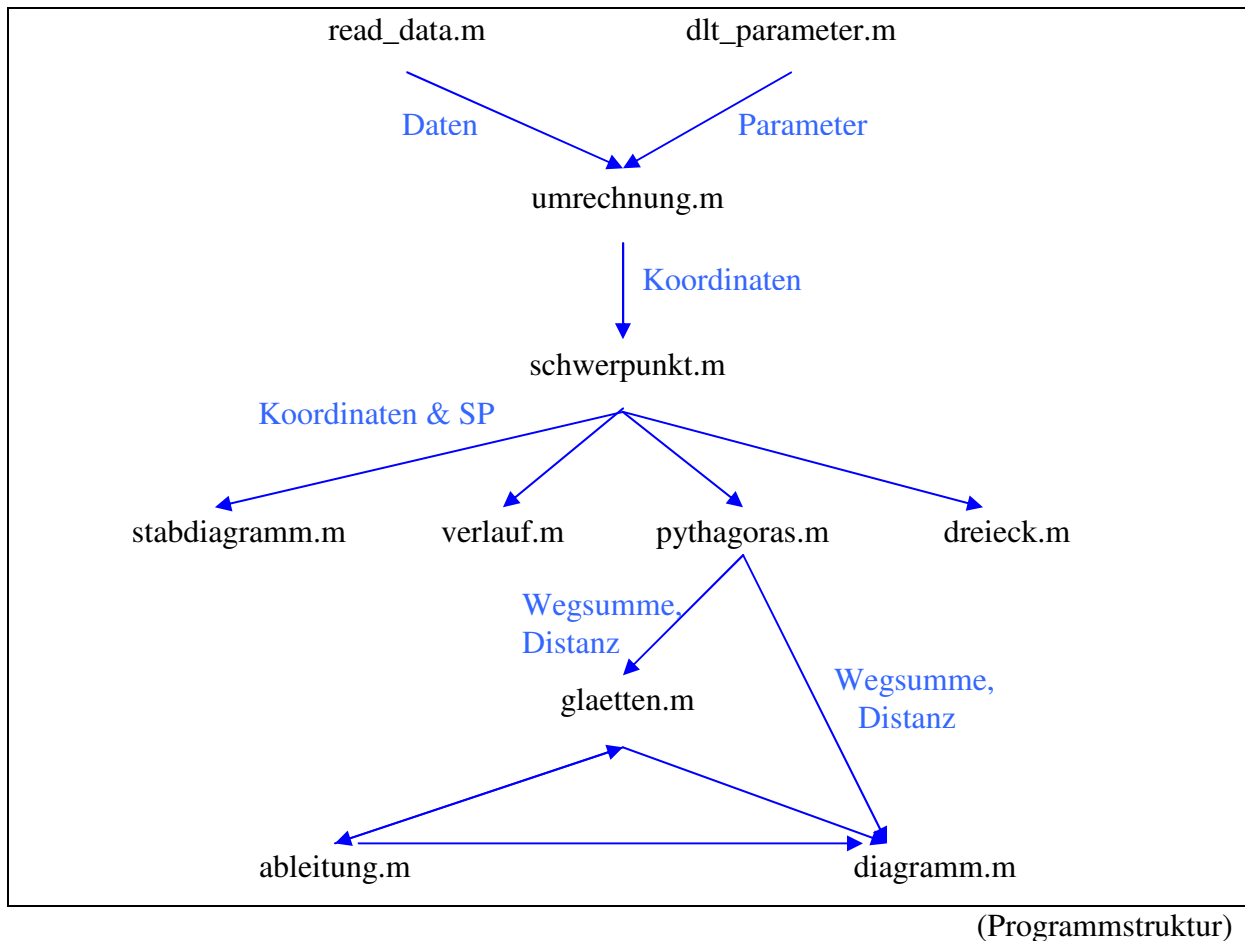
Zuerst müssen die händisch erfassten Daten aus einer externen Datei eingelesen werden. Danach werden mittels DLT-Verfahren (siehe Kapitel 3) Parameter für die Umrechnung der Bildkoordinaten in Weltkoordinaten ermittelt um im nächsten Schritt die Umrechnung vorzunehmen. Unter Verwendung der Teilkörperschwerpunkte und Teilkörpermassenanteile nach Dempster (siehe Kapitel 4) wird der Körperschwerpunkt berechnet.

Um die Bewegung graphisch nachvollziehen zu können wird eine Animation erstellt. Die Gelenkpunkte werden durch Linien verbunden und der Körperschwerpunkt wird gekennzeichnet. Man erhält für jeden Messzeitpunkt ein „*Strichmännchen*“ (:= Stabdiagramm). Indem die Bildsequenzen in einem Video zusammengefasst werden wird die Bewegung nachgestellt.

Damit auch der Verlauf einzelner Gelenkpunkte nach verfolgt werden kann, können auch Phasendiagramme erstellt werden.

Mit Hilfe der ebenen Trigonometrie, der Vektorrechnung und des Satz des Pythagoras werden Gelenkwinkel, Wegsummen und Distanzen ermittelt. Bevor Geschwindigkeiten und Beschleunigungen berechnet werden können, müssen die Funktionsgraphen der Wegsumme geglättet werden, da die Ableitungen nach der Zeit sonst auf Grund von Messungenauigkeiten stark oszillieren. Unter Verwendung numerische Interpolation (mittels kubischer Splines) und numerische Differentiation können schließlich die beiden Ableitungen errechnet werden.

Zur Veranschaulichung werden kinematische Diagramme (Zeit-Weg, Zeit-Geschwindigkeit und Zeit-Beschleunigung) erstellt.



1.7 Anleitung

Um bessere Übersicht über die Reihenfolge und die korrekte Eingabe von Befehlen zu erhalten ist es sinnvoll das Programm „anleitung.m“ aufzurufen. Die Anleitung soll dem User durch die gesamte Analyse leiten. Die Programme sind in der Anleitung in jener Reihenfolge nummeriert, in der es sinnvoll ist sie auszuführen.

2. Datenerfassung

2.1. Dateneingabe

Die Bildkoordinaten, die aus den Einzelbildern der Videosequenz (händisch) herausgelesen werden, werden in einem Excel-Formular (daten.xls) gespeichert.

Zeit	Sprunggel.	Sprunggel.	Knie	Knie	Hüfte	Hüfte
time	x	z	x	z	x	z
[ms]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]

(daten.xls, Teil 1)

Schulter	Schulter	Ellbogen	Ellbogen	Handgelenk	Handgelenk	Kopf	Kopf
x	z	x	z	x	z	x	z
[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]

(daten.xls, Teil 2)

Soll später der Körperschwerpunkt berechnet und Animationen erstellt werden, so muss die Beschriftung vollständig übernommen werden. Nur so können die Teilkörperschwerpunkte richtig zugeordnet und die Teilkörpermassenanteile richtig bestimmt werden (siehe Kapite 4). Außerdem können nur so die richtigen Punkte in den Animationen verbunden werden und nicht beispielsweise die Schultern mit den Sprunggelenken. Die Formatierung der Spalten muss also übernommen werden. Die Anzahl der Zeilen und damit die Anzahl der Messzeitpunkte kann jedoch beliebig groß sein.

Verzichtet man jedoch auf die Animation und die Berechnung des Schwerpunkts so kann die Beschriftung verändert werden. Hierbei ist aber zu beachten, dass keine Leerzeichen in der Beschriftung sind, da MATLAB sonst zu viele Spalten erzeugen würde. In diesem Fall können aber beliebig viele Spalten und Zeilen hinzugefügt werden.

Nachdem also die Daten in die Excel-Datei (händisch) eingegeben wurden, müssen sie als Dateityp: Text (Tabstopp-getrennt) in jenem Verzeichnis abgespeichert werden, indem sich das Programm read_data.m befindet.

2.2. Import in MATLAB

Das Programm „read_data.m“ dient dem Einlesen der Daten aus der Textdatei in MATLAB. Bevor jedoch der eigentliche Einleseprozess beginnt, wird die Anzahl der Nachkommastellen auf zwei reduziert. Dadurch soll eine unnötig große Darstellung der Matrizen vermieden werden.

Das Programm öffnet das Textdokument (nicht sichtbar) und zählt die Anzahl der Zeilen und Spalten. Da es sich bei den Daten nicht nur um Zahlen (in MATLAB doubles) sondern auch um Text (in MATLAB strings) handelt können sie nicht in eine normale Matrix geschrieben werden. Es wird ein *cell* (Matrixtyp in MATLAB der sowohl doubles als auch strings enthalten kann) mit entsprechender Größe erstellt. Die Zeilen der Textdatei werden nun der Reihe nach in diesen cell geschrieben. Um das Textdokument auch wieder von anderen Programmen öffnen und bearbeiten zu können muss es noch von MATLAB (nicht sichtbar) geschlossen werden.

Die korrekte Eingabe zum Aufruf des Programms wird in MATLAB durch den Befehl „help read_data“ erklärt. Um den erstellten cell später auch weiter verwenden zu können, sollten er sofort benannt werden.

3. Kalibrierung und Umrechnung der Bildkoordinaten in Weltkoordinaten

Die Aufnahme eines Bildes entspricht einer Projektion der betrachteten Szene (in der Realität) auf den Sensor der Kamera. 3D Weltpunkte werden auf 2D Bildpunkte abgebildet. Aus dem Bild sollen Rückschlüsse auf die Szene gezogen werden. Dazu muss entschlüsselt werden, wie das Bild als Projektion der Welt entstanden ist. Diese Abbildung wird durch ein geeignetes Kameramodell nachgebildet.

In einem Kameramodell stecken verschiedene physikalische und geometrische Parameter. Die Bestimmung dieser Kameraparameter wird **Kamerakalibrierung** genannt. Die Kalibrierung erfolgt durch die Aufnahme eines Kalibrierungsmusters, welches Referenzpunkte in der 3D-Welt bereitstellt. Diese Referenzpunkte zusammen mit ihren Bildpunkten bilden die Grundlage zur Berechnung der Kameraparameter.

(In Anlehnung an <http://...> [LMB])

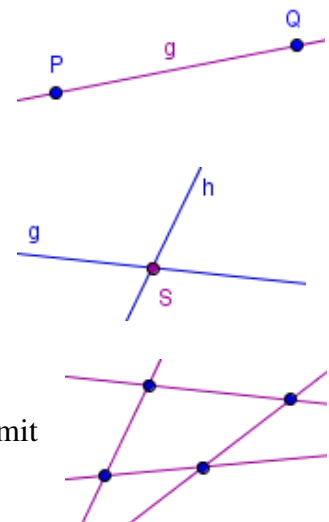
Bevor ein Verfahren zur Kalibrierung näher vorgestellt wird, sollen einige Grundlagen der Geometrie näher erläutert werden.

3.1. Grundlegende Aspekte der Darstellenden Geometrie

3.1.1. Projektive Ebene (in Anlehnung an H. Stachel [STA])

Gegeben seien die Punktmenge \mathcal{P} und die Geradenmenge \mathcal{G} . Liegt ein Punkt auf einer Geraden so wird diese Beziehung als **Inzidenz** bezeichnet. Mathematisch gesprochen handelt es sich also um eine Relation, d.h. um eine Teilmenge des kartesischen Produkts der Mengen der Punkte und Geraden. Sei I diese Inzidenzrelation, dann heißt das Tripel $\pi = (\mathcal{P}, \mathcal{G}; I)$ **projektive Ebene**, wenn gilt:

- 1) Für alle P, Q mit $P \neq Q$ existiert genau ein g mit $P, Q \in g$
=> Zwei (unterschiedliche) Punkte haben genau eine Verbindungsgerade
- 2) Für alle g, h mit $g \neq h$ existiert genau ein S mit $g, h \in S$
=> Zwei (unterschiedliche) Geraden haben genau einen Schnittpunkt
- 3) Es gibt mindestens vier Punkte, von denen keine drei mit derselben Geraden inzidieren. => Es existiert ein Viereck.



Durch Hinzufügen von Fernpunkten und der Ferngerade (Verschiedene parallele Geraden schneiden einander in ein und dem selben Fernpunkt, welcher sich auf der Ferngeraden befindet) zur Anschauungsebene erhält man die **projektiv abgeschlossene Anschauungsebene**.

3.1.2. Kollineation (in Anlehnung an H. Stachel [STA])

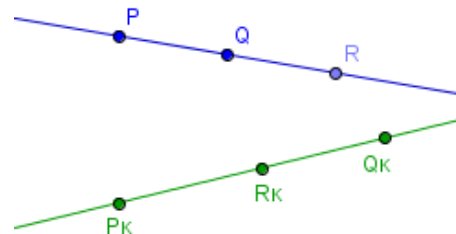
Drei Punkte sind kollinear, wenn sie mit derselben Gerade inzidieren.



Seien $\pi = (\mathcal{P}, \mathcal{L}; I)$ und $\pi' = (\mathcal{P}', \mathcal{L}'; I')$ zwei Projektive Ebenen. Eine Abbildung $\kappa: \pi \rightarrow \pi'$ heißt **Kollineation** von π auf π' , wenn gilt:

- 1) κ ist bijektiv
- 2) P, Q und R kollinear $\Rightarrow P\kappa := \kappa(P), Q\kappa := \kappa(Q)$
und $R\kappa := \kappa(R)$ sind kollinear.

\Rightarrow Kollinearität bleibt unter der Abbildung κ erhalten.



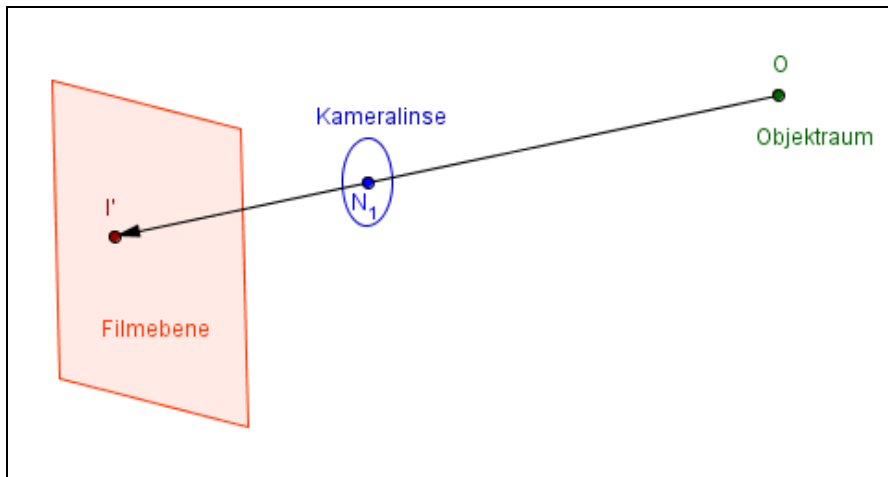
In der projektiv abgeschlossenen Anschauungsebene gibt es zu zwei Vierecken $P_1 \dots P_4$ und $Q_1 \dots Q_4$ genau eine projektive Kollineation κ mit $Q_1 = P_1\kappa \dots Q_4 = P_4\kappa$.

3.2. Kamera-Kalibrierung

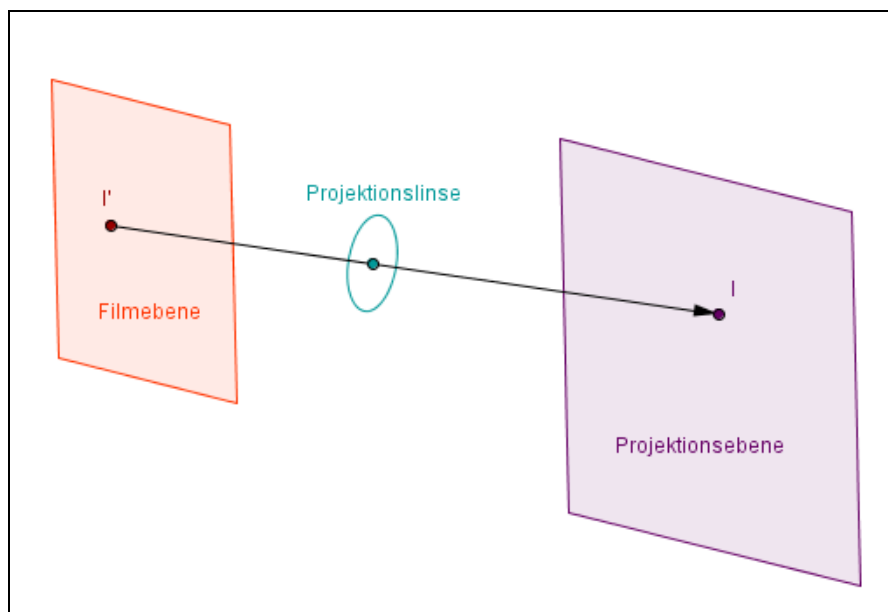
Ziel der Kalibrierung ist es einen mathematischen Zusammenhang zwischen den Weltkoordinaten und den Bildkoordinaten herzustellen. Dadurch können Punkte von der Bildebene in die Weltebene und von der Weltebene in die Bildebene umgerechnet werden. Da es sich um eine Affinität (Kollineation, bei der die Ferngerade fix bleibt) handelt, benötigt man genau vier Punkte aus jeder Ebene um den Zusammenhang herstellen zu können. Ein Algorithmus der auf diese Weise arbeitet ist das Verfahren der **Direkten Linearen Transformation (DLT)**. Dieses Verfahren benötigt also vier Kontrollpunkte.

3.3. Direkte Lineare Transformation (In Anlehnung an <http://...> [KWO])

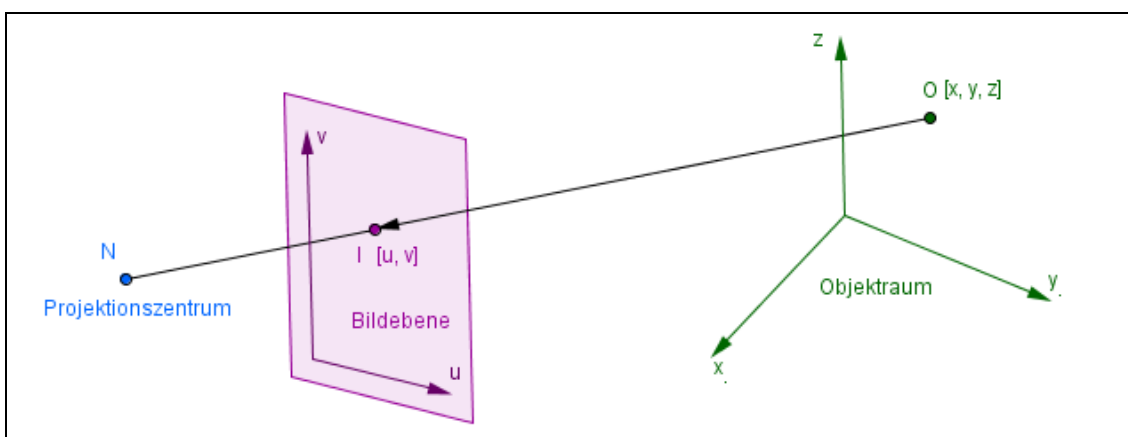
Das Aufzeichnen von Bildern mit einer Kamera entspricht im Modell der Abbildung eines Objektpunktes O aus dem Objektraum auf den Bildpunkt I' in der Filmebene.



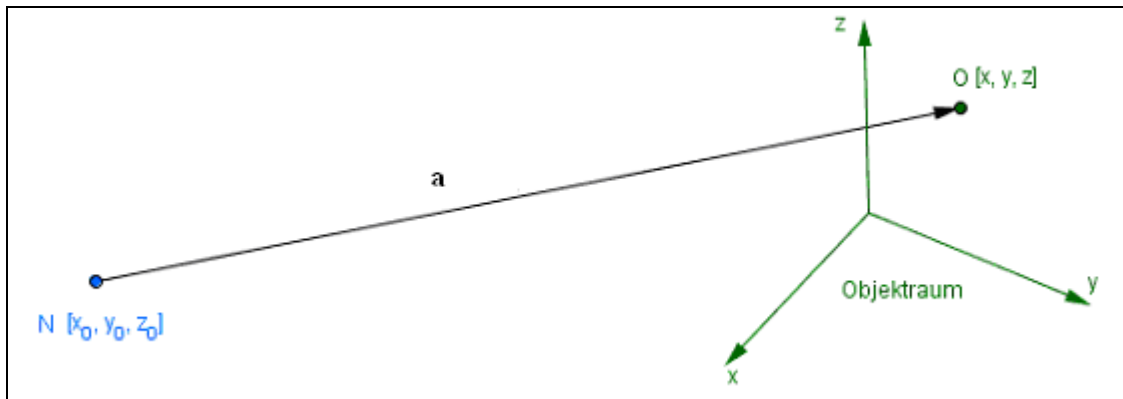
Zum Digitalisieren wird das aufgezeichnete Bild I' auf den Punkt I in der Projektionsebene zurückprojiziert.



Zur Vereinfachung ist es möglich das projizierte Bild direkt mit dem Objekt in Verbindung zu setzen. Das Objekt O wird gleich auf das projizierte Bild I abgebildet. Die Projektionsebene wird nun Bildebene genannt und der Punkt N ist das neue Projektionszentrum.

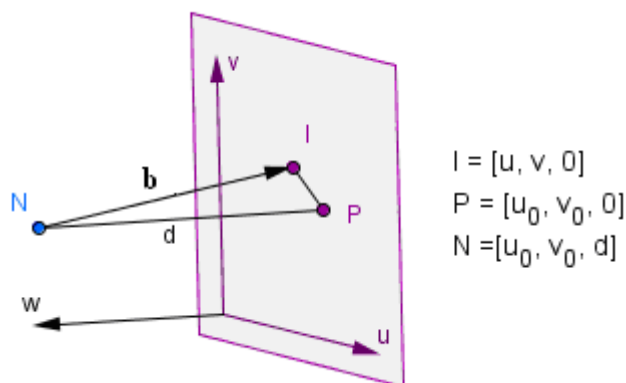


Es gibt nun einerseits den Objektraum (xyz - System) und andererseits die Bildebene (uv - System). $[x, y, z]$ sind die Weltkoordinaten von Punkt O und $[u, v]$ die Bildkoordinaten vom Bildpunkt I . Die Punkte I , N und O sind kollinear. Diese Kollineation bildet die Basis der DLT - Methode.



Die Koordinaten des Projektionszentrum N seien $[x_0, y_0, z_0]$. Der Vektor \mathbf{a} von N nach O hat somit die Koordinaten $[x-x_0, y-y_0, z-z_0]$.

Fügt man der Bildebene eine Achse W hinzu so erhält man einen dreidimensionalen Bildraum. Die W -Koordinate der Punkte im Bild ist immer 0 und die dreidimensionale Position von Punkt I ist $[u, v, 0]$.



Die Hauptachse sei nun jene Gerade, welche durch N parallel zu W und orthogonal auf die Bildebene verläuft. Der Schnittpunkt der Hauptachse mit der Bildebene sei der Hauptpunkt P . Die Distanz d zwischen P und N sei die Hauptdistanz. Die Koordinaten von P seien $[u_0, v_0, 0]$ und die Koordinaten von N im Bildraum $[u_0, v_0, d]$. Der Vektor \mathbf{b} von N nach I hat dann die Koordinaten $[u-u_0, v-v_0, -d]$.

Da O , I und N kollinear sind, liegen die Vektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} auf derselben Gerade. Das bedeutet $\mathbf{b} = c\mathbf{a}$. Weil sich die Vektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} sowohl im Bildraum als auch im Objektraum befinden, ist es notwendig sie in einem allgemeinen Raum zu beschreiben. $\mathbf{a}^{(B)}$ sei der Vektor \mathbf{a} im

Bildraum und $\mathbf{a}^{(0)}$ sei der Vektor \mathbf{a} im Objektraum. Mit Hilfe einer Transformationsmatrix $\mathbf{T}_{B/O}$ lässt sich der Zusammenhang herstellen.

$$\mathbf{T}_{B/O} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad \mathbf{a}^{(B)} = \mathbf{T}_{B/O} \mathbf{a}^{(0)}$$

Daraus folgt:

$$\begin{bmatrix} u - u_0 \\ v - v_0 \\ -d \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix}$$

Es ergeben sich also folgende drei Gleichungen:

$$\begin{aligned} I) \quad u - u_0 &= c[r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0)] \\ II) \quad v - v_0 &= c[r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0)] \\ III) \quad -d &= c[r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)] \end{aligned}$$

Aus III folgt:

$$c = \frac{-d}{[r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)]}$$

Setzen man das in I und II ein so ergibt sich:

$$\begin{aligned} u - u_0 &= -d \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)} \\ v - v_0 &= -d \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)} \end{aligned}$$

Zu beachten ist, dass u , v , u_0 und v_0 Bildkoordinaten in der Einheit der Objektebene (z.B. cm) sind. In der Praxis werden die Bildkoordinaten jedoch oft in einer anderen Einheit (z.B. Pixel) gemessen. $[\lambda_u, \lambda_v]$ seien die, nicht notwendigerweise identischen Umwandlungsfaktoren.

$$u - u_0 \Rightarrow \lambda_u (u - u_0) \quad v - v_0 \Rightarrow \lambda_v (v - v_0)$$

$$u - u_0 = \frac{-d}{\lambda_u} \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)}$$

$$v - v_0 = \frac{-d}{\lambda_v} \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)}$$

Dadurch sind die Einheiten von u , v , u_0 und v_0 nicht mehr relevant. Wandelt man die Gleichungen nach u und v um so erhält man:

$$u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}, \quad v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$

wobei

$$[d_u, d_v] \equiv \left[\frac{d}{\lambda_u}, \frac{d}{\lambda_v} \right] \quad D \equiv -(x_0 r_{31} + y_0 r_{32} + z_0 r_{33})$$

$$L_1 = \frac{u_0 r_{31} - d_u r_{11}}{D} \quad L_2 = \frac{u_0 r_{32} - d_u r_{12}}{D} \quad L_3 = \frac{u_0 r_{33} - d_u r_{13}}{D}$$

$$L_4 = \frac{(d_u r_{11} - u_0 r_{31})x_0 + (d_u r_{12} - u_0 r_{32})y_0 + (d_u r_{13} - u_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$L_5 = \frac{v_0 r_{31} - d_v r_{21}}{D} \quad L_6 = \frac{v_0 r_{32} - d_v r_{22}}{D} \quad L_7 = \frac{v_0 r_{33} - d_v r_{23}}{D}$$

$$L_8 = \frac{(d_v r_{21} - v_0 r_{31})x_0 + (d_v r_{22} - v_0 r_{32})y_0 + (d_v r_{23} - v_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$L_9 = \frac{r_{31}}{D} \quad L_{10} = \frac{r_{32}}{D} \quad L_{11} = \frac{r_{33}}{D}$$

Die Koeffizienten L_1 bis L_{11} sind die so genannten DLT-Parameter, die die Beziehung zwischen Objektraum und Bildraum wiedergeben.

Bei der **2-D Analyse** sind die z-Koordinaten immer 0 und die Abbildung vom Objektraum auf den Bildraum reduziert sich auf:

$$u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3}{L_9 x + L_8 y + 1}, \quad v = \frac{L_4 x + L_5 y + L_6}{L_9 x + L_8 y + 1}$$

Daraus folgt:

$$u = L_1 x + L_2 y + L_3 - u L_9 x - u L_8 y$$

$$v = L_4 x + L_5 y + L_6 - u L_9 x - u L_8 y$$

Für n Kontrollpunkte erhält man folgendes Gleichungssystem:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_1x_1 & -u_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -v_1x_1 & -v_1y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_nx_n & -u_ny_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_1 & 1 & -v_nx_n & -v_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \\ L_5 \\ L_6 \\ L_7 \\ L_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \end{bmatrix}$$

Die Objektebene muss hierbei nicht notwendigerweise parallel zur Bildebene sein. Die 2-D DLT Methode garantiert eine präzise Abbildung unabhängig von der Lage der Ebenen. Von den Kontrollpunkte dürfen nur keine drei kollinear sein.

3.3.1. Lösen von linearen Gleichungssystemen

Die Punkte $[x_n, y_n]$ und $[u_n, v_n]$ sind die Kontrollpunkte mit deren Hilfe die Parameter $[L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, L_7, L_8]^T := \mathbf{l}$ berechnet werden. \mathbf{A} sei die obige Matrix und \mathbf{r} sei der Vektor $[u_1, v_2, \dots, u_n, v_n]^T$. Aus dem DLT-Verfahren erhält man also die Matrix $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{2n \times 8}$ und den Vektor $\mathbf{b} \in \mathbb{R}^{2n}$, wobei n der Anzahl der Kontrollpunkte entspricht. Der Vektor $\mathbf{l} \in \mathbb{R}^8$ mit $\mathbf{A} * \mathbf{l} = \mathbf{r}$ wird gesucht.

Sind weniger als vier Kontrollpunkte gegeben so ist der Rang der Matrix \mathbf{A} kleiner als acht und es gibt keine eindeutige Lösung für das Gleichungssystem. Sind genau vier Kontrollpunkte gegeben so ist das lineare Gleichungssystem eindeutig lösbar. Sind jedoch mehr als vier Kontrollpunkte gegeben so ist das Gleichungssystem überbestimmt und es muss zu einem linearen Ausgleichsproblem übergegangen werden.

3.3.1.1. Das lineare Ausgleichsproblem (in Anlehnung an R. Frank & G. Schranz-Kirlinger [FSK])

Durch Ungenauigkeiten (z.B. durch Messfehler und Rundungsfehler) kann es dazu kommen, dass das lineare Gleichungssystem $\mathbf{A} * \mathbf{l} = \mathbf{r}$ widersprüchlich ist. Das heißt $2n$ ist größer als der Rang von \mathbf{A} und \mathbf{b} ist nicht im Bild von \mathbf{A} . $\Rightarrow \boxed{2n > 8} \Rightarrow \boxed{n > 4}$

Da das System nicht lösbar ist wird jenes \mathbf{l} gesucht, das die Gleichung so gut wie möglich erfüllt.

Es wird also folgende Forderung gestellt:

$$\|\mathbf{A} * \mathbf{l} - \mathbf{r}\|_2 \text{ soll minimal sein}$$

MATLAB kann nach Feststellung von Typ und Struktur des linearen Gleichungssystems ein passendes Softwareprodukt auswählen und auf das gegebene Problem anwenden. In MATLAB kann beispielsweise auf direkte Verfahren des Softwareprodukts LAPACK zugegriffen werden um lineare Ausgleichsprobleme zu lösen.

3.3.1.2. LAPACK (siehe C. Überhuber & S. Katzenbeisser [ÜKA] S.177)

„LAPACK wurde entwickelt, um lineare Gleichungssysteme, lineare Ausgleichsprobleme und Eigenwertprobleme zu lösen, sowie Faktorisierung von Matrizen, Singulärwerten und Konditionsabschätzungen durchzuführen.“

„LAPACK (Linear Algebra Package) ist ein frei verfügbares (public domain) Softwarepaket von Fortran 77 – Unterprogrammen, mit deren Hilfe man viele Standardprobleme der linearen Algebra numerisch lösen kann.“

Um das lineare Gleichungssystem $\mathbf{A} * \mathbf{l} = \mathbf{r}$ zu lösen genügt in MATLAB der Befehl $\mathbf{l} = \mathbf{A} \backslash \mathbf{b}$ (MATLAB unterscheidet bei Matrizen zwischen einer Division „von rechts“ => „/“ und einer „von links“ => „\“). Dadurch wird das der Matrix \mathbf{A} am besten entsprechende LAPACK – Programm verwendet.

3.3.2. Berechnung der DLT-Parameter in MATLAB

Zur Ermittlung der Parameter dient das Programm „dlt_parameter“. Da die Kalibrierung auch mit mehr als vier Referenzpunkten vorgenommen werden kann, muss erst die Anzahl der Punkte angegeben werden. Danach sind die Koordinaten dieser Punkte in der Objektebene und in der Bildebene anzugeben. Mit Hilfe dieser Koordinaten werden die entsprechende Koeffizientenmatrix \mathbf{A} und der Lösungsvektor \mathbf{r} angelegt. Durch den Befehl $\mathbf{l} = \mathbf{A} \backslash \mathbf{r}$ wird jener Vektor \mathbf{l} gesucht, welcher das Gleichungssystem $\mathbf{A} * \mathbf{l} = \mathbf{r}$ bestmöglich löst und die Parameter \mathbf{l} werden ausgegeben.

3.4. Umrechnung der Bildkoordinaten in Weltkoordinaten

Mit den DLT-Parametern \mathbf{l} können die Bildkoordinaten nun in Weltkoordinaten umgerechnet werden. Aus der DLT- Methode resultierten folgende Gleichungen:

$$u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}, \quad v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$

Löst man die erste Gleichung nach x auf, so erhält man:

$$x = \frac{-u - uL_8y + L_2y + L_3}{-uL_7 + L_1}$$

In die zweite Gleichung eingesetzt erhält man:

$$y = \frac{vL_7 - vL_1 + L_4u - L_4L_3 - L_6uL_7 + L_6L_1 - u^2L_7 + uL_7L_3}{L_4uL_8 - L_4L_2 - L_5uL_7 + L_5L_1 + uL_7L_2 - uL_8L_1}$$

Daraus folgt für die erste Gleichung:

$$x = \frac{-vL_2 + vL_8 + L_5u - L^5L_3 + L_6L_2 - L_6uL_8 - u^2L_8 + uL_8L_3}{L_4uL_8 - L_4L_2 - L_5uL_7 + L_5L_1 + uL_7L_2 - uL_8L_1}$$

Mit den letzten beiden Gleichungen können nun die Weltkoordinaten berechnet werden.

3.4.1. Umrechnung in MATLAB

Um den Ausgabecell des Programms „umrechnung.m“ weiter verwenden zu können muss die Ausgabe beim Aufrufen des Programms benannt werden. Zur korrekten Beschriftung muss außerdem der Name der neuen Einheit festgelegt werden.

Mit Hilfe der Bildkoordinaten und den beiden Formeln, die sich aus der DLT-Methode ergeben werden die Weltkoordinaten ermittelt.

4. Berechnung des Körperschwerpunkts

4.1 Grundlegendes zur Berechnung des Körperschwerpunkts (in Anlehnung an M. Heller [HEL])

Die Lage des Körperschwerpunkts (KSP) ist Grundlage für eine Vielzahl von Fragestellungen biomechanischer Untersuchungen. Durch den Körperschwerpunkt wird die Bewegung des Gesamtsystems dargestellt und es wird davon ausgegangen, dass man sich die Gesamtmasse des Körpers in diesem Punkt vereinigt denken kann.

Das bedeutet, dass alle äußeren Kräfte (einschließlich der Schwerkraft) auf den Körper bezüglich der Translation wirken als würden sie am Schwerpunkt ansetzen. Auch in Bezug auf die Drehmomente spielt der Schwerpunkt eine wichtige Rolle. Denn die Drehmomente sind durch den (äußeren) Kraftvektor und die Lage des Körperschwerpunkts festgelegt.

Ebenfalls von großer Bedeutung ist der Körperschwerpunkt bei Flugbewegungen. Wird der Luftwiderstand vernachlässigt, so beschreibt der Körperschwerpunkt in allen Flugphasen eine Parabel und Drehungen während der Flugphasen können nur um Achsen erfolgen, die durch den Schwerpunkt verlaufen.

4.2 Methode zur Bestimmung der Lage des KSP (in Anlehnung an M. Heller [HEL])

Der Körperschwerpunkt ist ein konstruierter, theoretischer Punkt, der auch außerhalb des Körpers liegen kann. Zur Berechnung des KSP wird der Körper in mehrere Teile zerlegt. Diese Teile werden Teilkörper genannt. Die Lage des Körperschwerpunkts ist abhängig von der Lage dieser Teilkörper.

Zur Berechnung des Körperschwerpunktes werden nun zwei Voraussetzungen getroffen:

- 1) Die Massen der einzelnen Körpersegmente stehen in einem bestimmten Verhältnis zur Gesamtmasse. Diese Voraussetzung impliziert eine notwendige interindividuelle „Gleichmachung“ (Problem bei sehr unterschiedlichem Körperbau).
- 2) Die Schwerpunkte der einzelnen Körpersegmente liegen auf den Verbindungsachsen der (gemessenen) Gelenkpunkte und die Lage der Teilkörperschwerpunkte steht in einem bestimmten Verhältnis zur Länge der Verbindungslinien zwischen den Gelenkpunkten.

Die relative Lage und die relativen Massenanteile der Teilkörperschwerpunkte sind aus „*Dempster's Body Segment Parameter Data for 2-D Studies*“ entnommen.

Dempster's Body Segment Parameter Data for 2-D Studies¹

Segment name	Endpoints (proximal to distal)	Seg. mass /total mass (P)	Centre of mass /segment length		Radius of gyration /segment length		
			($R_{proximal}$)	(R_{distal})	(K_{CG})	($K_{proximal}$)	(K_{distal})
Hand	wrist axis to knuckle II third finger	0.0060	0.506	0.494	0.297	0.587	0.577
Forearm	elbow axis to ulnar styloid	0.0160	0.430	0.570	0.303	0.526	0.647
Upper arm	glenohumeral joint to elbow axis	0.0280	0.436	0.564	0.322	0.542	0.645
Forearm & hand	elbow axis to ulnar styloid	0.0220	0.682	0.318	0.468	0.827	0.565
Upper extremity	glenohumeral joint to elbow axis	0.0500	0.530	0.470	0.368	0.645	0.596
Foot	lateral malleolus to head metatarsal II	0.0145	0.500	0.500	0.475	0.690	0.690
Leg	femoral condyles to medial malleolus	0.0465	0.433	0.567	0.302	0.528	0.643
Thigh	greater trochanter to femoral condyles	0.1000	0.433	0.567	0.323	0.540	0.653
Leg & foot	femoral condyles to medial malleolus	0.0610	0.606	0.394	0.416	0.735	0.572
Lower extremity	greater trochanter to medial malleolus	0.1610	0.447	0.553	0.326	0.560	0.650
Head	C7-T1 to ear canal	0.0810	1.000	0.000	0.495	1.116	0.495
Shoulder	sternoclavicular joint to glenohumeral joint	0.0158	0.712	0.288			
Thorax	C7-T1 to T12-L1	0.2160	0.820	0.180			
Abdomen	T12-L1 to L4-L5	0.1390	0.440	0.560			
Pelvis	L4-L5 to trochanter	0.1420	0.105	0.895			
Thorax & abdomen	C7-T1 to L4-L5	0.3550	0.630	0.370			
Abdomen & pelvis	T12-L1 to greater trochanter	0.2810	0.270	0.730			
Trunk	greater trochanter to glenohumeral joint	0.4970	0.495	0.505	0.406	0.640	0.648
Trunk & head	greater trochanter to glenohumeral joint	0.5780	0.660	0.340	0.503	0.830	0.607
Head, arms & trunk	greater trochanter to glenohumeral joint	0.6780	0.626	0.374	0.496	0.798	0.621
Head, arms & trunk	greater trochanter to midrib	0.6780	1.142	-0.142	0.903	1.456	0.914

¹ From D.A. Winter, Biomechanics and Motor Control of Human Movement, Second edition. John Wiley & Sons, Inc., Toronto, 1990.

4.3 Zerlegung des Körpers in Teilkörper

Der menschliche Körper soll nun im Folgenden in sechs Teilkörper (Oberarme; Unterarme und Hände; Oberschenkel; Unterschenkel und Füße; Kopf; Rumpf) zerlegt werden. Da als Endpunkte der Teilkörper nur die vorhandenen Gelenkpunkte verwendet werden, sind die Massenanteile und Massezentren mit Ungenauigkeiten behaftet. Die Massezentren der Teilkörper sind durch ihren prozentual gesehenem Abstand zum proximalen (dem Rumpf näherem) Gelenk (erster Endpunkt) gegeben.

Teilkörper	Endpunkte	Massenanteil	Massezentrum
Oberarm	Schultergelenk - Ellenbogenaxe	2*2,8%	43,60%
Unterarm und Hand	Ellenbogenaxe - Handgelenk	2*2,2%	68,20%
Oberschenkel	Hüftgelenk - Knie	2*10%	43,30%
Unterschenkel und Fuß	Knie - Fußgelenk	2*6,1%	60,60%
Kopf	Schultern - Schläfe	8,10%	100,00%
Rumpf	Hüftgelenk - Schultergelenk	49,70%	49,50%
Körper		100,00%	

4.4 Zusammenfassen zweier Schwerpunkte

Um den Schwerpunkt zwischen zwei unterschiedlichen Massenpunkten zu ermitteln muss jener Punkt gesucht werden welcher das Hebelgesetz erfüllt. Das bedeutet, das Produkt von Masse und Distanz zum Schwerpunkt der beiden Punkte muss gleich sein. Es muss also $m_1 \cdot d_1 = m_2 \cdot d_2$ gelten. Wobei m_1 (m_2) die Masse des ersten (zweiten) Punktes P_1 (P_2) ist und d_1 (d_2) die Distanz vom ersten (zweiten) Punkt zum gesuchten Punkt S ist.

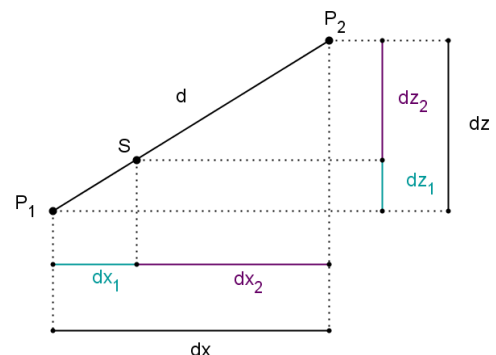
Daraus folgt:

$$\boxed{dx_1 + dx_2 = dx} \quad \text{und} \quad \boxed{dz_1 + dz_2 = dz}$$

$$\boxed{m_1 dx_1 = m_2 dx_2} \quad \text{und} \quad \boxed{m_1 dz_1 = m_2 dz_2}$$

Und weiters:

$$\boxed{dx_1 = \frac{m_2 dx}{m_1 + m_2}} \quad \text{und} \quad \boxed{dz_1 = \frac{m_2 dz}{m_1 + m_2}}$$



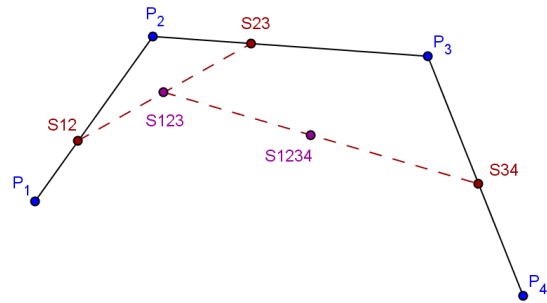
Mit Hilfe dieser Gleichungen kann der Schwerpunkt zweier Massenpunkte ermittelt werden.

4.5 Berechnung des Körperschwerpunkts

Die Lage des Körperschwerpunktes kann nun in endlich vielen Schritten ermittelt werden. Indem man zwei Teilkörperschwerpunkte zu einem zusammenfasst erhält man einen neuen Schwerpunkt. Die Lage des neuen Schwerpunkts ergibt sich aus der Lage und den

Massenanteilen der (alten) Teilkörperschwerpunkte. Den Massenanteil des neuen Schwerpunkts erhält man indem man die beiden Massenanteile der (alten) Teilkörperschwerpunkte addiert.

Die Anzahl der Schwerpunkte wurde so um eins reduziert. Wiederholt man das Verfahren öfters so bleibt schlussendlich nur ein Schwerpunkt über. Dieser Schwerpunkt, der alle Teilkörperschwerpunkte beinhaltet, ist der Gesamtkörperschwerpunkt.



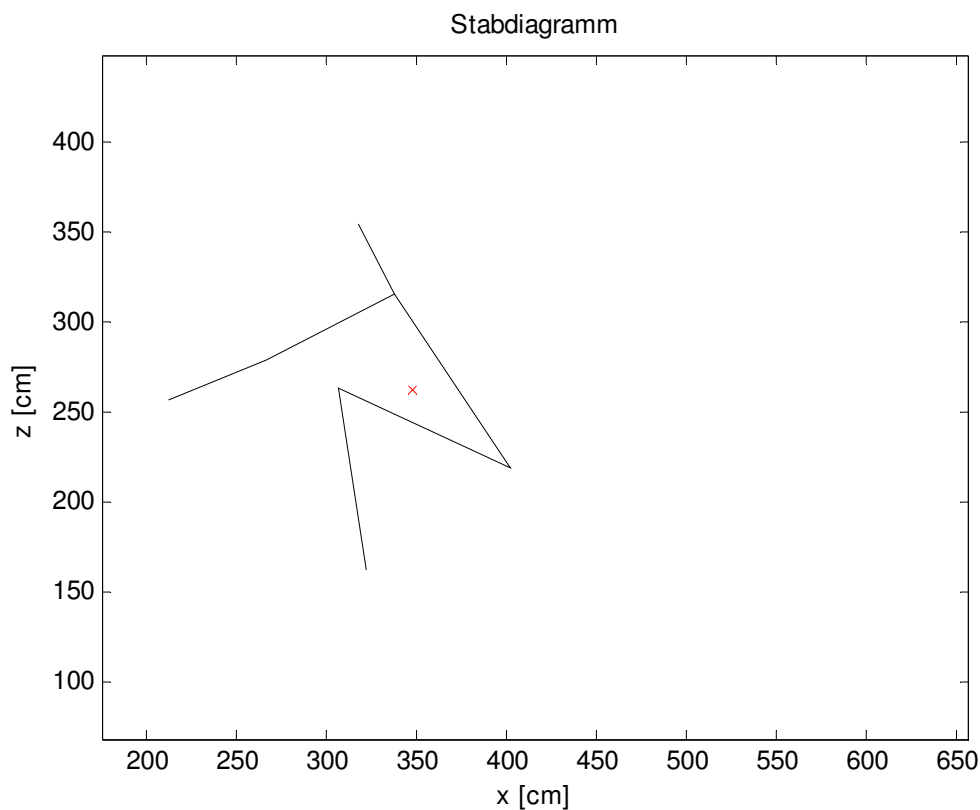
5. Nachstellung der Bewegung

5.1 Animation

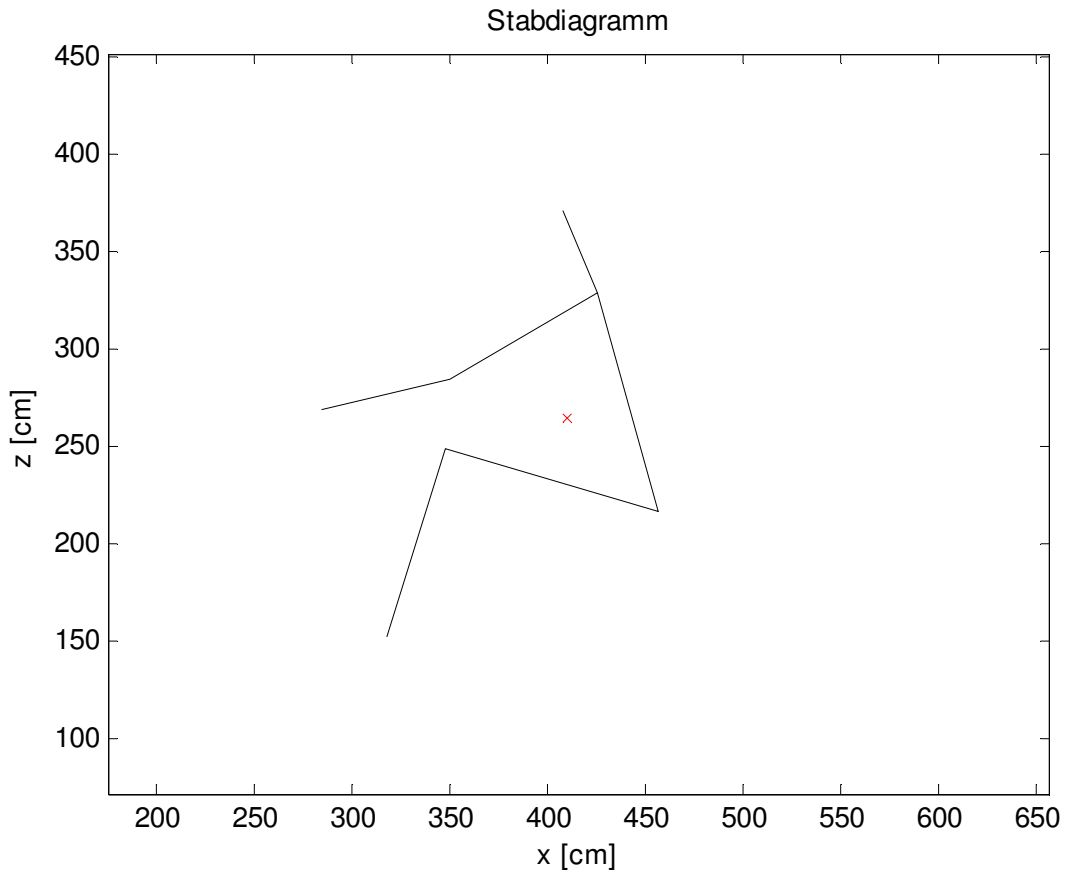
Mit Hilfe der um den Körperschwerpunkt erweiterten Koordinaten kann nun eine Animation erstellt werden. Die Bewegung soll nachgestellt werden, indem benachbarte Gelenkpunkte mit Linien verbunden werden. Die Verbindung der Messpunkte erfolgt jedoch nur dann sinnvoll, wenn die Reihenfolge der Punkte aus der Datei daten.xls übernommen wurde. Ansonsten werden nicht zusammenpassende Punkte verbunden.

Zur Darstellung des „Strichmännchens“ ergeben sich also zwei Streckenzüge. Der erste Streckenzug verbindet Sprunggelenk, Kniegelenk, Hüftgelenk, Schultergelenk, Ellbogengelenk und Handgelenk und der zweite Streckenzug stellt die Verbindung zwischen dem Schultergelenk und dem Kopf dar. Zusätzlich zu diesem „Strichmännchen“ wird auch der Schwerpunkt mit einem x visualisiert. Um die Bewegung besser analysieren zu können, wird auch ein Koordinatensystem angezeigt.

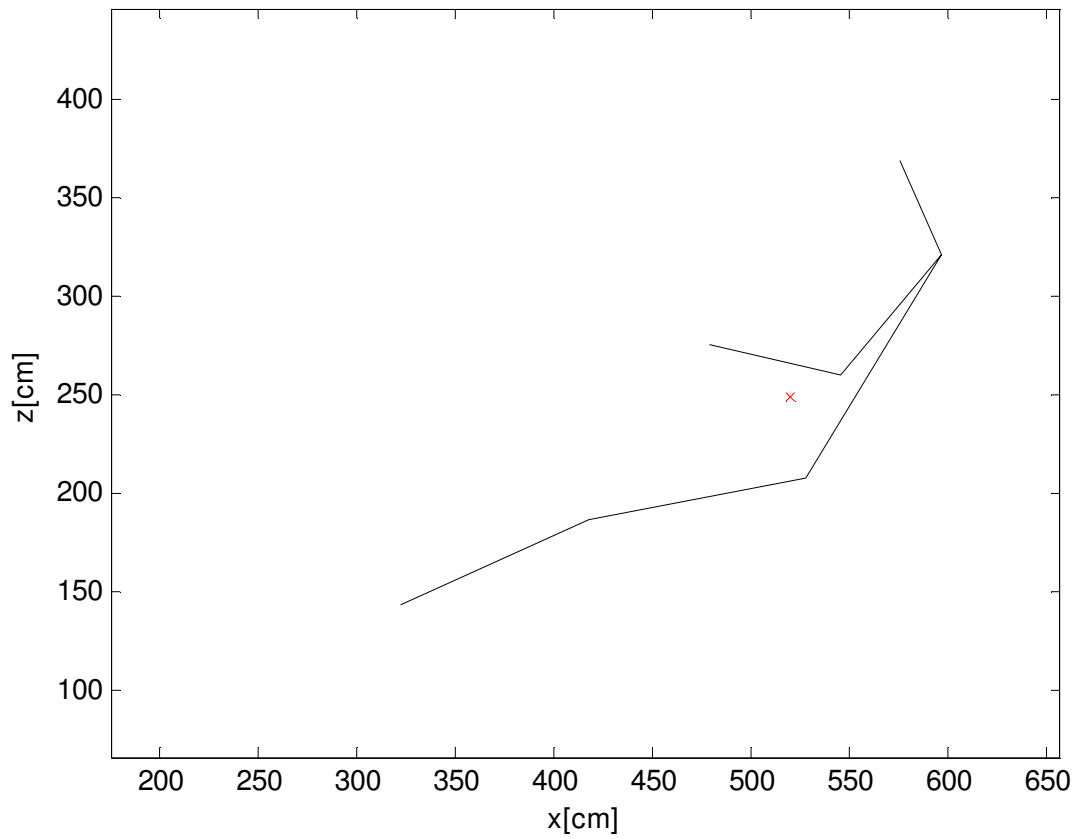
Indem die Bilder der verschiedenen Zeitpunkte aneinander gefügt werden erhält man einen Film. Um diese Animation mit der entsprechenden Geschwindigkeit abzuspielen muss der User noch die Anzahl der Bilder pro Sekunde angeben. Schlussendlich wird die Animation exportiert und als avi-Datei abgespeichert.



(Ausgabe eines Plotts)



(Ausgabe eines Plotts)

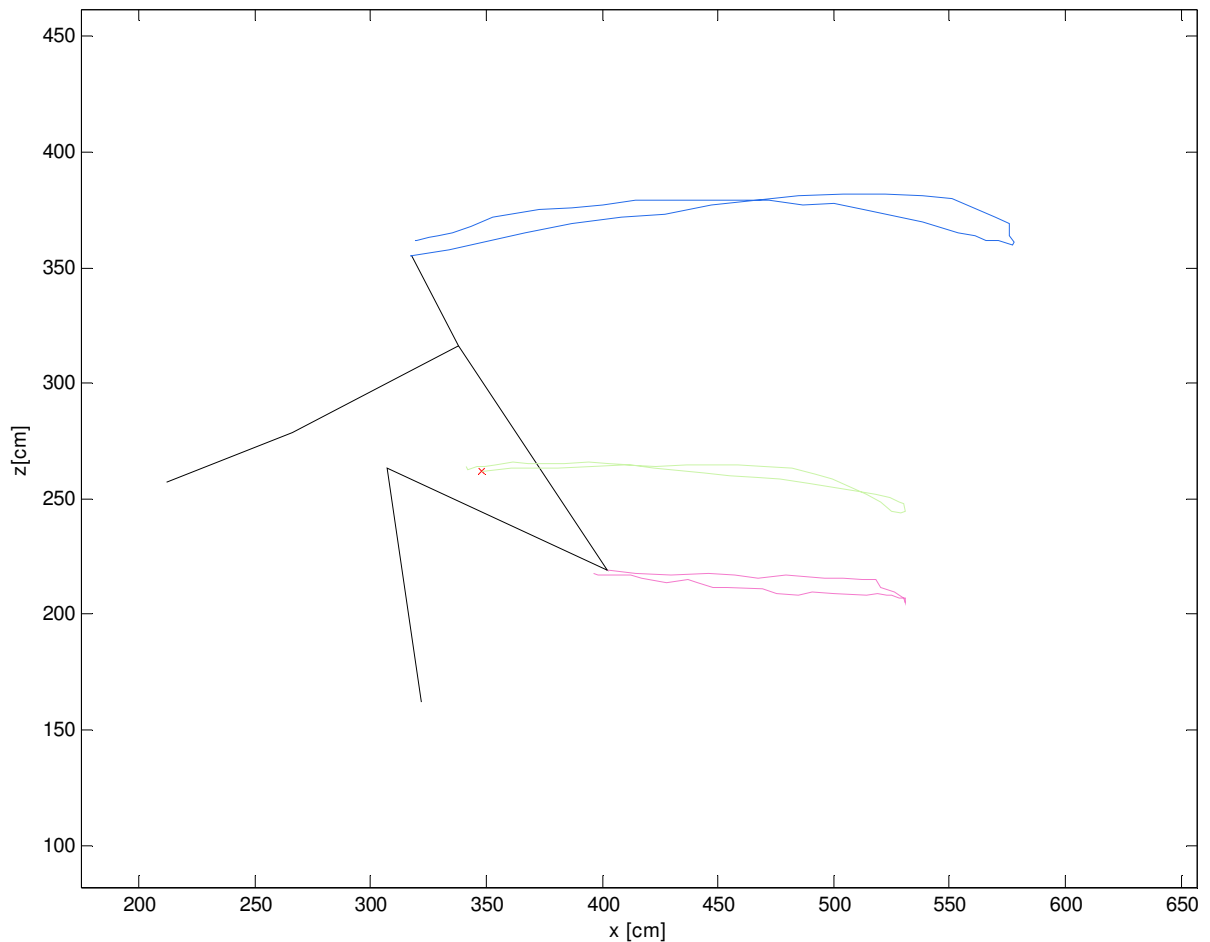


(Ausgabe eines Plotts)

5.2 Phasendiagramm

Im Folgenden soll der Bewegungsverlauf einzelner Punkte dargestellt werden. Zur besseren Orientierung kann das „Strichmännchen“ in der Startposition eingezeichnet werden. Auch hier erfolgt die Verbindung der Messpunkte nur dann sinnvoll, wenn die Reihenfolge der Punkte aus der Datei daten.xls übernommen wurde.

Das Programm zeichnet nun das „Strichmännchen“ (falls verlangt) und den/die verlangten Gelenkpunkt/e jedes Messzeitpunktes in dasselbe Grafikfenster. Dieses Fenster darf während der Plotphase nicht geschlossen werden, da sonst nicht alle Daten in das selbe Fenster gezeichnet würden. Nachdem alle Informationen in das Grafikfenster eingetragen wurden, wird der Plot als Bilddatei (bmp, epsc, jpeg, pdf, png oder tiff) abgespeichert.



(Ausgabe eines Plotts)

6. Berechnung von Gelenkwinkeln

Zur Analyse der Bewegung sollen die Winkel in den Gelenkpunkten berechnet werden. Diese Winkel entstehen im Modell durch die Verbindung des Gelenkpunktes mit seinen benachbarten Punkten. Zur Erleichterung der Eingabe wird jedem Messpunkt eine Nummer zugewiesen. Mit Hilfe dieser Nummern soll der User jene Tripel eingeben, von denen er die Winkel errechnen möchte. Zu beachten ist hierbei, dass die Punkte in der richtigen Reihenfolge eingegeben werden. Der zweite Punkt jedes Tripels muss der Scheitelpunkt sein und die anderen beiden Punkte müssen die benachbarten Gelenkpunkte, gegen den Uhrzeigersinn nummeriert, sein. Es soll also im mathematisch positiven Sinn gemessen werden.

6.1 Betrag des Winkels

Verbindet man alle drei Punkte so erhält man ein Dreieck wobei:

$$\overline{SNB1} := b \quad \overline{SNB2} := c$$

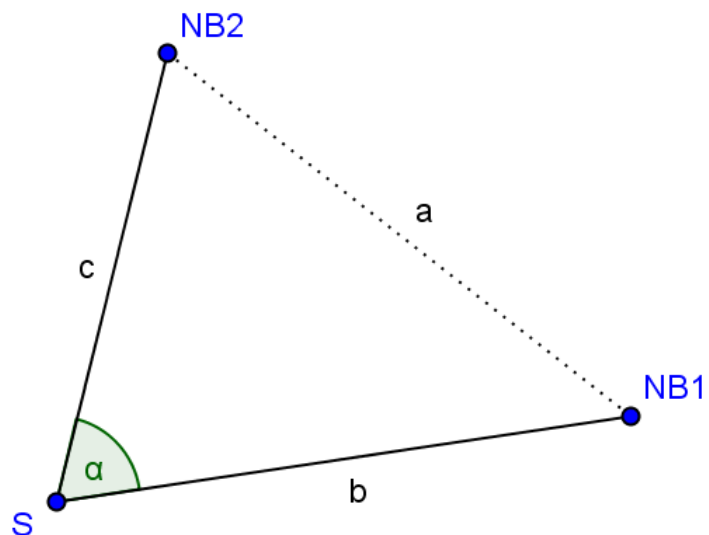
$$\overline{NB1NB2} := a$$

Aus dem Kosinussatz

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha$$

ergibt sich:

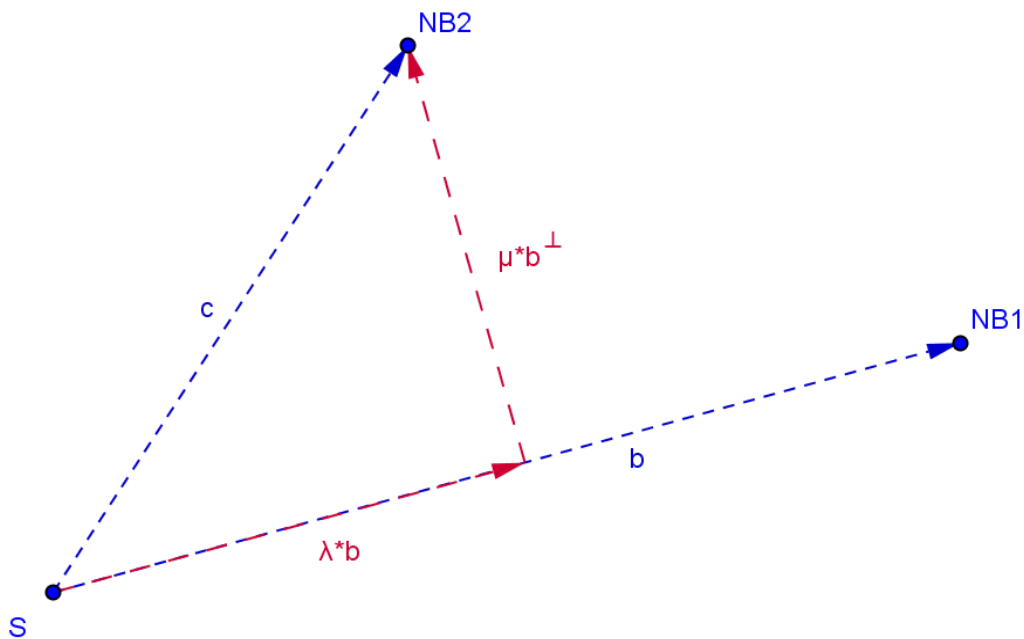
$$\alpha = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right)$$



Der Winkel Alpha nimmt hierbei Werte von 0° bis 180° an. Soll jedoch die Drehrichtung beachtet werden so müssen auch größere Winkel (bis 360°) zur Wertemenge zählen. Das bedeutet es muss festgestellt werden ob der Punkt NB2 rechts oder links von der Gerade b (Blickrichtung von S nach NB1) liegt.

6.2 Bestimmung auf welcher Seite einer gerichteten Gerade ein Punkt liegt

Zur Bestimmung ob NB2 rechts oder links von b (Blickrichtung von S nach NB1) liegt wird zu Vektorrechnung übergegangen. Der Vektor von S nach NB1 sei \mathbf{b} , der von S nach NB2 sei \mathbf{c} und der Normalvektor auf \mathbf{b} sei \mathbf{b}^\perp .



Der Vektor \mathbf{c} lässt sich also aus \mathbf{b} und \mathbf{b}^\perp linear kombinieren:

$$\mathbf{c} = \lambda * \mathbf{b} + \mu \mathbf{b}^\perp$$

Multipliziert man beide Seiten mit \mathbf{b}^\perp so erhält man:

$$\mathbf{c} * \mathbf{b}^\perp = \lambda * \mathbf{b} * \mathbf{b}^\perp + \mu (\mathbf{b}^\perp)^2$$

Aus $\mathbf{b} * \mathbf{b}^\perp = 0$ und $(\mathbf{b}^\perp)^2 := \epsilon (> 0)$ folgt:

$$\mathbf{c} * \mathbf{b}^\perp = \mu * \epsilon$$

Das bedeutet:

$$\begin{pmatrix} x_{NB2} - x_S \\ z_{NB2} - z_S \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -(z_{NB1} - z_S) \\ x_{NB1} - x_S \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} x_{NB1} - x_S & x_{NB2} - x_S \\ z_{NB1} - z_S & z_{NB2} - z_S \end{vmatrix} = \mu * \epsilon$$

NB2 ist links von \mathbf{b} wenn $\mu > 0 \Rightarrow$ die Determinante ist positiv (da $\epsilon > 0$)

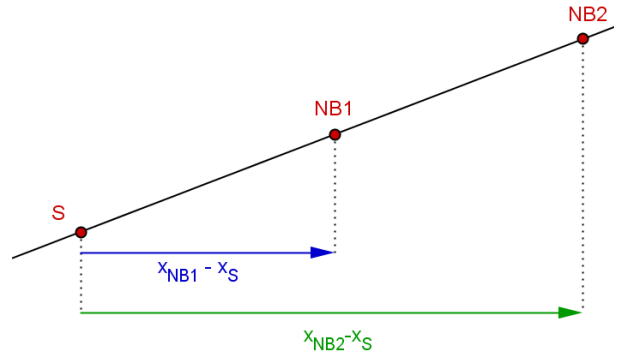
NB2 ist rechts von \mathbf{b} wenn $\mu < 0 \Rightarrow$ die Determinante ist negativ (da $\epsilon > 0$)

Ist die also die Determinante positiv, so befindet sich der Punkt links von der Gerade und der Winkel entspricht dem mittels Kosinussatz errechnetem Winkel.

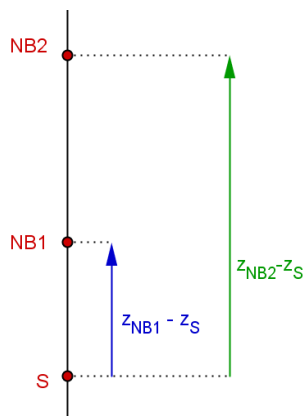
Ist die Determinante negativ, so befindet sich der Punkt rechts von der Gerade und der mittels Kosinussatz errechnete Winkel ist eigentlich negativ. Das bedeutet der Winkel muss zwischen 180° und 360° liegen. Dieser größere Winkel ergibt sich indem man von 360° vom ursprünglichen Winkel subtrahiert.

6.3 Sonderfälle: 0° und 180°

Ist obige Determinante 0, so befindet sich der Punkt auf der Gerade und der Winkel ist 0° oder 180°. Es muss also geprüft werden ob sich NB2 und NB1 auf derselben Seite von S befinden oder nicht. Die beiden Punkte sind auf derselben Seite, wenn x_{NB1-x_S} und x_{NB2-x_S} dasselbe Vorzeichen haben. Ist das Produkt $(x_{NB1-x_S}) \cdot (x_{NB2-x_S})$ positiv so befinden sich die Punkte also auf derselben Seite und der Winkel beträgt 0°. Ist das Produkt negativ, so befinden sich die Punkte nicht auf derselben Seite und der Winkel beträgt 180°.



Ist das Produkt null, so muss einer der beiden Faktoren null sein. Ist ein Faktor null und der andere nicht, so ist S identisch mit mindestens einem seiner Nachbarpunkte und es existiert



kein Winkel. Sind beide Faktoren null, so kann es sein, dass die Gerade parallel zur z-Achse ist. Es gilt analog, dass die beiden Punkte auf derselben Seite sind (0°), wenn z_{NB1-z_S} und z_{NB2-z_S} dasselbe Vorzeichen haben, also das Produkt der beiden Terme positiv ist. Ist das Produkt negativ, so haben die Terme unterschiedliche Vorzeichen und die Punkte liegen nicht auf derselben Seite (180°). Ist das Produkt wieder null, so muss S mit mindestens einem der beiden anderen Punkte identisch sein

und es existiert kein Winkel.

Nachdem nun alle möglichen Fälle berücksichtigt worden sind, muss der User die Punkte nur noch in der richtigen Reihenfolge eingeben.

6.4 Reihenfolge der Eingabe der Punkte

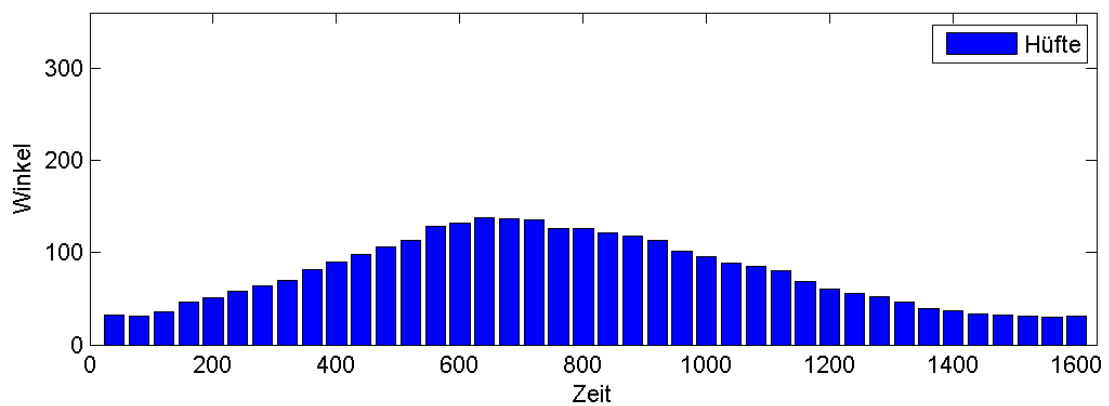
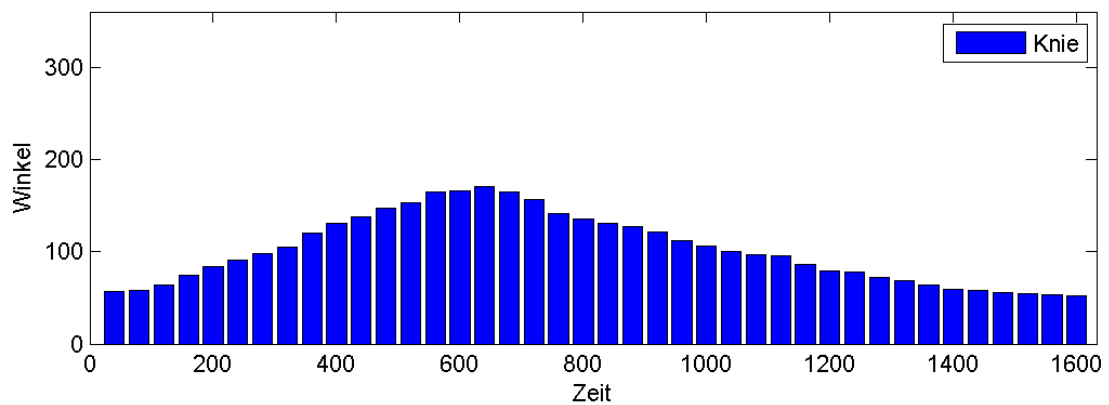
Die Punkte müssen im Uhrzeigersinn eingegeben werden. In der folgenden Abbildung ist dargestellt, welcher Unterschied durch umgedrehte Reihenfolge entsteht.



Je nachdem welchen der beiden Winkel α und α' berechnet werden soll, muss die Reihenfolge überlegt werden.

6.5 Ausgabe des Programms

Nachdem alle Winkel vollständig berechnet wurden, werden die Daten in einer neuen Matrix (cell) gespeichert und die Winkel werden mittels Balkendiagramm(en) dargestellt und als Bilddatei gespeichert.



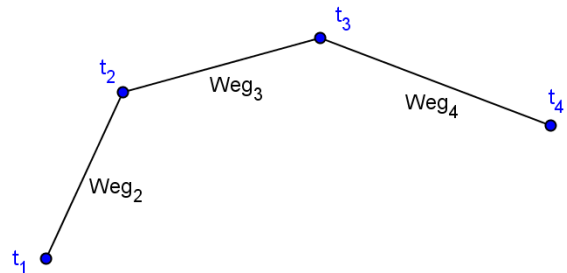
(Winkel.bmp)

7. Berechnung Wegsummen und Distanzen

Die Koordinaten sollen nun auch in Wege und Distanzen umgerechnet werden. Zum einen sollen die Wege zwischen den einzelnen Bildern aufsummiert werden. Und zum anderen soll die Distanz, zwischen jedem Bild und dem ersten Bild errechnet werden. Dadurch kann ein Vergleich zwischen dem zurückgelegten Weg und der effektiven Distanz hergestellt werden.

7.1 Wegsummen

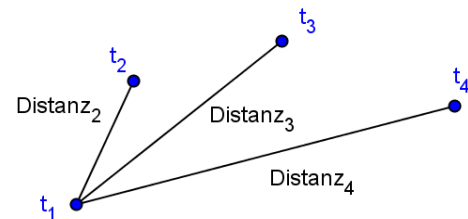
In der Zeit von einem Bild zum nächsten legen die Punkte Strecken zurück. Um diese Wege zu berechnen muss erst die Differenz der x- bzw. y-Werte zwischen den Bildern ermittelt werden. Der



Weg, der bis zum ersten Bild zurückgelegt wurde, sei null und die restlichen Wege können mit Hilfe des pythagoreischen Lehrsatzes und den x- und y-Differenzen berechnet und danach aufsummiert werden.

7.2 Distanzen

Die Distanz soll die Strecke zwischen einem Bild und dem ersten Bild angeben. Die Distanz im ersten Bild ist daher null und die restlichen Distanzen können wieder über die x- und y-Differenzen und den pythagoreischen Lehrsatz ermittelt werden.

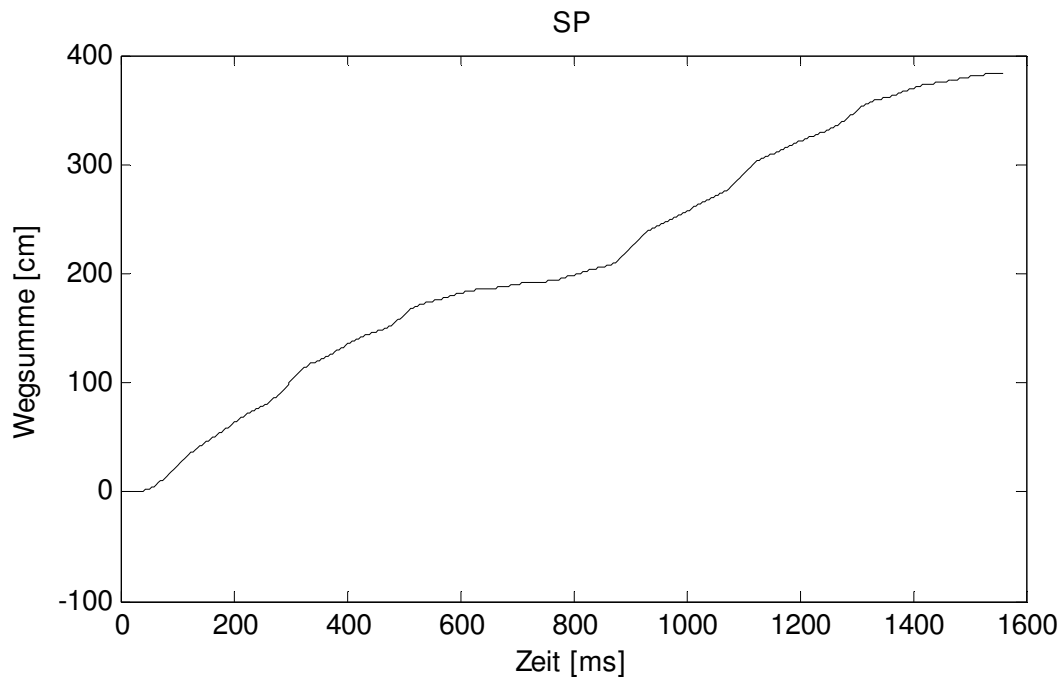


Durch Eingabe des Befehles `[weg, dist]=pythagoras(koordinaten)` können die Wege und Distanzen in MATLAB berechnet werden.

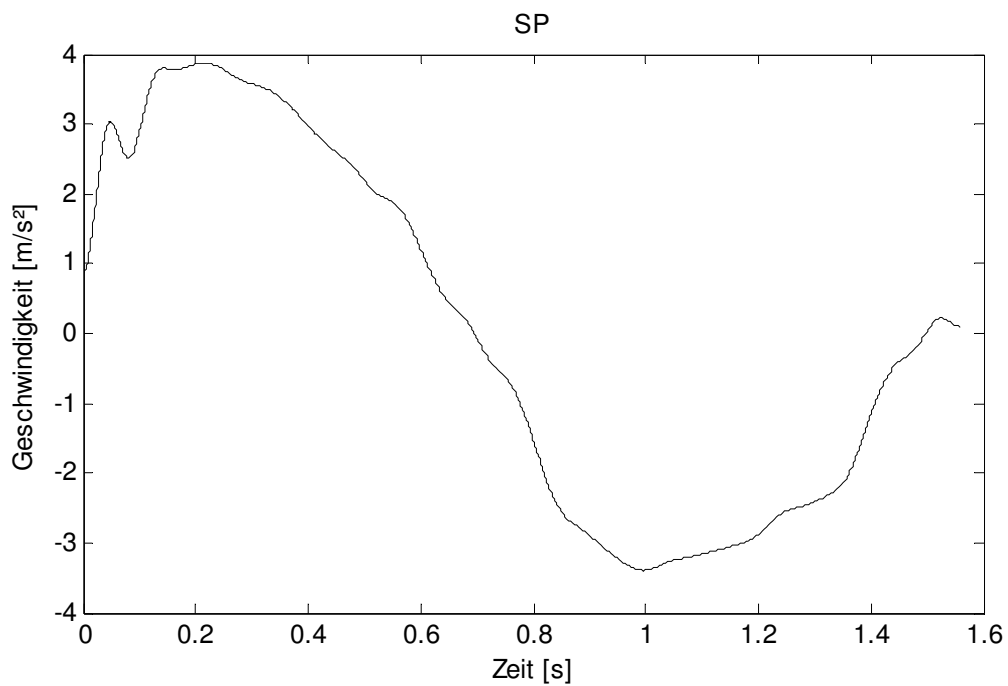
8. Glätten von Graphen

8.1 Unglattheiten aufgrund von Messungenauigkeiten

Aufgrund von Messfehlern ist die stückweise gegebene Funktion nicht sehr glatt. Das bedeutet die Steigung kann sich von einem Punkt zum nächsten stark ändern.



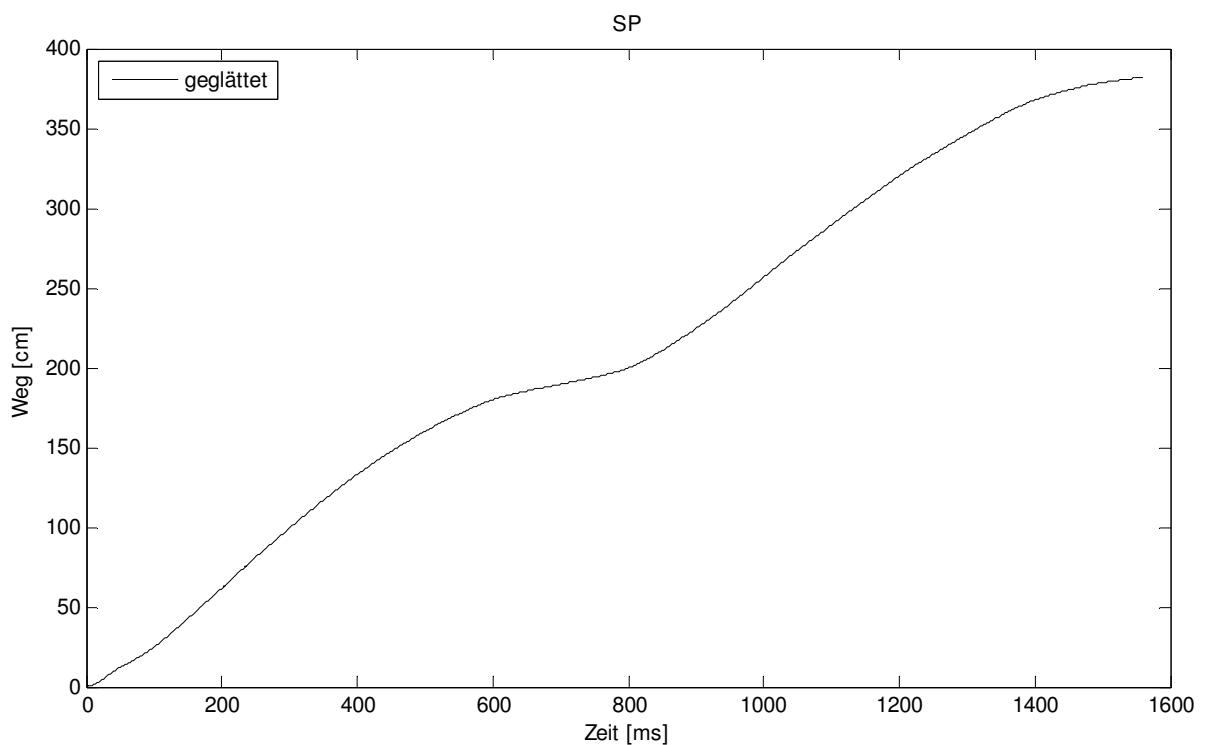
Diese Messfehler können selbst nach vorheriger Glättung in der Ableitung wieder „Unglattheiten“ verursachen.



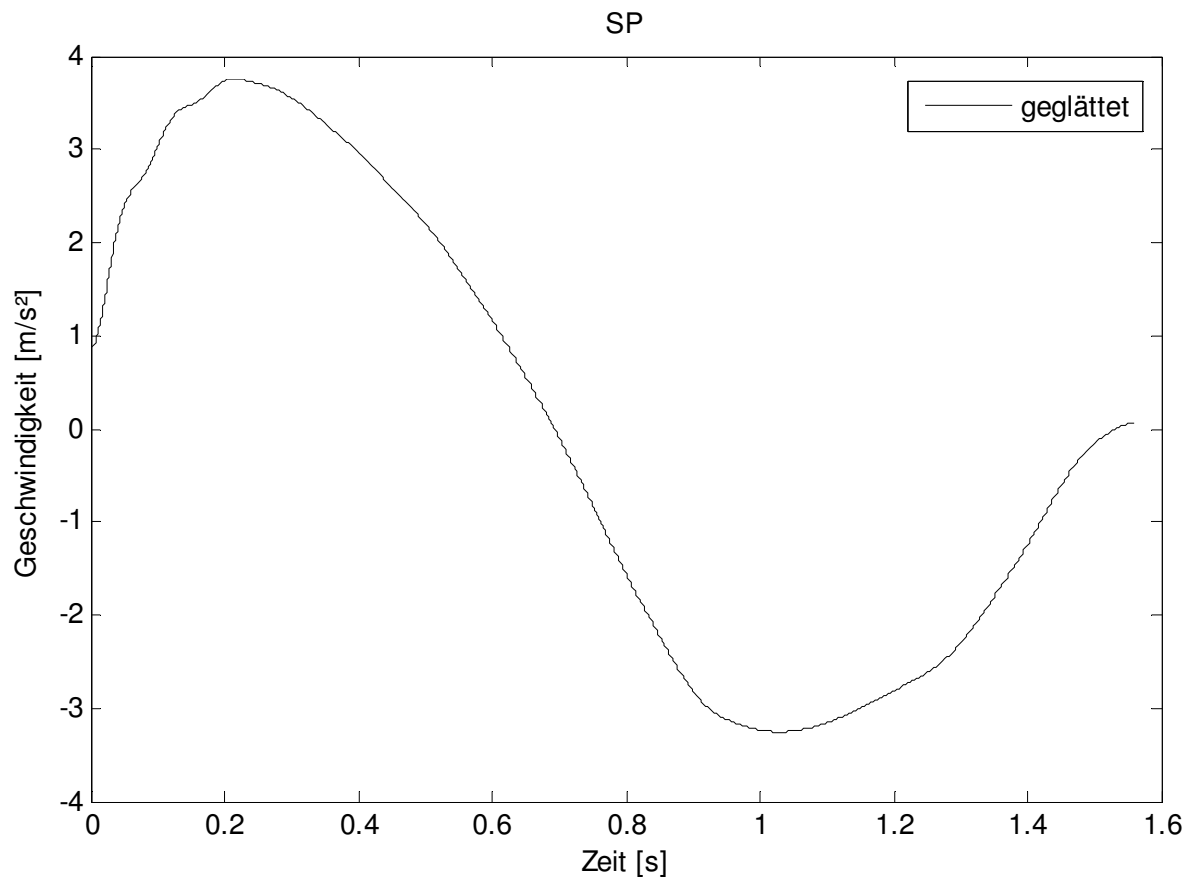
Würde man eine „unglatte“ Funktion numerisch differenzieren, so ergäben sich starke Schwankungen in den Ableitung. Um dies zu verhindern muss die Funktion erst geglättet werden.

8.2 Glättung mittels Mittelwertbildung

Die Glättung erfolgt durch Bildung von Mittelwerten. Hat ein Messpunkt zwei Vorgänger und zwei Nachfolger, so wird das arithmetische Mittel aus dem Punkt und diesen vier Nachbarn gebildet. Da die ersten und die letzten beiden Messpunkte nicht genügend Nachbarn besitzen, müssen diese Punkte extra berechnet werden. Weil der Weg im ersten Punkt Null sein soll wird dieser Punkt übernommen. Um für den zweiten (bzw. vorletzten) Punkt auf vier Nachbarnpunkte zu kommen, wird hier der erste (bzw. letzte) Punkt doppelt gezählt. Der letzte Punkt sei das arithmetische Mittel des vorvorletzten, des vorletzten und drei Mal des letzten Punktes.



Nach demselben Schema können natürlich auch die Distanz, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen geglättet werden.



9. Numerische Differentiation und Splines

Leitet man den Weg nach der Zeit ab, so erhält man die Geschwindigkeit und mit der zweiten Ableitung die Beschleunigung. Da die Weg-Zeit-Funktion jedoch nur punktweise gegeben ist; kann sie nur näherungsweise abgeleitet werden.

9.1 Zentraler Differenzenquotient

Kennt man den Vorgänger $f(x+h)$ und den Nachfolger $f(x-h)$ von $f(x)$ so kann man den zentralen Differenzenquotienten als Näherung für die Ableitung ausrechnen.

$$D(h) = \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h}$$

Um das Verfahren zu verbessern wird auch der Differenzenquotient mit halber Schrittweite berechnet. Sind die Werte von $f(x+h/2)$ und $f(x-h/2)$ bekannt so gilt:

$$D(h) = \frac{f\left(x + \frac{h}{2}\right) - f\left(x - \frac{h}{2}\right)}{h}$$

Die Fehler, die dabei in Kauf genommen werden müssen, sind proportional zum Quadrat der Schrittweite h (wenn f dreimal stetig differenzierbar ist).

$$D(h) = f'(x) + \frac{h^2}{6} f'''(x) + O(h^4) \quad D\left(\frac{h}{2}\right) = f'(x) + \frac{h^2}{24} f'''(x) + O(h^4)$$

Daraus folgt:

$$f'(x) = \frac{4D\left(\frac{h}{2}\right) - D(h)}{3} + O(h^4)$$

9.2 Einseitige Differenz (am Rand)

Kennt man jedoch den Vorgänger bzw. Nachfolger nicht so muss man auf die einseitige Differenz zurückgreifen.

Vorwärtsdifferenz

$$D(h) = \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

Rückwärtsdifferenz

$$D(h) = \frac{f(x) - f(x-h)}{h}$$

Vorwärtsdifferenz für halbe Schrittweite

Rückwärtsdifferenz für halbe Schrittweite

$$D\left(\frac{h}{2}\right) = \frac{f\left(x + \frac{h}{2}\right) - f(x)}{\frac{h}{2}}$$

$$D\left(\frac{h}{2}\right) = \frac{f(x) - f\left(x - \frac{h}{2}\right)}{\frac{h}{2}}$$

Die Fehler die hier auftreten sind proportional zur Schrittweite h (wenn f zweimal stetig differenzierbar ist).

$$D(h) = f'(x) \pm \frac{h}{2} f''(x) + O(h^2) \quad D\left(\frac{h}{2}\right) = f'(x) \pm \frac{h}{4} f''(x) + O(h^2)$$

Daraus folgt für die einseitige Differenz:

$$f'(x) = 2D\left(\frac{h}{2}\right) - D(h) + O(h^2)$$

Da die Werte von f für die halbe Schrittweite noch nicht bekannt sind müssen sie erst interpoliert werden. Die Polynominterpolation kann bei großer Stützstellenanzahl zu starken Welligkeiten im Graphen führen und es scheint hier nicht sinnvoll zu sein, mit nur einer einzigen Polynomfunktion zu interpolieren. Eine Lösung um eine möglichst „glatte“ Kurve durch die Stützpunkte zu bekommen sind die sogenannte Splines.

9.3 Stückweise polynomale Interpolation – Spline (in Anlehnung an Plato [PLA] und Timischl & Kaiser [TKA])

Ein Spline n -ten Grades ist eine Funktion, die stückweise aus Polynomen mit maximalem Grad n zusammengesetzt ist. Dabei wird an den Übergangsstellen die Bedingungen gestellt, dass der Spline $(n-1)$ mal stetig differenzierbar ist.

Ein kubischer Spline setzt sich also aus Polynomen dritten Grades zusammen und muss an den Übergängen zweimal stetig differenzierbar sein.

Für n Stützstellen ergeben sich n Unbekannte. Man benötigt also ebensoviele Gleichungen. Da der Spline an allen inneren Stützstellen zweimal stetig differenzierbar sein muss, erhält man $n-2$ Bedingungen. Die beiden fehlenden Bedingungen (Randbedingungen) können unterschiedlich festgelegt werden und es ergeben sich folgende Splinearten.

9.3.1 Der natürlicher Spline

Die zweite Ableitung des Splines am Anfangs- und Endpunkt wird Null gesetzt. Das bewirkt, dass der Spline eine minimale Gesamtkrümmung hat.

9.3.2 Der vollständiger Spline

Ist die erste Ableitung an Anfangspunkt und Endpunkt bekannt, so wird der vollständige Spline verwendet. Das bedeutet, die fehlenden Bedingungen werden durch die Randbedingungen (Steigung an den Randpunkten) festgelegt.

9.3.3 Der periodische Randbedingung

Ist die Funktion periodisch, so werden die ersten beiden Ableitungen sowie die eigentlichen Werte am Anfangspunkt und Endpunkt gleich gesetzt.

9.3.4 not-a-knot

Der not-a-knot Spline interpoliert durch die jeweiligen äußeren drei Punkte ein Polynom welches nur an einer (der inneren) Übergangsstellen die Bedingungen $(n-1)$ mal stetig differenzierbar sein erfüllt.

Jede der vier Splinearten ergibt zwei weitere Bedingungen wodurch das Gleichungssystem vollständig lösbar wird.

9.3.5 Splines in MATLAB

MATLAB hat eine Splineinterpolation integriert. Als Randbedingung wird die „not-a-knot“ Bedingung verwendet. Alternativ dazu kann man den Datenvektor um zwei Werte erweitern. Hat der zweite Vektor genau zwei Einträge mehr als der erste, so werden der erste und letzte Wert als Randbedingung für die Steigungen an den Enden der Kurve verwendet und man erhält den vollständigen Spline.

Mittels numerischer Differentiation können nun die punktweise gegebenen Funktionen abgeleitet werden.

9.4 Numerische Differentiation mittels MATLAB

Um die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen in SI-Einheiten angeben zu können werden die Einheiten des Weges und der Zeit erst in Meter und Sekunden umgerechnet.

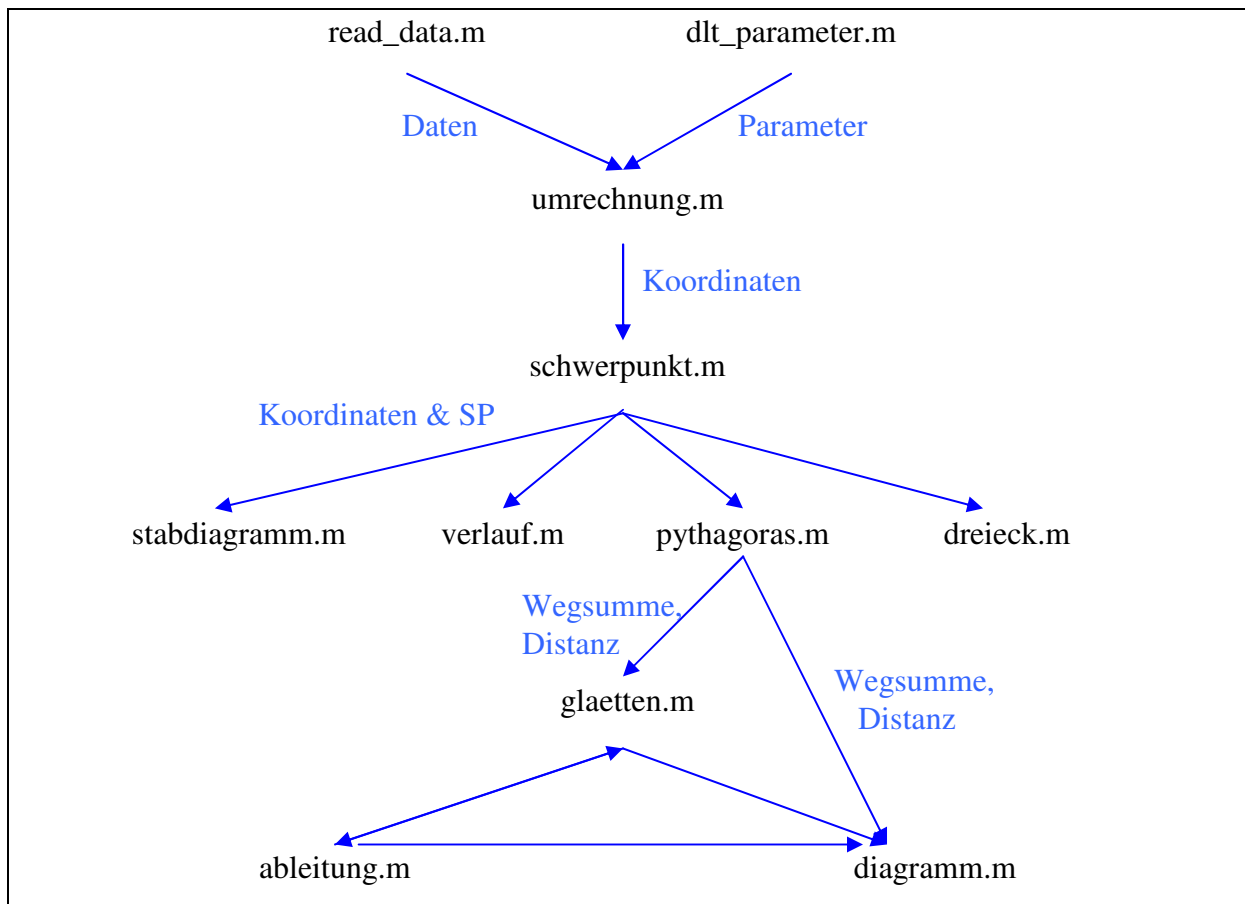
Danach werden die Zwischenstellen (bei halber Schrittweite) der punktweise gegebenen Funktion mittels Splineinterpolation ermittelt. Nachdem die Differenzialquotienten der Schrittweite und der halben Schrittweite gebildet wurden, werden sie entsprechend ihrer Gewichtung (siehe 9.1 und 9.2) zusammengesetzt und anschließend in einer neuen Matrix (cell) abgespeichert.

10. Auswertung der Daten

Die errechneten kinematischen Daten sollen in Diagrammen dargestellt werden können. Es können also Zeit – Weg-, Zeit – Geschwindigkeits- und Zeit – Beschleunigungsdiagramme erstellt werden. Außerdem ist es möglich zwei Graphen miteinander zu vergleichen.

Diese Diagramme ermöglichen dem User die Nachvollziehung der Bewegung und sind Ausgangspunkt für die Bewegungsanalyse durch die Sportstudierenden.

11. Die Programme



(Programmstruktur)

11.1. anleitung.m

```
n=0;
while n==0
    n = input (' \n Bitte geben Sie die Nummer des Schrittes (1-11) ein:
');
    fprintf ('\n ')
    if n==1
        disp('1) Bitte geben Sie die Daten in das Excel-Formular
„daten.xls“ ein. ')
        disp(' Um später den Körperschwerpunkt berechnen zu können und um
Animationen')
        disp(' richtig darzustellen, muss die Beschriftung vollständig
übernommen werden!!!!')
        disp(' Ansonsten werden falsche Punkte wie Beispielsweise die
Schultern')
        disp(' mit den Sprunggelenken verbunden. Die Formatierung der
Spalten muss also übernommen werden.')
        disp(' Die Anzahl der Zeilen und damit der Messzeitpunkte kann
jedoch beliebig groß sein.')
        fprintf ('\n ')
        disp(' Wird auf den Schwerpunkt und die Animationen verzichtet,
so können Zeilen und Spalten nach dem')
        disp(' bestehenden Muster hinzugefügt oder entfernt werden.')
        disp(' Es dürfen jedoch keine Leerzeichen in der Beschriftung
verwendet werden')
```

```

        disp('    und auch keine Felder leer bleiben. Das Muster darf nicht
verändert werden!!!')
    elseif n==2
        disp('2) Bitte speichern Sie die Excel-Datei als Dateityp: Text
(Tabstopp-getrennt) in dem')
        disp('    Verzeichnis, in dem sich das Programm read_data befindet
ab.')

```

(anleitung.m)

11.2. read_data.m

```

function Daten = read_data(name)
% Daten aus externer Datei einlesen.
% Bitte geben Sie den vollständigen Dateinamen in der Klammer ein.

```

```

% bsp: daten=read_data('daten.txt')
%
% Sollte ein Fehler beim Einlesen auftreten, so ist die Tabelle
% wahrscheinlich nicht korrekt ausgefüllt (keine Leerzeichen und keine
% leeren Felder!!!

format bank % Ausgabe mit 2 Nachkommastellen

%Datei öffnen
fp = fopen(name, 'r'); % Textdokument für Lesezugriff ('r')öffnen.

% Spalten zählen
s=isspace(fgets(fp)); % fgets: erste Zeile lesen, isspace: 1=LZ 2=sonst
m=sum([1 s]~= [s 1])/2; % => Anzahl der Spalten
frewind(fp); % => zurückspulen

%Zeilen zählen
n=0;
while 1
    line = fgets(fp); % line = n+1 Zeile
    if line == -1 % Wenn die Zeile leer ist
        break %=> abbrechen
    end
    if sum(~isspace(line))~=0 % Wenn die Summe der Zeichen nicht Null
        n=n+1; % => Anzahl der Zeilen
    end
end
frewind(fp); % => zurückspulen

% Matrix anlegen
Daten = cell(n,m); % cell: Komponenten müssen nicht den selben Typ
haben

% Datei lesen
n=1;
while 1
    line = fgets(fp); % line = n Zeile
    if line == -1 % Wenn die Zeile leer ist
        break % => abbrechen
    end
    X = sscanf(line, '%f'); % sscanf: liest Zahlen (f) aus line
    if isempty(X) % Wenn keine Zahl in line ist
        Y = regexp(line, '\w*', 'match'); % regexp sucht Zeichen in line
        for i=1:m
            Daten{n,i}=Y{i}; % Die Zeichen werden in die matrix
geschrieben
        end
    else
        for i=1:m
            Daten{n,i}=X(i); % Die Zahlen werden in die Matrix
geschrieben
        end
    end
    n=n+1;
end

% Datei schließen
fclose(fp);
end

```

(read_data.m)

11.3. dlt_parameter.m

```
% Berechnung der Parameter für die direkte lineare Transformation
% suchen L mit : A*L=b

% Anzahl der Referenzpunkte
n=0;
while n < 4
    n = input ('\n Die Referenzpunkte müssen so gewählt werden, dass keine
drei auf einer Linie liegen! \n Bitte geben Sie die Anzahl der
Referenzpunkte ein: ');
    if n<4
        disp ('Sie benötigen mindesten 4 Referenzpunkte!');
    end
end

% Koordinaten der Referenzpunkte
x=[]; y=[]; u=[]; v=[];
for i = 1:n
    fprintf ('\n Weltkoordinaten von Punkt %1.0f (in cm) \n' ,i')
    x(i)= input (' Bitte geben Sie den x-Wert ein: ');
    y(i)= input (' Bitte geben Sie den y-Wert ein: ');
    fprintf ('\n Bildkoordinaten von Punkt %1.0f \n' ,i')
    u(i)= input (' Bitte geben Sie den x-Wert ein: ');
    v(i)= input (' Bitte geben Sie den y-Wert ein: ');
end

% Koeffizientenmatrix A
A=[];
for i= 1:n
    A(2*i-1,1)= x(i);
    A(2*i-1,2)= y(i);
    A(2*i-1,3)= 1;
    A(2*i-1,7)= -u(i)*x(i);
    A(2*i-1,8)= -u(i)*y(i);
    A(2*i,4)= x(i);
    A(2*i,5)= y(i);
    A(2*i,6)= 1;
    A(2*i,7)= -v(i)*x(i);
    A(2*i,8)= -v(i)*y(i);
end

% Lösungsvektor b
b=[];
for i=1:n
    b(2*i-1,1)= u(i);
    b(2*i,1)=v(i);
end

% DLT Parameter
disp('DLT Parameter:')
L=A\b
```

(dlt-parameter.m)

11.4. umrechnung.m

```
function [koordinaten] = umrechnung(daten, L)
%Umrechnung der Bildkoordinaten in Weltkoordinaten
%bsp: koordinaten=umrechnung(daten,L)

% Größe der Matrix bestimmen
```

```

m=size (daten,1);
n=size (daten,2);

% Matrix anlegen
koordinaten = cell(m,n);

% Name der neuen Einheit
fprintf (' Bitte geben Sie den Namen der neuen Einheit (z.B. cm) ein: ');
name=input('','s');

% Beschriftungen
for i=1:n
    koordinaten{1,i}=daten{1,i}; % Die ersten beiden Zeilen
    koordinaten{2,i}=daten{2,i}; % werden von den daten übernommen.
    koordinaten{3,i}=name; % In die dritte Zeile wird die neue Einheit
    geschrieben.
end
for i=1:m
    koordinaten{i,1}=daten{i,1}; % Die erste Spalte wird von den daten
    übernommen.
end

% Umrechnung mittels dlt
for k = 2:2:n-1 % Erst in der 2 Spalte befinden sich Daten.
    for i= 4:m % Erst in der 4 Zeile befinden sich Daten
        u=daten{i,k}; % In den geraden Spalten sind die x-Werte
        v=daten{i,k+1}; % In den ungeraden Spalten sind die y-Werte
        % x-Werte in den geraden Zeilen
        koordinaten{i,k}=(-v*L(2)+v*u*L(8)+L(5)*u-L(5)*L(3)+L(6)*L(2)-
            L(6)*u*L(8)-u^2*L(8)+u*L(8)*L(3)) /
            (L(4)*L(2)+L(4)*u*L(8)+L(5)*L(1)-L(5)*u*L(7)+
            u*L(7)*L(2)-u*L(8)*L(1));
        % y-Werte in den ungeraden Zeilen
        koordinaten{i,k+1}=- (v*u*L(7)-v*L(1)+L(4)*u-L(4)*L(3)- L(6)*u*L(7)+
            L(6)*L(1)-u^2*L(7)+u*L(7)*L(3)) /
            (L(4)*L(2)+L(4)*u*L(8)+L(5)*L(1)-L(5)*u*L(7)+
            u*L(7)*L(2)-u*L(8)*L(1));
    end
end
end

```

(umrechnung.m)

11.5. schwerpunkt.m

```

function [kusp] = schwerpunkt(koordinaten)
% Berechnet den Körperschwerpunkt und fügt der Koordinatenmatrix zwei
% weitere Spalten mit den SP-Koordinaten hinzu.
% Achtung der SP wird nur dann richtig berechnet, wenn die ersten sieben
% Punkte die selben sind wie jene in daten.xls.
% Sie können das Programm Beispielsweise durch Eingabe von:
% koordinatenusp=schwerpunkt(koordinaten) starten.

% Größe der Matrix bestimmen
m=size (koordinaten,1);
n=size (koordinaten,2);

% Werte aus den Koordinaten lesen
x=[]; z=[];
for j= 1: (m-3) % Die ersten 3 Zeilen enthalten keine Koordinaten => 3
    Zeilen weniger.
        for i= 1:(n-1)/2

```

```

        x(j,i)=koordinaten{j+3,2*i}; % In den geraden Spalten sind die x-
Werte.
        z(j,i)=koordinaten{j+3,2*i+1}; % In den ungeraden Spalten sind die
y-Werte.
    end
end

% Lage der Teilkörperschwerpunkte
for i= 1:m-3
    % x-Koordinaten
    xtks(i,1)= x(i,4) + (x(i,5)-x(i,4))*0.436; % Oberarm
    xtks(i,2)= x(i,5) + (x(i,6)-x(i,5))*0.682; % Unterarm und Hand
    xtks(i,3)= x(i,3) + (x(i,2)-x(i,3))*0.433; % Oberschenkel
    xtks(i,4)= x(i,2) + (x(i,1)-x(i,2))*0.606; % Unterschenkel und Fuß
    xtks(i,5)= x(i,4) + (x(i,7)-x(i,4))*1.000; % Kopf
    xtks(i,6)= x(i,3) + (x(i,4)-x(i,3))*0.495; % Rumpf
    % z-Koordinaten
    ztks(i,1)= z(i,4) + (z(i,5)-z(i,4))*0.436; % Oberarm
    ztks(i,2)= z(i,5) + (z(i,6)-z(i,5))*0.682; % Unterarm und Hand
    ztks(i,3)= z(i,3) + (z(i,2)-z(i,3))*0.433; % Oberschenkel
    ztks(i,4)= z(i,2) + (z(i,1)-z(i,2))*0.606; % Unterschenkel und Fuß
    ztks(i,5)= z(i,4) + (z(i,7)-z(i,4))*1.000; % Kopf
    ztks(i,6)= z(i,3) + (z(i,4)-z(i,3))*0.495; % Rumpf
end

% relative Segmentmassen
g = [0.056 0.044 0.2 0.122 0.081 0.497];

% Lage des Schwerpunktes
for j= 2:6
    for i= 1:m-3
        dx1(i,j)= (g(1,j)* (xtks(i,j)-xtks(i,1))) / (g(1,1)+g(1,j));
        xtks(i,1) = xtks(i,1) + dx1(i,j);
        dz1(i,j)= (g(1,j)* (ztks(i,j)-ztks(i,1))) / (g(1,1)+g(1,j));
        ztks(i,1) = ztks(i,1) + dz1(i,j);
    end
    g(1,1)= g(1,1)+ g(1,j); % neuer Massenanteil
end

x= [x xtks(:,1)]; z= [z ztks(:,1)]; % SP-Koordinaten anstückeln.

% neue Matrix anlegen und beschriften
kusp=koordinaten;
kusp{1,n+1}='SP'; kusp{1,n+2}='SP';
kusp{2,n+1}='x'; kusp{2,n+2}='z';
kusp{3,n+1}='cm'; kusp{3,n+2}='cm';

% Werte in die Matrix schreiben
for j= 1: (m-3) % Die ersten 3 Zeilen enthalten keine Koordinaten
    for i= 1:(n+1)/2
        kusp{j+3,2*i}=x(j,i); % In den geraden Spalten sind die x-Werte.
        kusp{j+3,2*i+1}=z(j,i); % In den ungeraden Spalten sind die y-
Werte.
    end
end
end
end

```

schwerpunkt.m)

11.6. stabdiagramm.m

```
function stabdiagramm (koordinaten)
% Ein animiertes Stabdiagramm soll mit Hilfe der Koordinaten erzeugt
werden.
% Sie können das Programm beispielsweise durch den Befehl
% stabdiagramm(koordinatenusp) aufrufen.

% Größe der Matrix bestimmen
m=size (koordinaten,1);
n=size (koordinaten,2);

% Werte aus der Matrix lesen
x=[]; z=[];
for j= 1:(m-3) % Die ersten 3 Zeilen enthalten keine Koordinaten => 3
Zeilen weniger.
    for i= 1:(n-1)/2
        x(j,i)=koordinaten{j+3,2*i}; % In den geraden Spalten sind die x-
Werte.
        z(j,i)=koordinaten{j+3,2*i+1}; % In den ungeraden Spalten sind die
y-Werte.
    end
end

% Bestimmung von Minimum und Maximum von x und z
x1=min(x); xmin=min(x1); % min (max) angewendet auf eine MATRIX, gibt den
x2=max(x); xmax=max(x2); % kl. (gr.) Wert jeder Spalte aus. => VEKTOR
z1=min(z); zmin=min(z1); % min (max) angewendet auf einen VEKTOR, gibt
z2=max(z); zmax=max(z2); % den kleinsten (größten) Wert aus. => SKALAR

% Bestimmung eines zusätzlichen Randes (5%)
rx= (xmax-xmin)/20;
rz= (zmax-zmin)/20;

% Verbindung von: Sprunggelenk-Knie-Hüfte-Schultern-Ellbogen-Handgelenk
x1=[x(:,1) x(:,2) x(:,3) x(:,4) x(:,5) x(:,6)];
z1=[z(:,1) z(:,2) z(:,3) z(:,4) z(:,5) z(:,6)];

% Verbindung von Schultern und Kopf
x2=[x(:,4) x(:,7)];
z2=[z(:,4) z(:,7)];

% Erzeugen der Struktur F
for j= 1: (m-3)
    % (x1,z1) bzw. (x2,z2) werden mit Strichen verbunden und der SP wird
eingzeichnet
    plot ( x1(j,:),z1(j,:), 'k-', x2(j,:),z2(j,:), 'k-', x(j,(n-1)/2),
z(j,(n-1)/2), 'rx');
    axis ([xmin-rx xmax+rx zmin-rz zmax+rz]); % Minimale und maximale
Achsenwerte
    axis equal; % Die Achsen werden gleich skaliert.
    title ('Stabdiagramm')
    F(j)= getframe ; % Das aktuelle Bild wird in die Struktur F abgebildet
end
close % Das Fenster wird geschlossen.

% Geschwindigkeit
fprintf ('\n ')
disp ('Die Animation wird nun als avi-Datei abgespeichert!')
disp (' Mit welcher Geschwindigkeit soll die Animation abgespeichert
werden?')
```

```

fprintf ('\n ')
disp ('Bitte geben Sie die ANZAHL DER BILDER ein, die PRO SEKUNDE
abgespielt werden sollen.')
t = input (' Beispiel: Ein Bild alle 40 ms bedeutet: 1000/40 Bilder pro
Sekunde: ');

% Name der Datei
fprintf ('\n ')
fprintf (' Bitte geben Sie den Namen der Datei ein: ');
name=input('','s');

% Avi-Datei aus Struktur F mit Geschwindigkeit t anlegen
movie2avi (F,name , 'fps', t);
end

```

(stabdiagramm.m)

11.7. verlauf.m

```

function verlauf (koordinaten)
% Der Bewegungsverlauf der Punkte soll dargestellt werden.
% Zusätzlich kann zur besseren Orientierung das erste Bild der Figur
% eingezeichnet werden.
% Sie können das Programm beispielsweise durch den Befehl
% verlauf(koordinatenusp) aufrufen.

% Größe der Matrix bestimmen
m=size (koordinaten,1);
n=size (koordinaten,2);

% Werte aus der Matrix lesen
x=[]; z=[];
for j= 1: (m-3) % Die ersten 3 Zeilen enthalten keine Koordinaten => 3
Zeilen weniger.
    for i= 1:(n-1)/2
        x(j,i)=koordinaten{j+3,2*i}; % In den geraden Spalten sind die x-
Werte.
        z(j,i)=koordinaten{j+3,2*i+1}; % In den ungeraden Spalten sind die
y-Werte.
    end
end

% Bestimmung von Minimum und Maximum von x und z
x1=min(x); xmin=min(x1); % min (max) angewendet auf eine MATRIX, gibt den
x2=max(x); xmax=max(x2); % kl. (gr.) Wert jeder Spalte aus. => VEKTOR
z1=min(z); zmin=min(z1); % min (max) angewendet auf einen VEKTOR, gibt
z2=max(z); zmax=max(z2); % den kleinsten (größten) Wert aus. => SKALAR

% Bestimmung eines zusätzlichen Randes (5%)
rx= (xmax-xmin)/20;
rz= (zmax-zmin)/20;

% Verbindung von: Sprunggelenk-Knie-Hüfte-Schultern-Ellbogen-Handgelenk
x1=[x(1,1) x(1,2) x(1,3) x(1,4) x(1,5) x(1,6)];
z1=[z(1,1) z(1,2) z(1,3) z(1,4) z(1,5) z(1,6)];

% Verbindung von Schultern und Kopf
x2=[x(1,4) x(1,7)];
z2=[z(1,4) z(1,7)];

%Keine Fenster schließen

```

```

fprintf ('\n ')
disp('ACHTUNG: Bitte schließen Sie keine sich öffnenden Grafikfenster!!!')
disp('      Nur so werden alle Plots im selben Fenster abgebildet!')
disp('      Sie können die Fenster jedoch minimieren.')
fprintf ('\n ')

% Figur zeichnen
fi=2;
while fi ==2
    disp('Soll die Figur eingezeichnet werden?')
    fi = input (' Wenn ja geben Sie bitte 1 ein und wenn nein dann bitte 0:
');
    if fi==1 % Wenn die Figur gezeichnet werden soll
        plot ( x1 ,z1, 'k-', x2, z2, 'k-'); % Strichmarkerl wird gezeichnet
        hold on % Fenster für weitere Eingaben bereit halten.
    elseif fi==0 % Wennn sie nicht gezeichnet werden soll
        disp(' Die Figur wird nicht eingezeichnet.')
    else
        fi=2;
    end
end

% Von welchen Punkten soll der Verlauf dargestellt werden?
i=1;
fprintf ('\n ')
disp(' Bitte geben Sie ein, von welchen der folgenden Punkte Sie den
Verlauf dargestellt haben möchten.')
disp(' Wollen Sie vom entsprechenden Punkt den Verlauf dargestellt haben so
geben Sie bitte 1 ein, wenn nicht so geben Sie bitte 0 ein.
')
fprintf ('\n ')
while i < n
    pkt=0;
    disp(koordinaten (1,i+1))
    pkt= input('');
    if pkt==1 % Wenn der Verlauf eingezeichnet werden soll
        plot ( x(:,(i+1)/2), z(:,(i+1)/2), '-', 'Color', rand(1,3)); %rand
gibt einen Wert zwischen 0 und 1 aus
        axis ([xmin-rx xmax+rx zmin-rz zmax+rz]); % Minimale und maximale
Achsenwerte
        axis equal; % Die Achsen werden gleich skalliert.
        hold on % Fenster für weitere Eingaben bereit halten.
    end
    i= i+2;
end

% Name der Datei
fprintf ('\n ')
disp ('Bitte geben Sie den Namen der Datei ein: ');
name=input('','s');

%Format
fprintf ('\n ')
disp ('Bitte geben Sie das Format ein: ');
disp('Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff');
form=input('','s');

% Datei speichern
print (form ,name)
end

```

11.8. dreieck.m

```

function [winkel] = dreieck(koordinaten)
% Berechnet Winkel in den Gelenkpunkten
% Sie können das Programm Beispielsweise durch Eingabe von:
% winkel=dreieck(koordinatenusp) starten

% Größe der Matrix bestimmen
m=size (koordinaten,1);
n=size (koordinaten,2);

% Zuweisung von Nummern zu den Punkten
fprintf ('\n Jeder Punkt bekommt nun eine Nummer zugewiesen: \n \n')
for i=2:2:(n-1)
    fprintf ('Nummer %d ist: ', i/2)
    disp(koordinaten (1,i+1))
end

% Welche Winkel sollen berechnet werden?
fprintf('Welche Winkel wollen sie berechnen? \n \n')
disp('Jeder Winkel wird durch drei Punkte angegeben und die Messung erfolgt
gegen den Urzeigersinn.')
disp('Sie müssen also nicht nur den Punkt angeben, in dem Sie den Winkel
ermitteln wollen ')
disp('(Scheitelpunkt), sondern auch seine Nachbarpunkte (Schenkelpunkte).')
disp('NB1 sei der Nachbar, der gegen den Uhrzeigersinn gemessen zuerst
kommt und NB2 der andere.')
n1=1;
while n1 ~=3
    disp('Geben Sie die Tripel durch die zugehörigen Nummern bitte wie
folgt ein: ')
    wp= input(['NB1 Scheitel NB2 ; NB1 Scheitel NB2 ; ...]: \n');
    % Größe der Eingabematrix bestimmen
    m1=size (wp,1);
    n1=size (wp,2);
end

% Werte aus den Koordinaten lesen
x=[]; z=[];
for j= 1: (m-3) % Die ersten 3 Zeilen enthalten keine Koordinaten => 3
Zeilen weniger.
    for i= 1:(n-1)/2
        x(j,i)=koordinaten{j+3,2*i}; % In den geraden Spalten sind die x-
Werte.
        z(j,i)=koordinaten{j+3,2*i+1}; % In den ungeraden Spalten sind die
y-Werte.
    end
end

%Beschriftung der ersten Spalte
winkel{1,1}= koordinaten {1,1} ;
for j=2:m-1
    winkel{j,1}= koordinaten {j+1,1} ;
end

% Berechnung der Winkel
for j=1: (m-3) % Durchläuft die Werte der Einzelbilder
    for i= 1:m1 % Durchläuft die Anzahl der gefragten Winkel
        NB1= wp(i,1); S = wp(i,2); NB2= wp(i,3);
    end
end

```

```

    % Seitenlängen
    b(j,i)= sqrt( ( x(j,NB1)- x(j,S) )^2 + ( z(j,NB1)- z(j,S) )^2 );
%SNB1
    c(j,i)= sqrt( ( x(j,S)- x(j,NB2) )^2 + ( z(j,S)- z(j,NB2) )^2 );
%NB2S
    a(j,i)= sqrt( ( x(j,NB1)- x(j,NB2) )^2 + ( z(j,NB1)- z(j,NB2) )^2
); %NB2NB1

    %Winkel mit dem Cosinussatz berechnen
    al(j,i)= acosd ( ( b(j,i)^2 + c(j,i)^2 - a(j,i)^2 ) / ( 2 * b(j,i)
* c(j,i) ) );

    % größer oder kleiner Winkel?
    d= det([x(j,NB1)-x(j,S) x(j,NB2)-x(j,S); z(j,NB1)-z(j,S) z(j,NB2)-
z(j,S)]);
    if d<0 % Determinante kleiner 0
        al(j,i)= 360-al(j,i); % negative Winkel
    elseif d==0 % Die drei Punkt liegen auf einer Gerade
        pro=(x(j,NB1)-x(j,S)) * (x(j,NB2)-x(j,S))
        if pro > 0 %NB1 und NB2 liegen auf derselben Seite von S
            al(j,i)= 0;
        elseif pro < 0 %NB1 und NB2 liegen nicht auf derselben Seite
von S
            al(j,i)= 180;
        else % Das Produkt ist null.
            if (x(j,NB1)-x(j,S))==0 & (x(j,NB2)-x(j,S))~=0 | (x(j,NB1)-
x(j,S))~=0 & (x(j,NB2)-x(j,S))==0
                al(j,i)='kein Winkel' % ein Faktor ist null und der
andere nicht.
            else % Beide Faktoren sind null
                prod= (z(j,NB1)-z(j,S)) * (z(j,NB2)-z(j,S))
                if prod > 0 %NB1 und NB2 liegen auf derselben Seite von
S
                    al(j,i)= 0;
                elseif prod < 0 %NB1 und NB2 liegen nicht auf derselben
Seite von S
                    al(j,i)= 180;
                else % Das Produkt ist Null
                    al(j,i)='kein Winkel'
                end
            end
        end
    end
end
end
end

    % Zeilenbelegung
winkel{1,i+1}= koordinaten {1,2*S}; % ersten Zeile
winkel{2,i+1}= 'winkel' ; % zweiten Zeile
winkel{j+2,i+1}= al(j,i); % Werte einfüllen

    % Zeiten
    t(j)=koordinaten{j+3,1};
end
end

% Name der Datei
fprintf ('\n ')
disp ('Bitte geben Sie den Namen der Datei ein: ');
name=input('','s');

%Format

```



```

fprintf ('\n ')
disp ('Bitte geben Sie das Format ein: ');
disp('Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff');
form=input('','s');

% Balkendiagramme erstellen
for i= 1:m1
    subplot(m1,1,i); % Teilt das Grafikfenster
    bar(t,al(:,i),'b') % Balkendiagramm
    axis ([0 t(m-3)*1.02 0 360]); % Minimale und maximale Achsenwerte
    xlabel ('Zeit'), ylabel ('Winkel') % Achsenbeschriftung
    legend (winkel(1,i+1)) % Titel
end

% Datei speichern
print (form ,name)
end

```

(dreieck.m)

11.9. pythagoras.m

```

function [weg, dist] = pythagoras(koordinaten)
% Berechnet die Summe der zurückgelegten Wege
% und die Abstände vom Ursprungsbild.
% bsp: [weg, dist]=pythagoras(koordinatenusp)

format bank % Ausgabe mit 2 Nachkommastellen

% Größe der Matrix bestimmen
m=size (koordinaten,1);
n=size (koordinaten,2);

% Matrizen anlegen
dist={}; % Abstand vom ersten Bild
weg={}; % Summe der Wege

for i=1:(n-1)/2 % Spalten
    % 1) Weg beschriften
    weg{1,1}= koordinaten{1,1}; % Erstes Feld
    weg{1,i+1}= koordinaten{1,2*i}; % Rest der ersten Zeile
    weg{2,1}= koordinaten{3,1}; % Zweites Feld
    weg{2,i+1}= koordinaten{3,2*i}; % Rest der zweiten Zeile

    % 2) Distanz beschriften
    dist{1,1}= koordinaten{1,1}; % Erstes Feld
    dist{1,i+1}= koordinaten{1,2*i}; % Rest der ersten Zeile
    dist{2,1}= koordinaten{3,1}; % Zweites Feld
    dist{2,i+1}= koordinaten{3,2*i}; % Rest der zweiten Zeile

    for k=3:(m-1) % Zeilen (eine Zeile weniger)

        % Die 3te Zeile wird gleich der 4ten gesetzt,
        % damit die erste Differenz null ist.
        koordinaten {3,2*i}=koordinaten{4,2*i}; % x-Werte in den geraden
        koordinaten {3,2*i+1}=koordinaten{4,2*i+1}; % y-Werte in den
        ungeraden Spalten

        % 1) Wege berechnen
    end
end

```

```

% Berechnung der delta x und delta y
dx= koordinaten{k+1,2*i}-koordinaten{k,2*i};
dy= koordinaten{k+1,2*i+1}-koordinaten{k,2*i+1};

% Die Startzeit (4 Zeile) subtrahieren ;
weg{k,1}=koordinaten{k+1,1}-koordinaten{4,1};

% Wege berechnen
weg{k,i+1}=sqrt(dx^2 + dy^2); % Pythagoras
if k==3 % Der nullte Weg
    weg{3,i+1}=0;
else % Summe der Wege
    weg{k,i+1}=weg{k-1,i+1}+weg{k,i+1}; % Vorgänger wird
dazugerechnet
end

% 2) Distanzen berechnen

% Die Startzeit (4 Zeile) subtrahieren ;
dist{k,1}=koordinaten{k+1,1}-koordinaten{4,1};

% Berechnung der delta x und delta y
dxo= koordinaten{k+1,2*i}-koordinaten{3,2*i};
dyo= koordinaten{k+1,2*i+1}-koordinaten{3,2*i+1};

% Distanzen berechnen
dist{k,i+1}= sqrt(dxo^2 + dyo^2); % Pythagoras
end
end
end

```

(pythagoras.m)

11.10. glaetten.m

```

function [B] = glaetten(A)
% Glättet die Punktweise gegebene Funktion
% bsp: wegglatt=glaetten(weg)

format bank % Ausgabe mit 2 Nachkommastellen

% Größe der Matrix bestimmen
m=size (A,1);
n=size (A,2);

% Werte auslesen
for j= 1: (m-2) % Die ersten 2 Zeilen enthalten keine Werte
    for i= 2:n
        b(j,i-1)=A{j+2,i};
    end
end

% Mittelwerte
bb(1,:) = b(1,:); % Erster Wert
bb(2,:) = (2*b(1,:)+b(2,:)+b(3,:)+b(4,:))/5; % Zweiter Wert
for j= 3:m-4 % Werete die auf beiden Seiten 2 Nachbarn haben.
    bb(j,:)=( b(j-2,:)+b(j-1,:)+b(j,:)+b(j+1,:)+b(j+2,:) )/5;
end
bb(m-3,:) = (b(m-5,:)+b(m-4,:)+b(m-3,:)+2*b(m-2,:))/5; % Vorletzte Wert

```

```

bb(m-2,:) = (3*b(m-2,:)+b(m-3,:)+b(m-4,:))/5; % Letzte Wert

% Werte einlesen
for j= 1: (m-2) % Die ersten 2 Zeilen enthalten keine Werte
    for i= 2:n
        B{j+2,i}=bb(j,i-1); % Werte einlesen
        B{j+2,1}=A{j+2,1}; % Erste Spalte
        B{1,i}=A{1,i}; B{1,1}=A{1,1}; % Erste Zeile beschriften
        B{2,i}=A{2,i}; B{2,1}=A{2,1}; % Zweite Zeile beschriften
    end
end
end
end

```

(glaetten.m)

11.11. ableitung.m

```

function [B] = ableitung(A)
% Leitet nach der ersten Spalte (Zeit) ab.
% Bsp: gech=ableitung(distglatt)
% Bsp2: besch=ableitung(geschglatt)

format bank % Ausgabe mit 2 Nachkommastellen

% Größe der Matrix bestimmen
m=size (A,1);
n=size (A,2);

% Werte auslesen und Beschriftung
num=input('Die wievielte Ableitung ist das: ');
for i= 1:m-2 % Die ersten beiden Zeilen enthalten keine Werte
    for j= 1:n
        werte(i,j) = A{i+2,j}; % Werte aus A lesen
        B{1,j} = A{1,j}; % Erste Zeile übernehmen
        if num==1
            B{2,j} = 'm/s'; % neue Einheit der ersten Ableitung
        elseif num==2
            B{2,j} = 'm/s^2'; % neue Einheit der zweiten Ableitung
        end
    end
end
end
B{2,1} = 's'; % Zeiteinheit

% Einheitenumrechnung
if num ==1 % Umrechnen in SI-Einheiten
    fprintf('\n In welcher Einheit ist die Zeit angegeben?')
    disp(' (s=1 ms=0.001 min=60 h=3600 usw.)')
    ze=input(' Bitte geben Sie den entsprechenden Zahlenwert der Einheit
ein: ');
    fprintf('\n In welcher Einheit ist der Weg angegeben?')
    disp(' (m=1 cm=0.01 mm=0.001 nm=0.0001 km=1000 usw.)')
    we=input(' Bitte geben Sie den entsprechenden Zahlenwert der Einheit
ein: ');
    H= werte*we; H(:,1)=werte(:,1)*ze;
else % Die Einheiten sind schon SI-Einheiten
    H=werte;
end

% Zwischenwerte
for i = 1:m-3
    hh(i,1)=(H(i,1)+H(i+1,1))/2; %hhalbe

```

```

end
for j=1:n-1
    fhh(:,j)= spline(H(:,1),[0; H(:,j+1); 0],hh); % Splininterpoliert
end
HH=[hh fhh];

% Vorwärtsdifferenz
dh(1,:)= H(2,:)-H(1,:); % von h
dhh(1,:)= HH(1,:)-H(1,:); % von hhalbe

% Rückwärtsdifferenz
dh(m-2,:)= H(m-2,:)-H(m-3,:); % von h
dhh(m-2,:)= HH(m-2,:)-HH(m-3,:); % von hhalbe

% Zentrale Differenz
for i=2:m-3
    dh(i,:)= H(i+1,:)- H(i-1,:); % von h
    dhh(i,:)= HH(i,:)- HH(i-1,:); % von hhalbe
end

% Differentialquotienten
for i=1:m-2
    for j=2:n
        DH(i,j-1)= dh(i,j) / dh(i,1); % von h
        DHH(i,j-1)= dhh(i,j) / dhh(i,1); % von hhalbe
    end
end

D = (4*DHH-DH)/3; % zentral
D(1,:) = 2*DHH(1,:)-DH(1,:) % vorwärts
D(m-2,:) = 2*DHH(m-2,:)-DH(m-2,:) % rückwärts

Dt= [H(:,1) D]; % Zeit an die Matrix angestückt
DC = mat2cell(Dt,ones(1,m-2),ones(1,n)); % Umwandlung in einen Cell
B= [B;DC]; % Zusammenstückeln

end

```

(ableitung.m)

11.12. diagramm.m

```

function diagramm (A, B)
% Erstellt "glatte Diagramme durch Splineinterpolation
% Bsp1 diagramm(weg,dist)
% Bsp2 diagramm(dist, distglatt)
% Bsp3 diagramm(weg, wegglatt)
% Bsp4 diagramm(geschw, geschwglatt)
% Bsp5 diagramm(beschl, beschlglatt)
%
% Wenn Sie nur eine Eingabe wünschen, so geben sie bitte an zweiter Stelle
% eine 0 ein. (Bsp: diagramm(dist, 0)

% Größe der Matrizen bestimmen
m1=size (A,1);
n1=size (A,2);
m2=size (B,1);
n2=size (B,2);

% Legende
if m2 ~= 1

```

```

    namea = input('Wie soll die erste Kurve beschriftet werden? ', 's');
    nameb = input('Wies soll die zweite Kurve beschriftet werden? ', 's');
else
    namea = input('Wie soll die Kurve beschriftet werden? ', 's');
end

% Werte aus A lesen
for j= 1: (m1-2) % Die ersten 2 Zeilen enthalten keine Koordinaten.
    for i= 1: n1
        a(j,i)=A{j+2,i};
    end
end

% Werte aus B lesen
if m2~=1
    b=[];
    for j= 1: (m2-2) % Die ersten 2 Zeilen enthalten keine Koordinaten.
        for i= 1: n2
            b(j,i)=B{j+2,i};
        end
    end
end

% Zuweisung von Nummern
fprintf ('\n Jeder Punkt bekommt nun eine Nummer zugewiesen: \n \n')
for i=2:n1
    fprintf ('Nummer %d ist: ', i-1)
    disp(A (1,i))
end

% Welche Punkte
fprintf ('\n ')
disp('Bitte geben Sie ein, von welchen der folgenden Punkte Sie ein
Diagramm erstellt haben möchten.')
disp(' Bsp: [1 3 5]')
pkt= input('');

%y-Achse
achse=input('Wie soll die y-Achse beschriftet werden?: ', 's');

% Name der Datei
fprintf ('\n ')
disp ('Bitte geben Sie den Namen der Datei ein: ');
name=input(' ', 's');

%Format
fprintf ('\n ')
disp ('Bitte geben Sie das Format ein: ');
disp('Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff');
form=input(' ', 's');

% Diagramm erstellen.
p = size(pkt,2);
for i= 1:p
    subplot(p,1,i); % Teilt das Grafikfenster
    xa = linspace(a(1,1),a(m1-2),m1*50); % Zwischenpunkte
    ya = spline( a(:,1), [0; a(:,pkt(i)+1); 0], xa); % Splineinterpolation
    if m2~=1
        xb = linspace(b(1,1),b(m2-2),m2*50); % Zwischenpunkte
        yb = spline( b(:,1), [0; b(:,pkt(i)+1); 0], xb); % Splineinterpolation
        plot(xa, ya, 'k-', xb, yb, 'b-')
    end
end

```

```
        legend (namea, nameb, 'Location', 'NorthWest')
    else
        plot(xa,ya,'k-')
        legend (namea, 'Location', 'NorthWest')
    end
    xlabel ('Zeit'), ylabel (achse) % Achsenbeschriftung
    title (A(1,pkt(i)+1))
end

% Datei speichern
print (form ,name)
end
```

(wegdiagramm.m)

12. Beispiel Ruderbewegung

Mit Hilfe der folgenden Daten, welche bei der Bewegung auf einer Rudermaschine gemessen wurden, wird ein Beispiel für die Bewegungsanalyse gegeben. Es dient der Veranschaulichung der Programme.

Zeit	Sprunggel.	Sprunggel.	Knie	Knie	Hüfte	Hüfte
time	x	z	x	z	x	z
[ms]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]
40	322	438	307	337	402	381
80	322	437	309	337	403	381
120	320	441	317	339	414	382
160	318	446	329	344	430	383
200	317	448	337	348	446	382
240	318	448	348	351	457	383
280	318	450	359	354	467	384
320	318	449	366	358	479	383
360	320	452	384	369	496	384
400	320	452	391	378	504	384
440	319	451	397	383	512	385
480	320	453	403	392	518	385
520	320	454	410	398	520	388
560	320	455	416	409	526	390
600	322	457	418	413	528	392
640	322	458	419	418	530	393
680	324	458	419	414	531	395
720	324	457	417	405	531	393
760	326	453	413	389	528	393
800	329	452	410	383	525	392
840	328	451	406	379	523	392
880	328	451	403	375	519	391
920	328	453	400	372	514	392
960	329	452	389	365	500	391
1000	328	452	381	362	491	390
1040	327	451	374	359	485	392
1080	326	451	369	357	475	391
1120	324	451	364	357	469	389
1160	325	449	353	352	454	388
1200	324	448	346	345	448	388
1240	324	445	343	344	441	386
1280	326	443	335	342	437	385
1320	325	443	333	341	428	386
1360	324	441	322	339	417	384
1400	326	438	317	337	412	383
1440	324	438	314	338	406	383
1480	324	438	308	337	403	383
1520	324	436	306	338	400	383
1560	324	436	303	339	398	383
1600	324	435	302	338	396	382

(testdaten.xls, Teil 1)

Schulter	Schulter	Ellbogen	Ellbogen	Handgelenk	Handgelenk	Kopf	Kopf
x	z	x	z	x	z	x	z
[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]
338	284	266	321	212	343	318	245
339	284	266	321	211	342	317	245
355	279	282	319	228	339	334	242
385	275	312	319	256	339	367	235
403	273	335	319	272	335	387	231
425	271	350	315	284	331	408	228
446	271	363	310	293	329	427	227
464	270	379	307	309	325	447	223
493	265	416	304	352	317	485	219
510	264	431	303	361	318	504	218
530	262	453	303	381	313	522	218
545	266	476	305	398	311	538	219
559	267	489	310	420	309	551	220
587	276	527	327	458	316	570	228
597	279	546	340	479	324	576	231
606	285	570	355	500	331	576	236
612	286	590	364	518	338	578	239
616	289	610	373	537	342	577	240
613	285	635	371	569	345	571	238
614	288	634	369	569	344	566	238
606	283	623	371	562	339	561	236
597	282	613	367	545	337	554	235
587	280	597	367	526	333	538	230
553	276	551	360	482	331	513	225
533	272	521	354	459	328	500	222
518	271	497	349	435	325	487	223
502	270	478	344	415	327	472	221
483	271	449	339	389	323	458	221
451	269	402	328	342	323	427	221
435	269	384	322	326	324	414	221
419	269	364	320	305	329	400	223
406	270	342	315	289	328	387	224
389	271	325	313	274	327	373	225
365	274	297	311	242	327	353	228
357	274	285	311	229	326	343	232
344	278	276	312	220	328	335	235
338	279	264	312	211	328	329	236
332	280	264	311	206	330	325	237
326	283	256	312	197	329	320	238
327	281	257	312	197	330	319	238

(testdaten.xls, Teil 2)

Nachdem die Daten in die Excel-Datei (händisch) eingegeben wurden, müssen sie als Dateityp: Text (Tabstopp-getrennt) in jenem Verzeichnis abgespeichert werden, indem sich das Programm read_data befindet.

Zeit	Sprunggel.		Sprunggel.		Knie		Knie		Hüfte		Hüfte		Schulter	
Schulter	Ellbogen	Ellbogen	Handgelenk	Handgelenk	Kopf	Kopf								
time	x	z	x	z	x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
[ms]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]	[Pixel]
40	322	438	307	337	402	381	338	284	266	321	212	343	318	245
80	322	437	309	337	403	381	339	284	266	321	211	342	317	245
120	320	441	317	339	414	382	355	279	282	319	228	339	334	242
160	318	446	329	344	430	383	385	275	312	319	256	339	367	235
200	317	448	337	348	446	382	403	273	335	319	272	335	387	231
240	318	448	348	351	457	383	425	271	350	315	284	331	408	228
280	318	450	359	354	467	384	446	271	363	310	293	329	427	227
320	318	449	366	358	479	383	464	270	379	307	309	325	447	223
360	320	452	384	369	496	384	493	265	416	304	352	317	485	219
400	320	452	391	378	504	384	510	264	431	303	361	318	504	218
440	319	451	397	383	512	385	530	262	453	303	381	313	522	218
480	320	453	403	392	518	385	545	266	476	305	398	311	538	219
520	320	454	410	398	520	388	559	267	489	310	420	309	551	220
560	320	455	416	409	526	390	587	276	527	327	458	316	570	228
600	322	457	418	413	528	392	597	279	546	340	479	324	576	231
640	322	458	419	418	530	393	606	285	570	355	500	331	576	236
680	324	458	419	414	531	395	612	286	590	364	518	338	578	239
720	324	457	417	405	531	393	616	289	610	373	537	342	577	240
760	326	453	413	389	528	393	613	285	635	371	569	345	571	238
800	329	452	410	383	525	392	614	288	634	369	569	344	566	238
840	328	451	406	379	523	392	606	283	623	371	562	339	561	236
880	328	451	403	375	519	391	597	282	613	367	545	337	554	235
920	328	453	400	372	514	392	587	280	597	367	526	333	538	230
960	329	452	389	365	500	391	553	276	551	360	482	331	513	225
1000	328	452	381	362	491	390	533	272	521	354	459	328	500	222
1040	327	451	374	359	485	392	518	271	497	349	435	325	487	223
1080	326	451	369	357	475	391	502	270	478	344	415	327	472	221
1120	324	451	364	357	469	389	483	271	449	339	389	323	458	221
1160	325	449	353	352	454	388	451	269	402	328	342	323	427	221
1200	324	448	346	345	448	388	435	269	384	322	326	324	414	221
1240	324	445	343	344	441	386	419	269	364	320	305	329	400	223
1280	326	443	335	342	437	385	406	270	342	315	289	328	387	224
1320	325	443	333	341	428	386	389	271	325	313	274	327	373	225
1360	324	441	322	339	417	384	365	274	297	311	242	327	353	228
1400	326	438	317	337	412	383	357	274	285	311	229	326	343	232
1440	324	438	314	338	406	383	344	278	276	312	220	328	335	235
1480	324	438	308	337	403	383	338	279	264	312	211	328	329	236
1520	324	436	306	338	400	383	332	280	264	311	206	330	325	237
1560	324	436	303	339	398	383	326	283	256	312	197	329	320	238
1600	324	435	302	338	396	382	327	281	257	312	197	330	319	238

(testdaten.txt, Teil)

12.1. read_data.m

```
>> daten=read_data('testdaten.txt')

Columns 1 through 8
'Zeit'      'Sprunggel' 'Sprunggel' 'Knie'      'Knie'      'Hüfte'      'Hüfte'      'Schulter'
'time'      'x'         'z'         'x'         'z'         'x'         'z'         'x'
'ms'       'Pixel'    'Pixel'    'Pixel'    'Pixel'    'Pixel'    'Pixel'    'Pixel'
[40.00]    [322.00]   [438.00]   [307.00]   [337.00]   [402.00]   [381.00]   [338.00]
[80.00]    [322.00]   [437.00]   [309.00]   [337.00]   [403.00]   [381.00]   [339.00]
[120.00]   [320.00]   [441.00]   [317.00]   [339.00]   [414.00]   [382.00]   [355.00]
[160.00]   [318.00]   [446.00]   [329.00]   [344.00]   [430.00]   [383.00]   [385.00]
[200.00]   [317.00]   [448.00]   [337.00]   [348.00]   [446.00]   [382.00]   [403.00]
[240.00]   [318.00]   [448.00]   [348.00]   [351.00]   [457.00]   [383.00]   [425.00]
[280.00]   [318.00]   [450.00]   [359.00]   [354.00]   [467.00]   [384.00]   [446.00]
[320.00]   [318.00]   [449.00]   [366.00]   [358.00]   [479.00]   [383.00]   [464.00]
[360.00]   [320.00]   [452.00]   [384.00]   [369.00]   [496.00]   [384.00]   [493.00]
[400.00]   [320.00]   [452.00]   [391.00]   [378.00]   [504.00]   [384.00]   [510.00]
[440.00]   [319.00]   [451.00]   [397.00]   [383.00]   [512.00]   [385.00]   [530.00]
[480.00]   [320.00]   [453.00]   [403.00]   [392.00]   [518.00]   [385.00]   [545.00]
```

[520.00]	[320.00]	[454.00]	[410.00]	[398.00]	[520.00]	[388.00]	[559.00]
[560.00]	[320.00]	[455.00]	[416.00]	[409.00]	[526.00]	[390.00]	[587.00]
[600.00]	[322.00]	[457.00]	[418.00]	[413.00]	[528.00]	[392.00]	[597.00]
[640.00]	[322.00]	[458.00]	[419.00]	[418.00]	[530.00]	[393.00]	[606.00]
[680.00]	[324.00]	[458.00]	[419.00]	[414.00]	[531.00]	[395.00]	[612.00]
[720.00]	[324.00]	[457.00]	[417.00]	[405.00]	[531.00]	[393.00]	[616.00]
[760.00]	[326.00]	[453.00]	[413.00]	[389.00]	[528.00]	[393.00]	[613.00]
[800.00]	[329.00]	[452.00]	[410.00]	[383.00]	[525.00]	[392.00]	[614.00]
[840.00]	[328.00]	[451.00]	[406.00]	[379.00]	[523.00]	[392.00]	[606.00]
[880.00]	[328.00]	[451.00]	[403.00]	[375.00]	[519.00]	[391.00]	[597.00]
[920.00]	[328.00]	[453.00]	[400.00]	[372.00]	[514.00]	[392.00]	[587.00]
[960.00]	[329.00]	[452.00]	[389.00]	[365.00]	[500.00]	[391.00]	[553.00]
[1000.00]	[328.00]	[452.00]	[381.00]	[362.00]	[491.00]	[390.00]	[533.00]
[1040.00]	[327.00]	[451.00]	[374.00]	[359.00]	[485.00]	[392.00]	[518.00]
[1080.00]	[326.00]	[451.00]	[369.00]	[357.00]	[475.00]	[391.00]	[502.00]
[1120.00]	[324.00]	[451.00]	[364.00]	[357.00]	[469.00]	[389.00]	[483.00]
[1160.00]	[325.00]	[449.00]	[353.00]	[352.00]	[454.00]	[388.00]	[451.00]
[1200.00]	[324.00]	[448.00]	[346.00]	[345.00]	[448.00]	[388.00]	[435.00]
[1240.00]	[324.00]	[445.00]	[343.00]	[344.00]	[441.00]	[386.00]	[419.00]
[1280.00]	[326.00]	[443.00]	[335.00]	[342.00]	[437.00]	[385.00]	[406.00]
[1320.00]	[325.00]	[443.00]	[333.00]	[341.00]	[428.00]	[386.00]	[389.00]
[1360.00]	[324.00]	[441.00]	[322.00]	[339.00]	[417.00]	[384.00]	[365.00]
[1400.00]	[326.00]	[438.00]	[317.00]	[337.00]	[412.00]	[383.00]	[357.00]
[1440.00]	[324.00]	[438.00]	[314.00]	[338.00]	[406.00]	[383.00]	[344.00]
[1480.00]	[324.00]	[438.00]	[308.00]	[337.00]	[403.00]	[383.00]	[338.00]
[1520.00]	[324.00]	[436.00]	[306.00]	[338.00]	[400.00]	[383.00]	[332.00]
[1560.00]	[324.00]	[436.00]	[303.00]	[339.00]	[398.00]	[383.00]	[326.00]
[1600.00]	[324.00]	[435.00]	[302.00]	[338.00]	[396.00]	[382.00]	[327.00]

Columns 9 through 15

'Schulter'	'Ellbogen'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Handgelenk'	'Kopf'	'Kopf'
'z'	'x'	'z'	'x'	'z'	'x'	'z'
'Pixel'	'Pixel'	'Pixel'	'Pixel'	'Pixel'	'Pixel'	'Pixel'
[284.00]	[266.00]	[321.00]	[212.00]	[343.00]	[318.00]	[245.00]
[284.00]	[266.00]	[321.00]	[211.00]	[342.00]	[317.00]	[245.00]
[79.00]	[282.00]	[319.00]	[228.00]	[339.00]	[334.00]	[242.00]
[275.00]	[312.00]	[319.00]	[256.00]	[339.00]	[367.00]	[235.00]
[273.00]	[335.00]	[319.00]	[272.00]	[335.00]	[387.00]	[231.00]
[271.00]	[350.00]	[315.00]	[284.00]	[331.00]	[408.00]	[228.00]
[271.00]	[363.00]	[310.00]	[293.00]	[329.00]	[427.00]	[227.00]
[270.00]	[379.00]	[307.00]	[309.00]	[325.00]	[447.00]	[223.00]
[265.00]	[416.00]	[304.00]	[352.00]	[317.00]	[485.00]	[219.00]
[264.00]	[431.00]	[303.00]	[361.00]	[318.00]	[504.00]	[218.00]
[262.00]	[453.00]	[303.00]	[381.00]	[313.00]	[522.00]	[218.00]
[266.00]	[476.00]	[305.00]	[398.00]	[311.00]	[538.00]	[219.00]
[267.00]	[489.00]	[310.00]	[420.00]	[309.00]	[551.00]	[220.00]
[276.00]	[527.00]	[327.00]	[458.00]	[316.00]	[570.00]	[228.00]
[279.00]	[546.00]	[340.00]	[479.00]	[324.00]	[576.00]	[231.00]
[285.00]	[570.00]	[355.00]	[500.00]	[331.00]	[576.00]	[236.00]
[286.00]	[590.00]	[364.00]	[518.00]	[338.00]	[578.00]	[239.00]
[289.00]	[610.00]	[373.00]	[537.00]	[342.00]	[577.00]	[240.00]

[285.00]	[635.00]	[371.00]	[569.00]	[345.00]	[571.00]	[238.00]
[288.00]	[634.00]	[369.00]	[569.00]	[344.00]	[566.00]	[238.00]
[283.00]	[623.00]	[371.00]	[562.00]	[339.00]	[561.00]	[236.00]
[282.00]	[613.00]	[367.00]	[545.00]	[337.00]	[554.00]	[235.00]
[280.00]	[597.00]	[367.00]	[526.00]	[333.00]	[538.00]	[230.00]
[276.00]	[551.00]	[360.00]	[482.00]	[331.00]	[513.00]	[225.00]
[272.00]	[521.00]	[354.00]	[459.00]	[328.00]	[500.00]	[222.00]
[271.00]	[497.00]	[349.00]	[435.00]	[325.00]	[487.00]	[223.00]
[270.00]	[478.00]	[344.00]	[415.00]	[327.00]	[472.00]	[221.00]
[271.00]	[449.00]	[339.00]	[389.00]	[323.00]	[458.00]	[221.00]
[269.00]	[402.00]	[328.00]	[342.00]	[323.00]	[427.00]	[221.00]
[269.00]	[384.00]	[322.00]	[326.00]	[324.00]	[414.00]	[221.00]
[269.00]	[364.00]	[320.00]	[305.00]	[329.00]	[400.00]	[223.00]
[270.00]	[342.00]	[315.00]	[289.00]	[328.00]	[387.00]	[224.00]
[271.00]	[325.00]	[313.00]	[274.00]	[327.00]	[373.00]	[225.00]
[274.00]	[297.00]	[311.00]	[242.00]	[327.00]	[353.00]	[228.00]
[274.00]	[285.00]	[311.00]	[229.00]	[326.00]	[343.00]	[232.00]
[278.00]	[276.00]	[312.00]	[220.00]	[328.00]	[335.00]	[235.00]
[279.00]	[264.00]	[312.00]	[211.00]	[328.00]	[329.00]	[236.00]
[280.00]	[264.00]	[311.00]	[206.00]	[330.00]	[325.00]	[237.00]
[283.00]	[256.00]	[312.00]	[197.00]	[329.00]	[320.00]	[238.00]
[281.00]	[257.00]	[312.00]	[197.00]	[330.00]	[319.00]	[238.00]

(MATLAB-Ausgabe von `daten=read_data('testdaten.txt')`)

12.2. dlt_parameter.m

```
>> dlt_parameter
```

Die Referenzpunkte müssen so gewählt werden, dass keine drei auf einer Linie liegen!

Bitte geben Sie die Anzahl der Referenzpunkte ein: 4

Weltkoordinaten von Punkt 1 (in cm)

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 0

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 300

Bildkoordinaten von Punkt 1

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 0

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 300

Weltkoordinaten von Punkt 2 (in cm)

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 1

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 300

Bildkoordinaten von Punkt 2

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 1

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 300

Weltkoordinaten von Punkt 3 (in cm)

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 0

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 600

Bildkoordinaten von Punkt 3

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 0

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 0

Weltkoordinaten von Punkt 4 (in cm)

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 3

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 600

Bildkoordinaten von Punkt 4

Bitte geben Sie den x-Wert ein: 3

Bitte geben Sie den z-Wert ein: 0

DLT Parameter:

```
L = 1.00
    0
    0
    0
   -1.00
   600.00
    0
```

(MATLAB-Ausgabe von dlt_parameter)

12.3. umrechnung.m

```
koordinaten=umrechnung(daten,L)
```

Bitte geben Sie den Namen der neuen Einheit (z.B. cm) ein: cm

koordinaten =

Columns 1 through 8

'Zeit'	'Sprunggell'	'Sprunggell'	'Knie'	'Knie'	'Hüfte'	'Hüfte'	'Schulter'
'time'	'x'	'z'	'x'	'z'	'x'	'z'	'x'
'ms'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[40.00]	[322.00]	[162.00]	[307.00]	[263.00]	[402.00]	[219.00]	[338.00]
[80.00]	[322.00]	[163.00]	[309.00]	[263.00]	[403.00]	[219.00]	[339.00]
[120.00]	[320.00]	[159.00]	[317.00]	[261.00]	[414.00]	[218.00]	[355.00]
[160.00]	[318.00]	[154.00]	[329.00]	[256.00]	[430.00]	[217.00]	[385.00]
[200.00]	[317.00]	[152.00]	[337.00]	[252.00]	[446.00]	[218.00]	[403.00]

[240.00]	318.00]	[152.00]	[348.00]	[249.00]	[457.00]	[217.00]	[425.00]
[280.00]	[318.00]	[150.00]	[359.00]	[246.00]	[467.00]	[216.00]	[446.00]
[320.00]	[318.00]	[151.00]	[366.00]	[242.00]	[479.00]	[217.00]	[464.00]
[360.00]	[320.00]	[148.00]	[384.00]	[231.00]	[496.00]	[216.00]	[493.00]
[400.00]	[320.00]	[148.00]	[391.00]	[222.00]	[504.00]	[216.00]	[510.00]
[440.00]	[319.00]	[149.00]	[397.00]	[217.00]	[512.00]	[215.00]	[530.00]
[480.00]	[320.00]	[147.00]	[403.00]	[208.00]	[518.00]	[215.00]	[545.00]
[520.00]	[320.00]	[146.00]	[410.00]	[202.00]	[520.00]	[212.00]	[559.00]
[560.00]	[320.00]	[145.00]	[416.00]	[191.00]	[526.00]	[210.00]	[587.00]
[600.00]	[322.00]	[143.00]	[418.00]	[187.00]	[528.00]	[208.00]	[597.00]
[640.00]	[322.00]	[142.00]	[419.00]	[182.00]	[530.00]	[207.00]	[606.00]
[680.00]	[324.00]	[142.00]	[419.00]	[186.00]	[531.00]	[205.00]	[612.00]
[720.00]	[324.00]	[143.00]	[417.00]	[195.00]	[531.00]	[207.00]	[616.00]
[760.00]	[326.00]	[147.00]	[413.00]	[211.00]	[528.00]	[207.00]	[613.00]
[800.00]	[329.00]	[148.00]	[410.00]	[217.00]	[525.00]	[208.00]	[614.00]
[840.00]	[328.00]	[149.00]	[406.00]	[221.00]	[523.00]	[208.00]	[606.00]
[880.00]	[328.00]	[149.00]	[403.00]	[225.00]	[519.00]	[209.00]	[597.00]
[920.00]	[328.00]	[147.00]	[400.00]	[228.00]	[514.00]	[208.00]	[587.00]
[960.00]	[329.00]	[148.00]	[389.00]	[235.00]	[500.00]	[209.00]	[553.00]
[1000.00]	[328.00]	[148.00]	[381.00]	[238.00]	[491.00]	[210.00]	[533.00]
[1040.00]	[327.00]	[149.00]	[374.00]	[241.00]	[485.00]	[208.00]	[518.00]
[1080.00]	[326.00]	[149.00]	[369.00]	[243.00]	[475.00]	[209.00]	[502.00]
[1120.00]	[324.00]	[149.00]	[364.00]	[243.00]	[469.00]	[211.00]	[483.00]
[1160.00]	[325.00]	[151.00]	[353.00]	[248.00]	[454.00]	[212.00]	[451.00]
[1200.00]	[324.00]	[152.00]	[346.00]	[255.00]	[448.00]	[212.00]	[435.00]
[1240.00]	[324.00]	[155.00]	[343.00]	[256.00]	[441.00]	[214.00]	[419.00]
[1280.00]	[326.00]	[157.00]	[335.00]	[258.00]	[437.00]	[215.00]	[406.00]
[1320.00]	[325.00]	[157.00]	[333.00]	[259.00]	[428.00]	[214.00]	[389.00]
[1360.00]	[324.00]	[159.00]	[322.00]	[261.00]	[417.00]	[216.00]	[365.00]
[1400.00]	[326.00]	[162.00]	[317.00]	[263.00]	[412.00]	[217.00]	[357.00]
[1440.00]	[324.00]	[162.00]	[314.00]	[262.00]	[406.00]	[217.00]	[344.00]
[1480.00]	[324.00]	[162.00]	[308.00]	[263.00]	[403.00]	[217.00]	[338.00]
[1520.00]	[324.00]	[164.00]	[306.00]	[262.00]	[400.00]	[217.00]	[332.00]
[1560.00]	[324.00]	[164.00]	[303.00]	[261.00]	[398.00]	[217.00]	[326.00]
[1600.00]	[324.00]	[165.00]	[302.00]	[262.00]	[396.00]	[218.00]	[327.00]

Columns 9 through 15

'Schulter'	'Ellbogen'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Handgelenk'	'Kopf'	'Kopf'
'z'	'x'	'z'	'x'	'z'	'x'	'z'
'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[316.00]	[266.00]	[279.00]	[212.00]	[257.00]	[318.00]	[355.00]
[316.00]	[266.00]	[279.00]	[211.00]	[258.00]	[317.00]	[355.00]
[321.00]	[282.00]	[281.00]	[228.00]	[261.00]	[334.00]	[358.00]
[325.00]	[312.00]	[281.00]	[256.00]	[261.00]	[367.00]	[365.00]
[327.00]	[335.00]	[281.00]	[272.00]	[265.00]	[387.00]	[369.00]
[329.00]	[350.00]	[285.00]	[284.00]	[269.00]	[408.00]	[372.00]
[329.00]	[363.00]	[290.00]	[293.00]	[271.00]	[427.00]	[373.00]
[330.00]	[379.00]	[293.00]	[309.00]	[275.00]	[447.00]	[377.00]
[335.00]	[416.00]	[296.00]	[352.00]	[283.00]	[485.00]	[381.00]
[336.00]	[431.00]	[297.00]	[361.00]	[282.00]	[504.00]	[382.00]
[338.00]	[453.00]	[297.00]	[381.00]	[287.00]	[522.00]	[382.00]
[334.00]	[476.00]	[295.00]	[398.00]	[289.00]	[538.00]	[381.00]

[333.00]	[489.00]	[290.00]	[420.00]	[291.00]	[551.00]	[380.00]		
[324.00]	[527.00]	[273.00]	[458.00]	[284.00]	[570.00]	[372.00]		
[321.00]	[546.00]	[260.00]	[479.00]	[276.00]	[576.00]	[369.00]		
[315.00]	[570.00]	[245.00]	[500.00]	[269.00]	[576.00]	[364.00]		
[314.00]	[590.00]	[236.00]	[518.00]	[262.00]	[578.00]	[361.00]		
[311.00]	[610.00]	[227.00]	[537.00]	[258.00]	[577.00]	[360.00]		
[315.00]	[635.00]	[229.00]	[569.00]	[255.00]	[571.00]	[362.00]		
[312.00]	[634.00]	[231.00]	[569.00]	[256.00]	[566.00]	[362.00]		
[317.00]	[623.00]	[229.00]	[562.00]	[261.00]	[561.00]	[364.00]		
[318.00]	[613.00]	[233.00]	[545.00]	[263.00]	[554.00]	[365.00]		
[320.00]	[597.00]	[233.00]	[526.00]	[267.00]	[538.00]	[370.00]		
[324.00]	[551.00]	[240.00]	[482.00]	[269.00]	[513.00]	[375.00]		
[328.00]	[521.00]	[246.00]	[459.00]	[272.00]	[500.00]	[378.00]		
[329.00]	[497.00]	[251.00]	[435.00]	[275.00]	[487.00]	[377.00]		
[330.00]	[478.00]	[256.00]	[415.00]	[273.00]	[472.00]	[379.00]		
[329.00]	[449.00]	[261.00]	[389.00]	[277.00]	[458.00]	[379.00]		
[331.00]	[402.00]	[272.00]	[342.00]	[277.00]	[427.00]	[379.00]		
[331.00]	[384.00]	[278.00]	[326.00]	[276.00]	[414.00]	[379.00]		
[331.00]	[364.00]	[280.00]	[305.00]	[271.00]	[400.00]	[377.00]		
[330.00]	[342.00]	[285.00]	[289.00]	[272.00]	[387.00]	[376.00]		
[329.00]	[325.00]	[287.00]	[274.00]	[273.00]	[373.00]	[375.00]		
[326.00]	[297.00]	[289.00]	[242.00]	[273.00]	[353.00]	[372.00]		
[326.00]	[285.00]	[289.00]	[229.00]	[274.00]	[343.00]	[368.00]		
[322.00]	[276.00]	[288.00]	[220.00]	[272.00]	[335.00]	[365.00]		
[321.00]	[264.00]	[288.00]	[211.00]	[272.00]	[329.00]	[364.00]		
[320.00]	[264.00]	[289.00]	[206.00]	[270.00]	[325.00]	[363.00]		
[317.00]	[256.00]	[288.00]	[197.00]	[271.00]	[320.00]	[362.00]		
[319.00]	[257.00]	[288.00]	[197.00]	[270.00]	[319.00]	[362.00]		

(MATLAB-Ausgabe von `dlt_koordinaten=umrechnung(daten,L)`)

12.4. schwerpunkt.m

```
koordinatensp=schwerpunkt(koordinaten)
```

koordinatensp =

Columns 1 through 9

'Zeit'	'Sprunggel'	'Sprunggel'	'Knie'	'Knie'	'Hüfte'	'Hüfte'	'Schulter'	'Schulter'
'time'	'x'	'z'	'x'	'z'	'x'	'z'	'x'	'z'
'ms'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[40]	[322.00]	[162.00]	[307.00]	[263.00]	[402.00]	[219.00]	[338.00]	[316.00]
[80]	[322.00]	[163.00]	[309.00]	[263.00]	[403.00]	[219.00]	[339.00]	[316.00]
[120]	[320.00]	[159.00]	[317.00]	[261.00]	[414.00]	[218.00]	[355.00]	[321.00]
[160]	[318.00]	[154.00]	[329.00]	[256.00]	[430.00]	[217.00]	[385.00]	[325.00]
[200]	[317.00]	[152.00]	[337.00]	[252.00]	[446.00]	[218.00]	[403.00]	[327.00]
[240]	[318.00]	[152.00]	[348.00]	[249.00]	[457.00]	[217.00]	[425.00]	[329.00]
[280]	[318.00]	[150.00]	[359.00]	[246.00]	[467.00]	[216.00]	[446.00]	[329.00]
[320]	[318.00]	[151.00]	[366.00]	[242.00]	[479.00]	[217.00]	[464.00]	[330.00]
[360]	[320.00]	[148.00]	[384.00]	[231.00]	[496.00]	[216.00]	[493.00]	[335.00]
[400]	[320.00]	[148.00]	[391.00]	[222.00]	[504.00]	[216.00]	[510.00]	[336.00]
[440]	[319.00]	[149.00]	[397.00]	[217.00]	[512.00]	[215.00]	[530.00]	[338.00]

[480]	[320.00]	[147.00]	[403.00]	[208.00]	[518.00]	[215.00]	[545.00]	[334.00]
[520]	[320.00]	[146.00]	[410.00]	[202.00]	[520.00]	[212.00]	[559.00]	[333.00]
[560]	[320.00]	[145.00]	[416.00]	[191.00]	[526.00]	[210.00]	[587.00]	[324.00]
[600]	[322.00]	[143.00]	[418.00]	[187.00]	[528.00]	[208.00]	[597.00]	[321.00]
[640]	[322.00]	[142.00]	[419.00]	[182.00]	[530.00]	[207.00]	[606.00]	[315.00]
[680]	[324.00]	[142.00]	[419.00]	[186.00]	[531.00]	[205.00]	[612.00]	[314.00]
[720]	[324.00]	[143.00]	[417.00]	[195.00]	[531.00]	[207.00]	[616.00]	[311.00]
[760]	[326.00]	[147.00]	[413.00]	[211.00]	[528.00]	[207.00]	[613.00]	[315.00]
[800]	[329.00]	[148.00]	[410.00]	[217.00]	[525.00]	[208.00]	[614.00]	[312.00]
[840]	[328.00]	[149.00]	[406.00]	[221.00]	[523.00]	[208.00]	[606.00]	[317.00]
[880]	[328.00]	[149.00]	[403.00]	[225.00]	[519.00]	[209.00]	[597.00]	[318.00]
[920]	[328.00]	[147.00]	[400.00]	[228.00]	[514.00]	[208.00]	[587.00]	[320.00]
[960]	[329.00]	[148.00]	[389.00]	[235.00]	[500.00]	[209.00]	[553.00]	[324.00]
[1000]	[328.00]	[148.00]	[381.00]	[238.00]	[491.00]	[210.00]	[533.00]	[328.00]
[1040]	[327.00]	[149.00]	[374.00]	[241.00]	[485.00]	[208.00]	[518.00]	[329.00]
[1080]	[326.00]	[149.00]	[369.00]	[243.00]	[475.00]	[209.00]	[502.00]	[330.00]
[1120]	[324.00]	[149.00]	[364.00]	[243.00]	[469.00]	[211.00]	[483.00]	[329.00]
[1160]	[325.00]	[151.00]	[353.00]	[248.00]	[454.00]	[212.00]	[451.00]	[331.00]
[1200]	[324.00]	[152.00]	[346.00]	[255.00]	[448.00]	[212.00]	[435.00]	[331.00]
[1240]	[324.00]	[155.00]	[343.00]	[256.00]	[441.00]	[214.00]	[419.00]	[331.00]
[1280]	[326.00]	[157.00]	[335.00]	[258.00]	[437.00]	[215.00]	[406.00]	[330.00]
[1320]	[325.00]	[157.00]	[333.00]	[259.00]	[428.00]	[214.00]	[389.00]	[329.00]
[1360]	[324.00]	[159.00]	[322.00]	[261.00]	[417.00]	[216.00]	[365.00]	[326.00]
[1400]	[326.00]	[162.00]	[317.00]	[263.00]	[412.00]	[217.00]	[357.00]	[326.00]
[1440]	[324.00]	[162.00]	[314.00]	[262.00]	[406.00]	[217.00]	[344.00]	[322.00]
[1480]	[324.00]	[162.00]	[308.00]	[263.00]	[403.00]	[217.00]	[338.00]	[321.00]
[1520]	[324.00]	[164.00]	[306.00]	[262.00]	[400.00]	[217.00]	[332.00]	[320.00]
[1560]	[324.00]	[164.00]	[303.00]	[261.00]	[398.00]	[217.00]	[326.00]	[317.00]
[1600]	[324.00]	[165.00]	[302.00]	[262.00]	[396.00]	[218.00]	[327.00]	[319.00]

Columns 10 through 17

'Ellbogen'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Handgelenk'	'Kopf'	'Kopf'	'SP'	'SP'
'x'	'z'	'x'	'z'	'x'	'z'	'x'	'z'
'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[266]	[279.00]	[212.00]	[257.00]	[318.00]	[355.00]	[347.80]	[262.10]
[266]	[279.00]	[211.00]	[258.00]	[317.00]	[355.00]	[348.60]	[262.20]
[282]	[281.00]	[228.00]	[261.00]	[334.00]	[358.00]	[360.48]	[263.07]
[312]	[281.00]	[256.00]	[261.00]	[367.00]	[365.00]	[380.77]	[263.34]
[335]	[281.00]	[272.00]	[265.00]	[387.00]	[369.00]	[395.58]	[264.02]
[350]	[285.00]	[284.00]	[269.00]	[408.00]	[372.00]	[409.89]	[264.32]
[363]	[290.00]	[293.00]	[271.00]	[427.00]	[373.00]	[423.15]	[263.74]
[379]	[293.00]	[309.00]	[275.00]	[447.00]	[377.00]	[436.18]	[264.48]
[416]	[296.00]	[352.00]	[283.00]	[485.00]	[381.00]	[458.79]	[264.48]
[431]	[297.00]	[361.00]	[282.00]	[504.00]	[382.00]	[469.75]	[263.63]
[453]	[297.00]	[381.00]	[287.00]	[522.00]	[382.00]	[481.85]	[263.37]
[476]	[295.00]	[398.00]	[289.00]	[538.00]	[381.00]	[491.78]	[260.80]
[489]	[290.00]	[420.00]	[291.00]	[551.00]	[380.00]	[499.55]	[258.34]
[527]	[273.00]	[458.00]	[284.00]	[570.00]	[372.00]	[514.45]	[252.04]
[546]	[260.00]	[479.00]	[276.00]	[576.00]	[369.00]	[520.22]	[248.81]
[570]	[245.00]	[500.00]	[269.00]	[576.00]	[364.00]	[525.13]	[244.85]

[590]	[236.00]	[518.00]	[262.00]	[578.00]	[361.00]	[528.78]	[243.58]
[610]	[227.00]	[537.00]	[258.00]	[577.00]	[360.00]	[530.88]	[244.21]
[635]	[229.00]	[569.00]	[255.00]	[57.001]	[362.00]	[530.00]	[247.92]
[634]	[231.00]	[569.00]	[256.00]	[566.00]	[362.00]	[528.56]	[248.44]
[623]	[229.00]	[562.00]	[261.00]	[561.00]	[364.00]	[523.96]	[250.68]
[613]	[233.00]	[545.00]	[263.00]	[554.00]	[365.00]	[518.14]	[252.16]
[597]	[233.00]	[526.00]	[267.00]	[538.00]	[370.00]	[510.65]	[253.13]
[551]	[240.00]	[482.00]	[269.00]	[513.00]	[375.00]	[489.59]	[256.35]
[521]	[246.00]	[459.00]	[272.00]	[500.00]	[378.00]	[476.72]	[258.79]
[497]	[251.00]	[435.00]	[275.00]	[487.00]	[377.00]	[466.65]	[259.02]
[478]	[256.00]	[415.00]	[273.00]	[472.00]	[379.00]	[455.28]	[260.23]
[449]	[261.00]	[389.00]	[277.00]	[458.00]	[379.00]	[443.97]	[260.99]
[402]	[272.00]	[342.00]	[277.00]	[427.00]	[379.00]	[422.48]	[263.15]
[384]	[278.00]	[326.00]	[276.00]	[414.00]	[379.00]	[412.61]	[264.37]
[364]	[280.00]	[305.00]	[271.00]	[400.00]	[377.00]	[402.69]	[265.22]
[342]	[285.00]	[289.00]	[272.00]	[387.00]	[376.00]	[394.31]	[265.87]
[325]	[287.00]	[274.00]	[273.00]	[373.00]	[375.00]	[383.73]	[265.39]
[297]	[289.00]	[242.00]	[273.00]	[353.00]	[372.00]	[367.85]	[265.53]
[285]	[289.00]	[229.00]	[274.00]	[343.00]	[368.00]	[361.62]	[266.09]
[276]	[288.00]	[220.00]	[272.00]	[335.00]	[365.00]	[354.01]	[264.51]
[264]	[288.00]	[211.00]	[272.00]	[329.00]	[364.00]	[349.23]	[264.28]
[264]	[289.00]	[206.00]	[270.00]	[325.00]	[363.00]	[345.73]	[263.90]
[256]	[288.00]	[197.00]	[271.00]	[320.00]	[362.00]	[341.94]	[262.86]
[257]	[288.00]	[197.00]	[270.00]	[319.00]	[362.00]	[341.32]	[263.96]

(MATLAB-Ausgabe von koordinatensp=schwerpunkt(koordinaten))

12.5. stabdiagramm.m

stabdiagramm(koordinatensp)

Die Animation wird nun als avi-Datei abgespeichert!

Mit welcher Geschwindigkeit soll die Animation abgespeichert werden?

Bitte geben Sie die ANZAHL DER BILDER ein, die PRO SEKUNDE abgespielt werden sollen.

Beispiel: Ein Bild alle 40 ms bedeutet: 1000/40 Bilder pro Sekunde: 25

Bitte geben Sie den Namen der Datei ein: rudern

(MATLAB-Ausgabe von stabdiagramm.,m)

12.6. verlauf.m

verlauf(koordinatensp)

ACHTUNG: Bitte schließen sich keine sich öffnenden Grafikfenster!!!

Nur so werden alle plots im selben Fenster abgebildet!

Sie können die Fenster jedoch minimieren.

Soll die Figur eingezeichnet werden?

Wenn ja geben Sie bitte 1 ein und wenn nein dann bitte 0: 1

Bitte geben Sie ein, von welchen der folgenden Punkte Sie den Verlauf dargestellt haben möchten.

Wollen Sie den entsprechenden Punkt haben so geben Sie bitte 1 ein, wenn nicht dann bitte 0

'Sprunggel'

0

'Knie'

0

'Hüfte'

1

'Schulter'

0

'Ellbogen'

0

'Handgelenk'

0

'Kopf'

1

'SP'

1

Bitte geben Sie den Namen der Datei ein:

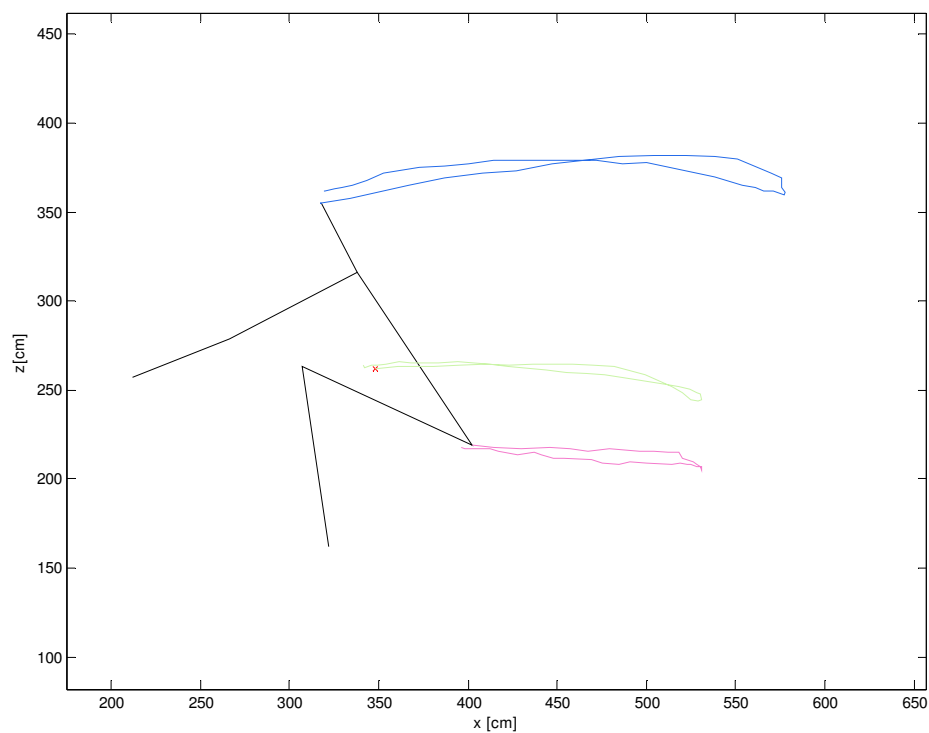
verlauf

Bitte geben Sie das Format ein:

Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff

-dbmp

(MATLAB-Ausgabe von verlauf.,m)



(Ausgabe eines Plotts)

12.7. dreieck.m

winkel=dreieck(koordinatenusp)

Jeder Punkt bekommt nun eine Nummer zugewiesen:

Nummer 1 ist: 'Sprunggel'

Nummer 2 ist: 'Knie'

Nummer 3 ist: 'Hüfte'

Nummer 4 ist: 'Schulter'

Nummer 5 ist: 'Ellbogen'

Nummer 6 ist: 'Handgelenk'

Nummer 7 ist: 'Kopf'

Nummer 8 ist: 'SP'

Welche Winkel wollen sie berechnen?

Jeder Winkel wird durch drei Punkte angegeben und die Messung erfolgt gegen den Urzeigersinn.

Sie müssen also nicht nur den Punkt angeben, in dem Sie den Winkel ermitteln wollen (Scheitelpunkt), sondern auch seine Nachbarpunkte (Schenkelpunkte).

NB1 sei der Nachbar, der gegen den Uhrzeigersinn gemessen zuerst kommt und NB2 der andere.

Geben Sie die Tripel durch die zugehörigen Nummern bitte wie folgt ein:

[NB1 Scheitel NB2 ; NB1 Scheitel NB2 ; ...]:

[1 2 3; 4 3 2]

Bitte geben Sie den Namen der Datei ein:

winkel

Bitte geben Sie das Format ein:

Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff

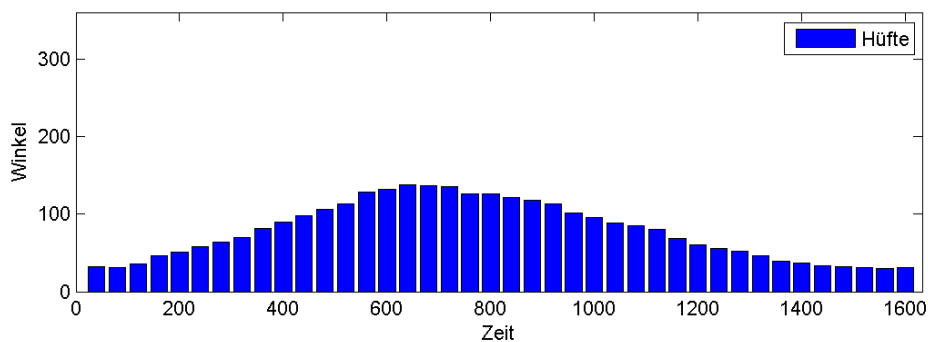
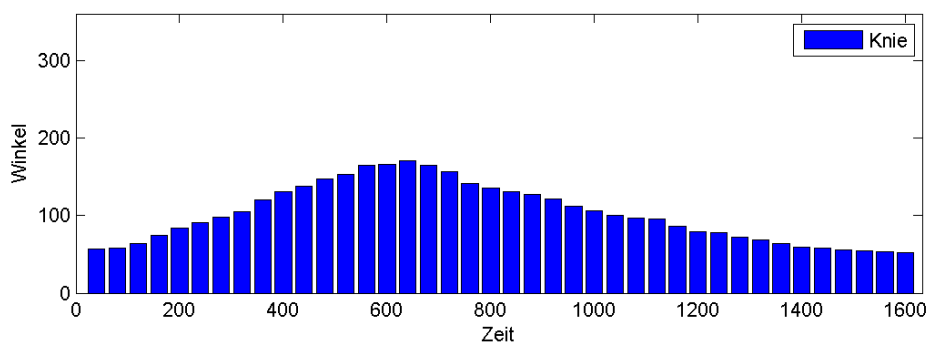
-dbmp

winkel =

'Zeit'	'Knie'	'Hüfte'
'ms'	'winkel'	'winkel'
[40.00]	[56.70]	[31.73]
[80.00]	[57.51]	[31.50]
[120.00]	[64.41]	[36.29]
[160.00]	[75.04]	[46.27]
[200.00]	[83.99]	[51.15]
[240.00]	[90.82]	[57.69]
[280.00]	[97.60]	[63.95]
[320.00]	[105.34]	[69.96]
[360.00]	[120.01]	[80.93]
[400.00]	[130.78]	[89.82]
[440.00]	[137.92]	[97.33]
[480.00]	[147.17]	[106.27]

[520.00]	[153.30]	[113.06]
[560.00]	[164.20]	[127.95]
[600.00]	[166.18]	[132.22]
[640.00]	[170.28]	[137.83]
[680.00]	[164.78]	[136.24]
[720.00]	[156.80]	[135.27]
[760.00]	[141.67]	[126.21]
[800.00]	[135.10]	[126.08]
[840.00]	[130.95]	[120.95]
[880.00]	[126.77]	[117.73]
[920.00]	[121.68]	[113.15]
[960.00]	[111.41]	[101.56]
[1000.00]	[106.21]	[95.31]
[1040.00]	[100.50]	[88.70]
[1080.00]	[96.80]	[84.80]
[1120.00]	[96.10]	[79.82]
[1160.00]	[86.48]	[68.94]
[1200.00]	[79.20]	[60.91]
[1240.00]	[77.46]	[56.15]
[1280.00]	[72.23]	[52.05]
[1320.00]	[69.14]	[45.92]
[1360.00]	[63.53]	[39.35]
[1400.00]	[59.07]	[37.39]
[1440.00]	[58.22]	[33.37]
[1480.00]	[55.16]	[32.16]
[1520.00]	[54.01]	[30.99]
[1560.00]	[52.93]	[29.39]
[1600.00]	[52.14]	[30.58]

(MATLAB-Ausgabe von dreieck.,m)



(Winkel.bmp)

12.8. pythagoras.m

[weg, dist]=pythagoras(koordinaten)

weg =

'Zeit'	'Sprunggel'	'Knie'	'Hüfte'	'Schulter'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Kopf'	'SP'
'ms'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[0]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
[40]	[1.00]	[2.00]	[1.00]	[1.00]	[0.00]	[1.41]	[1.00]	[0.81]
[80]	[5.47]	[10.25]	[12.05]	[17.76]	[16.12]	[18.68]	[18.26]	[12.72]
[120]	[10.86]	[23.25]	[28.08]	[48.03]	[46.12]	[46.68]	[52.00]	[33.01]
[160]	[13.09]	[32.19]	[44.11]	[66.14]	[69.12]	[63.17]	[72.39]	[47.84]
[200]	[14.09]	[43.59]	[55.15]	[88.23]	[84.65]	[75.82]	[93.61]	[62.15]
[240]	[16.09]	[54.99]	[65.20]	[109.23]	[98.58]	[85.04]	[112.63]	[75.43]
[280]	[17.09]	[63.06]	[77.24]	[127.26]	[114.86]	[101.53]	[133.03]	[88.48]
[320]	[20.70]	[84.15]	[94.27]	[156.69]	[151.98]	[145.27]	[171.24]	[111.08]
[360]	[20.70]	[95.55]	[102.27]	[173.72]	[167.01]	[154.32]	[190.26]	[122.08]
[400]	[22.11]	[103.36]	[110.34]	[193.81]	[189.01]	[174.94]	[208.26]	[134.19]
[440]	[24.35]	[114.18]	[116.34]	[209.34]	[212.10]	[192.06]	[224.30]	[144.43]
[480]	[25.35]	[123.40]	[119.94]	[223.37]	[226.03]	[214.15]	[237.33]	[152.59]
[520]	[26.35]	[135.93]	[126.27]	[252.79]	[267.66]	[252.79]	[257.95]	[168.77]
[560]	[29.18]	[140.40]	[129.09]	[263.23]	[290.68]	[275.26]	[264.66]	[175.38]
[6009]	[30.18]	[145.50]	[131.33]	[274.04]	[318.98]	[297.39]	[269.66]	[181.69]
[640]	[32.18]	[149.50]	[133.57]	[280.13]	[340.91]	[316.71]	[273.26]	[185.55]
[680]	[33.18]	[158.72]	[135.57]	[285.13]	[362.84]	[336.12]	[274.68]	[187.75]
[720]	[37.65]	[175.21]	[138.57]	[290.13]	[387.92]	[368.26]	[281.00]	[191.56]
[760]	[40.81]	[181.92]	[141.73]	[293.29]	[390.16]	[369.26]	[286.00]	[193.09]
[800]	[42.23]	[187.58]	[143.73]	[302.72]	[401.34]	[377.87]	[291.39]	[198.21]
[840]	[42.23]	[192.58]	[147.85]	[311.78]	[412.11]	[394.98]	[298.46]	[204.21]
[880]	[44.23]	[196.82]	[152.95]	[321.97]	[428.11]	[414.40]	[315.22]	[211.76]
[920]	[45.64]	[209.86]	[166.99]	[356.21]	[474.64]	[458.45]	[340.72]	[233.06]
[960]	[46.64]	[218.40]	[176.04]	[376.61]	[505.23]	[481.64]	[354.06]	[246.17]
[1000]	[48.05]	[226.02]	[182.37]	[391.64]	[529.75]	[505.83]	[367.10]	[256.23]
[1040]	[49.05]	[231.40]	[192.42]	[407.67]	[549.39]	[525.93]	[382.23]	[267.68]
[1080]	[51.05]	[236.40]	[198.74]	[426.70]	[578.82]	[552.23]	[396.23]	[279.01]
[1120]	[53.29]	[248.49]	[213.77]	[458.76]	[627.09]	[599.23]	[427.23]	[300.60]
[1160]	[54.70]	[258.39]	[219.77]	[474.76]	[646.07]	[615.26]	[440.23]	[310.55]
[1200]	[57.70]	[261.55]	[227.05]	[490.76]	[666.17]	[636.85]	[454.37]	[320.51]
[1240]	[60.53]	[269.79]	[231.18]	[503.80]	[688.73]	[652.88]	[467.41]	[328.91]
[1280]	[61.53]	[272.03]	[240.23]	[520.83]	[705.84]	[667.92]	[481.45]	[339.50]
[1320]	[63.77]	[283.21]	[251.41]	[545.01]	[733.92]	[699.92]	[501.67]	[355.38]
[1360]	[67.38]	[288.60]	[256.51]	[553.01]	[745.92]	[712.95]	[512.44]	[361.64]
[1400]	[69.38]	[291.76]	[262.51]	[566.61]	[754.97]	[722.17]	[520.98]	[369.41]
[1440]	[69.38]	[297.84]	[265.51]	[572.70]	[766.97]	[731.17]	[527.07]	[374.20]
[1480]	[71.38]	[300.08]	[268.51]	[578.78]	[767.97]	[736.56]	[531.19]	[377.72]
[1520]	[71.38]	[303.24]	[270.51]	[585.49]	[776.03]	[745.61]	[536.29]	[381.65]
[1560]	[72.38]	[304.65]	[272.75]	[587.72]	[777.03]	[746.61]	[537.29]	[382.91]

dist =								
'Zeit'	'Sprunggell'	'Knie'	'Hüfte'	'Schulter'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Kopf'	'SP'
'ms'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[0]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]
[40]	[1,00]	[2,00]	[1,00]	[1,00]	[0,00]	[1,41]	[1,00]	[0,81]
[80]	[3,61]	[10,20]	[12,04]	[17,72]	[16,12]	[16,49]	[16,28]	[12,72]
[120]	[8,94]	[23,09]	[28,07]	[47,85]	[46,04]	[44,18]	[50,01]	[33,00]
[160]	[11,18]	[31,95]	[44,01]	[65,92]	[69,03]	[60,53]	[70,41]	[47,83]
[200]	[10,77]	[43,32]	[55,04]	[87,97]	[84,21]	[72,99]	[91,59]	[62,13]
[240]	[12,65]	[54,71]	[65,07]	[108,78]	[97,62]	[82,20]	[110,48]	[75,38]
[280]	[11,70]	[62,63]	[77,03]	[126,78]	[113,86]	[98,66]	[130,86]	[88,42]
[320]	[14,14]	[83,38]	[94,05]	[156,16]	[150,96]	[142,39]	[169,01]	[111,02]
[360]	[14,14]	[93,47]	[102,04]	[173,16]	[165,98]	[151,08]	[187,95]	[121,96]
[400]	[13,34]	[101,07]	[110,07]	[193,26]	[187,86]	[171,64]	[205,78]	[134,06]
[440]	[15,13]	[110,64]	[116,07]	[207,78]	[210,61]	[188,73]	[221,53]	[143,98]
[480]	[16,12]	[119,71]	[118,21]	[221,65]	[223,27]	[210,76]	[234,34]	[151,80]
[520]	[17,12]	[130,63]	[124,33]	[249,13]	[261,07]	[247,48]	[252,57]	[166,96]
[560]	[19,00]	[134,53]	[126,48]	[259,05]	[280,64]	[267,68]	[258,38]	[172,93]
[600]	[20,00]	[138,22]	[128,56]	[268,00]	[305,90]	[288,25]	[258,16]	[178,17]
[640]	[20,10]	[135,92]	[129,76]	[274,01]	[326,84]	[306,04]	[260,07]	[181,93]
[680]	[19,10]	[129,32]	[129,56]	[278,04]	[347,91]	[325,00]	[259,05]	[183,95]
[720]	[15,52]	[118,07]	[126,57]	[275,00]	[372,37]	[357,01]	[253,10]	[182,75]
[760]	[15,65]	[112,81]	[123,49]	[276,03]	[371,12]	[357,00]	[248,10]	[181,28]
[800]	[14,32]	[107,54]	[121,50]	[268,00]	[360,48]	[350,02]	[243,17]	[176,53]
[840]	[14,32]	[103,25]	[117,43]	[259,01]	[350,04]	[333,05]	[236,21]	[170,63]
[880]	[16,16]	[99,37]	[112,54]	[249,03]	[334,18]	[314,16]	[220,51]	[163,10]
[920]	[15,65]	[86,65]	[98,51]	[215,15]	[287,66]	[270,27]	[196,02]	[141,91]
[960]	[15,23]	[78,11]	[89,45]	[195,37]	[257,13]	[247,46]	[183,45]	[128,96]
[1000]	[13,93]	[70,52]	[83,73]	[180,47]	[232,69]	[223,73]	[170,43]	[118,90]
[1040]	[13,60]	[65,15]	[73,68]	[164,60]	[213,24]	[203,63]	[155,86]	[107,50]
[1080]	[13,15]	[60,41]	[67,48]	[145,58]	[183,88]	[178,13]	[142,04]	[96,18]
[1120]	[11,40]	[48,38]	[52,47]	[113,99]	[136,18]	[131,53]	[111,61]	[74,69]
[1160]	[10,20]	[39,81]	[46,53]	[98,15]	[118,00]	[115,57]	[98,95]	[64,86]
[1200]	[7,28]	[36,67]	[39,32]	[82,38]	[98,01]	[94,05]	[84,90]	[54,98]
[1240]	[6,40]	[28,44]	[35,23]	[69,43]	[76,24]	[78,45]	[72,12]	[46,67]
[1280]	[5,83]	[26,31]	[26,48]	[52,63]	[59,54]	[64,03]	[58,52]	[36,09]
[1320]	[3,61]	[15,13]	[15,30]	[28,79]	[32,57]	[34,00]	[38,91]	[20,35]
[1360]	[4,00]	[10,00]	[10,20]	[21,47]	[21,47]	[24,04]	[28,18]	[14,39]
[1400]	[2,00]	[7,07]	[4,47]	[8,49]	[13,45]	[17,00]	[19,72]	[6,66]
[1440]	[2,00]	[1,00]	[2,24]	[5,00]	[9,22]	[15,03]	[14,21]	[2,61]
[1480]	[2,83]	[1,41]	[2,83]	[7,21]	[10,20]	[14,32]	[10,63]	[2,76]
[1520]	[2,83]	[4,47]	[4,47]	[12,04]	[13,45]	[20,52]	[7,28]	[5,90]
[1560]	[3,61]	[5,10]	[6,08]	[11,40]	[12,73]	[19,85]	[7,07]	[6,74]

(MATLAB-Ausgabe von pythagoras.,m)

12.9. glaetten.m

12.9.1.Beispiel 1

```
wegglatt=glaetten(weg)
```

```
wegglatt =
```

'Zeit'	'Sprunggell'	'Knie'	'Hüfte'	'Schulter'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Kopf'	'SP'
'ms'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[0]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]	[0,00]
[40]	[3,47]	[7,10]	[8,22]	[13,36]	[12,45]	[13,35]	[14,25]	[9,31]
[80]	[6,08]	[13,54]	[17,05]	[26,59]	[26,27]	[25,99]	[28,73]	[18,88]
[120]	[8,90]	[22,26]	[28,08]	[44,23]	[43,20]	[41,15]	[47,45]	[31,31]
[160]	[11,92]	[32,85]	[40,92]	[65,88]	[62,92]	[57,88]	[69,78]	[46,23]
[200]	[14,25]	[43,42]	[53,96]	[87,78]	[82,67]	[74,45]	[92,73]	[61,38]
[240]	[16,21]	[55,60]	[67,20]	[109,51]	[103,84]	[94,16]	[116,58]	[77,00]
[280]	[17,74]	[68,27]	[78,83]	[131,02]	[123,41]	[112,40]	[140,15]	[91,84]
[320]	[19,34]	[80,22]	[89,87]	[152,14]	[144,29]	[132,22]	[163,09]	[106,25]
[360]	[20,99]	[92,06]	[100,09]	[172,16]	[166,99]	[153,62]	[185,42]	[120,05]
[400]	[22,64]	[104,13]	[108,63]	[191,39]	[189,22]	[176,15]	[206,28]	[132,87]
[440]	[23,77]	[114,49]	[115,03]	[210,61]	[212,36]	[197,65]	[223,62]	[144,41]
[480]	[25,47]	[123,45]	[120,40]	[228,51]	[237,09]	[221,84]	[238,50]	[155,07]
[520]	[27,08]	[131,88]	[124,59]	[244,55]	[263,09]	[246,33]	[250,78]	[164,57]
[560]	[28,65]	[138,95]	[128,04]	[258,71]	[288,85]	[271,26]	[260,57]	[172,80]
[600]	[30,21]	[146,01]	[131,17]	[271,06]	[316,21]	[295,65]	[268,04]	[179,83]
[640]	[32,47]	[153,87]	[133,63]	[278,53]	[340,27]	[318,75]	[272,65]	[184,39]
[680]	[34,80]	[162,17]	[136,15]	[284,54]	[360,16]	[337,55]	[276,92]	[187,93]
[720]	[37,21]	[170,59]	[138,63]	[290,28]	[376,63]	[353,65]	[281,27]	[191,23]
[760]	[39,22]	[179,20]	[141,49]	[296,61]	[390,87]	[369,30]	[286,31]	[194,96]
[800]	[41,43]	[186,82]	[144,97]	[303,98]	[403,93]	[384,96]	[294,41]	[199,77]
[840]	[43,03]	[193,75]	[150,65]	[317,19]	[421,27]	[402,99]	[306,36]	[208,07]
[880]	[44,19]	[201,05]	[157,51]	[333,86]	[444,29]	[425,479]	[319,97]	[218,68]
[920]	[45,36]	[208,74]	[165,24]	[351,64]	[469,97]	[451,06]	[335,11]	[230,29]
[960]	[46,72]	[216,50]	[174,15]	[370,82]	[497,42]	[477,25]	[351,86]	[242,98]
[1000]	[48,09]	[224,42]	[183,31]	[391,76]	[527,57]	[504,82]	[368,07]	[256,43]
[1040]	[49,62]	[232,14]	[192,67]	[412,27]	[558,06]	[532,97]	[385,37]	[269,94]
[1080]	[51,23]	[240,14]	[201,41]	[431,90]	[586,22]	[559,70]	[402,60]	[282,81]
[1120]	[53,16]	[247,25]	[210,35]	[451,73]	[613,51]	[585,90]	[420,06]	[295,67]
[1160]	[55,46]	[254,92]	[218,10]	[470,95]	[641,37]	[611,29]	[437,09]	[307,92]
[1200]	[57,55]	[262,05]	[226,40]	[489,78]	[666,78]	[634,43]	[454,14]	[320,01]
[1240]	[59,65]	[268,99]	[233,93]	[507,03]	[688,14]	[654,57]	[469,03]	[330,97]
[1280]	[62,18]	[275,04]	[241,28]	[522,68]	[708,11]	[674,10]	[483,47]	[341,19]
[1320]	[64,52]	[281,08]	[248,37]	[537,85]	[725,87]	[691,17]	[496,79]	[350,97]
[1360]	[66,29]	[286,69]	[255,24]	[551,63]	[741,52]	[706,83]	[508,72]	[360,03]
[1400]	[68,25]	[292,30]	[260,89]	[563,22]	[753,95]	[720,56]	[518,67]	[367,67]
[1440]	[69,78]	[296,30]	[264,71]	[571,32]	[762,37]	[729,70]	[525,59]	[372,92]
[1480]	[70,78]	[299,51]	[267,96]	[578,26]	[768,60]	[736,43]	[530,56]	[377,18]
[1520]	[71,38]	[302,09]	[270,01]	[582,48]	[773,01]	[741,32]	[533,82]	[379,88]
[1560]	[71,98]	[303,46]	[271,45]	[585,49]	[775,02]	[744,40]	[535,87]	[381,62]

(MATLAB-Ausgabe von glaetten.,m)

12.9.2.Beispiel 2

```
distglatt=glaetten(dist)
```

distglatt =

'Zeit'	'Sprunggel'	'Knie'	'Hüfte'	'Schulter'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Kopf'	'SP'
'ms'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'	'cm'
[0	[0	[0	[0	[0	[0	[0	[0	[0]
[40]	[2,71]	[7,06]	[8,22]	[13,31]	[12,43]	[12,42]	[13,46]	[9,30]
[80]	[4,95]	[13,45]	[17,02]	[26,50]	[26,24]	[24,52]	[27,54]	[18,87]
[120]	[7,10]	[22,11]	[28,03]	[44,09]	[43,08]	[39,12]	[45,86]	[31,30]
[160]	[9,43]	[32,65]	[40,85]	[65,65]	[62,61]	[55,28]	[67,75]	[46,21]
[200]	[11,05]	[43,14]	[53,84]	[87,46]	[82,15]	[71,71]	[90,67]	[61,35]
[240]	[12,09]	[55,20]	[67,04]	[109,12]	[103,14]	[91,35]	[114,47]	[76,95]
[280]	[12,68]	[67,50]	[78,64]	[130,57]	[122,53]	[109,47]	[137,98]	[91,78]
[320]	[13,20]	[79,05]	[89,65]	[151,63]	[143,26]	[129,20]	[160,82]	[106,17]
[360]	[13,69]	[90,24]	[99,85]	[171,43]	[165,86]	[150,50]	[183,03]	[119,89]
[400]	[14,58]	[101,66]	[108,09]	[190,40]	[187,74]	[172,92]	[203,72]	[132,56]
[440]	[15,17]	[111,11]	[114,14]	[209,00]	[209,76]	[193,94]	[220,43]	[143,75]
[480]	[16,14]	[119,32]	[119,03]	[226,17]	[232,69]	[217,26]	[234,52]	[153,95]
[520]	[17,47]	[126,75]	[122,73]	[241,12]	[256,30]	[240,58]	[245,00]	[162,77]
[560]	[18,47]	[131,80]	[125,47]	[254,37]	[279,54]	[264,04]	[252,70]	[170,36]
[600]	[19,06]	[133,72]	[127,74]	[265,65]	[304,47]	[286,89]	[257,65]	[176,79]
[640]	[18,75]	[131,21]	[128,19]	[270,82]	[326,73]	[308,79]	[257,75]	[179,95]
[680]	[18,08]	[126,87]	[127,59]	[274,22]	[344,83]	[326,66]	[255,69]	[181,62]
[720]	[16,94]	[120,73]	[126,17]	[274,22]	[355,74]	[339,01]	[252,70]	[181,29]
[760]	[15,78]	[114,20]	[123,71]	[271,22]	[360,38]	[344,42]	[247,92]	[179,03]
[800]	[15,19]	[108,21]	[120,31]	[265,41]	[357,64]	[342,25]	[240,22]	[174,86]
[840]	[15,22]	[101,92]	[114,69]	[253,44]	[340,69]	[324,90]	[228,80]	[166,69]
[880]	[15,14]	[94,98]	[107,89]	[237,31]	[317,90]	[302,99]	[215,87]	[156,23]
[920]	[15,06]	[87,58]	[100,33]	[219,81]	[292,34]	[277,73]	[201,32]	[144,70]
[960]	[14,91]	[79,96]	[91,58]	[200,92]	[264,98]	[251,85]	[185,25]	[132,07]
[1000]	[14,31]	[72,17]	[82,57]	[180,23]	[234,92]	[224,64]	[169,56]	[118,69]
[1040]	[13,46]	[64,51]	[73,36]	[160,00]	[204,62]	[196,89]	[152,68]	[105,24]
[1080]	[12,46]	[56,85]	[64,78]	[140,56]	[176,80]	[170,52]	[135,78]	[92,42]
[1120]	[11,13]	[50,08]	[55,90]	[120,94]	[149,86]	[144,58]	[118,67]	[79,64]
[1160]	[9,69]	[42,74]	[48,20]	[101,91]	[122,46]	[119,54]	[101,93]	[67,47]
[1200]	[8,22]	[35,92]	[40,00]	[83,32]	[97,59]	[96,73]	[85,22]	[55,46]
[1240]	[6,66]	[29,27]	[32,57]	[66,28]	[76,87]	[77,22]	[70,68]	[44,59]
[1280]	[5,42]	[23,31]	[25,30]	[50,94]	[57,57]	[58,91]	[56,53]	[34,49]
[1320]	[4,37]	[17,39]	[18,33]	[36,16]	[40,65]	[43,50]	[43,49]	[24,83]
[1360]	[3,49]	[11,90]	[11,74]	[23,28]	[27,25]	[30,82]	[31,91]	[16,02]
[1400]	[2,89]	[6,92]	[7,01]	[14,19]	[17,38]	[20,88]	[22,33]	[9,35]
[1440]	[2,73]	[4,79]	[4,84]	[10,84]	[13,56]	[18,18]	[16,00]	[6,46]
[1480]	[2,65]	[3,81]	[4,02]	[8,83]	[11,81]	17,34]	[11,78]	[4,93]
[1520]	[2,97]	[3,42]	[4,34]	[9,41]	[11,67]	[17,91]	[9,25]	[4,95]
[1560]	[3,29]	[4,24]	[5,11]	[10,69]	[12,37]	[18,88]	[7,82]	[5,78]

(MATLAB-Ausgabe von glaetten.,m)

12.10. ableitung.m

12.10.1. Beispiel 1

geschw=ableitung(distglatt)

Die wievielte Ableitung ist das: 1

In welcher Einheit ist die Zeit angegeben? (s=1 ms=0.001 min=60 h=3600 usw.)

Bitte geben Sie den entsprechenden Zahlenwert der Einheit ein: 0.001

In welcher Einheit ist der Weg angegeben? (m=1 cm=0.01 mm=0.001 nm=0.0001 km=1000 usw.)

Bitte geben Sie den entsprechenden Zahlenwert der Einheit ein: 0.01

geschw=

'Zeit'	'Sprunggell'	'Knie'	'Hüfte'	'Schulter'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Kopf'	'SP'
's'	'm/s'	'm/s'	'm/s'	'm/s'	'm/s'	'm/s'	'm/s'	'm/s'
[0,00]	[0,27]	[0,71]	[0,75]	[1,28]	[1,09]	[1,19]	[1,25]	[0,87]
[0,04]	[0,81]	[2,11]	[2,62]	[4,10]	[4,03]	[3,84]	[4,23]	[2,91]
[0,08]	[0,47]	[1,66]	[2,29]	[3,47]	[3,56]	[3,04]	[3,72]	[2,51]
[0,12]	[0,59]	[2,53]	[3,08]	[5,10]	[4,71]	[4,02]	[5,20]	[3,55]
[0,16]	[0,51]	[2,61]	[3,24]	[5,50]	[4,87]	[3,96]	[5,64]	[3,78]
[0,20]	[0,32]	[2,79]	[3,32]	[5,43]	[5,11]	[4,58]	[5,86]	[3,86]
[0,24]	[0,19]	[3,12]	[3,12]	[5,39]	[5,07]	[4,78]	[5,96]	[3,83]
[0,28]	[0,13]	[2,99]	[2,79]	[5,349]	[4,88]	[4,61]	[5,79]	[3,64]
[0,32]	[0,11]	[2,80]	[2,69]	[5,12]	[5,50]	[5,15]	[5,63]	[3,53]
[0,36]	[0,18]	[2,87]	[2,34]	[4,81]	[5,61]	[5,57]	[5,46]	[3,32]
[0,40]	[0,19]	[2,66]	[1,76]	[4,71]	[5,43]	[5,38]	[4,69]	[2,98]
[0,44]	[0,17]	[2,15]	[1,34]	[4,52]	[5,60]	[5,49]	[3,83]	[2,67]
[0,48]	[0,31]	[1,99]	[1,08]	[4,02]	[5,88]	[5,91]	[3,09]	[2,39]
[0,52]	[0,30]	[1,61]	[0,77]	[3,48]	[5,80]	[5,84]	[2,22]	[2,02]
[0,56]	[0,21]	[0,93]	[0,66]	[3,22]	[6,07]	[5,80]	[1,66]	[1,82]
[0,60]	[0,03]	[-0,11]	[0,36]	[2,04]	[6,05]	[5,67]	[0,62]	[1,20]
[0,64]	[-0,14]	[-0,93]	[-0,06]	[0,97]	[5,13]	[5,08]	[-0,37]	[0,55]
[0,68]	[-0,23]	[-1,32]	[-0,24]	[0,50]	[3,69]	[3,85]	[-0,62]	[0,20]
[0,72]	[-0,31]	[-1,66]	[-0,49]	[-0,44]	[1,87]	[2,20]	[-0,93]	[-0,35]
[0,76]	[-0,24]	[-1,56]	[-0,70]	[-1,00]	[0,51]	[0,69]	[-1,50]	[-0,74]
[0,80]	[-0,05]	[-1,50]	[-1,11]	[-2,17]	[-2,49]	[-2,52]	[-2,43]	[-1,52]
[0,84]	[0,01]	[-1,65]	[-1,61]	[-3,66]	[-5,31]	[-5,25]	[-3,11]	[-2,42]
[0,88]	[-0,03]	[-1,81]	[-1,78]	[-4,26]	[-6,09]	[-5,92]	[-3,40]	[-2,76]
[0,92]	[-0,01]	[-1,88]	[-2,05]	[-4,51]	[-6,60]	[-6,46]	[-3,90]	[-3,02]
[0,96]	[-0,09]	[-1,94]	[-2,24]	[-4,99]	[-7,19]	[-6,60]	[-3,97]	[-3,27]
[1,00]	[-0,19]	[-1,93]	[-2,30]	[-5,19]	[-7,70]	[-6,96]	[-4,05]	[-3,39]
[1,04]	[-0,23]	[-1,94]	[-2,21]	[-4,92]	[-7,29]	[-6,78]	[-4,26]	[-3,28]
[1,08]	[-0,29]	[-1,78]	[-2,21]	[-4,88]	[-6,74]	[-6,51]	[-4,26]	[-3,20]
[1,12]	[-0,36]	[-1,75]	[-2,06]	[-4,85]	[-6,83]	[-6,42]	[-4,22]	[-3,12]
[1,16]	[-0,36]	[-1,80]	[-1,97]	[-4,72]	[-6,68]	[-6,06]	[-4,24]	[-3,03]

[1,20]	[-0,39]	[-1,68]	[-1,99]	[-4,50]	[-5,64]	[-5,24]	[-3,91]	[-2,89]
[1,24]	[-0,36]	[-1,57]	[-1,81]	[-4,00]	[-4,94]	[-4,71]	[-3,54]	[-2,59]
[1,28]	[-0,28]	[-1,48]	[-1,78]	[-3,76]	[-4,61]	[-4,28]	[-3,44]	[-2,47]
[1,32]	[-0,24]	[-1,43]	[-1,73]	[-3,53]	[-3,78]	[-3,45]	[-3,08]	[-2,34]
[1,36]	[-0,20]	[-1,38]	[-1,48]	[-2,87]	[-3,00]	[-2,99]	[-2,70]	[-2,03]
[1,40]	[-0,09]	[-0,91]	[-0,84]	[-1,47]	[-1,68]	[-1,56]	[-1,99]	[-1,16]
[1,44]	[-0,03]	[-0,30]	[-0,33]	[-0,58]	[-0,56]	[-0,26]	[-1,28]	[-0,48]
[1,48]	[0,02]	[-0,22]	[-0,07]	[-0,22]	[-0,26]	[-0,06]	[-0,81]	[-0,22]
[1,52]	[0,11]	[80,13]	[0,22]	[0,41]	[0,17]	[0,30]	[-0,54]	[0,21]
[1,56]	[0,02]	[0,14]	[0,08]	[0,12]	[0,09]	[0,09]	[-0,09]	[0,10]

(MATLAB-Ausgabe von ableitung,,m)

12.10.2. Beispiel 2

beschl=ableitung(geschwglatt)

Die wievielte Ableitung ist das: 2

beschl =

'Zeit'	'Sprunggell'	'Knie'	'Hüfte'	'Schulter'	'Ellbogen'	'Handgelenk'	'Kopf'	'SP'
's'	'm/s ² '	'm/s ² '	'm/s ² '	'm/s ² '	'm/s ² '	'm/s ² '	'm/s ² '	'm/s ² '
[0,00]	[2,89]	[10,42]	[14,52]	[21,76]	[22,93]	[19,14]	[23,38]	[15,85]
[0,04]	[4,80]	[20,84]	[28,51]	[44,83]	[44,35]	[35,11]	[47,35]	[31,90]
[0,08]	[0,26]	[7,65]	[9,68]	[16,54]	[14,54]	[11,28]	[17,59]	[11,46]
[0,12]	[-1,50]	[8,30]	[8,80]	[14,61]	[14,42]	[12,31]	[17,35]	[10,78]
[0,16]	[-2,76]	[5,61]	[1,32]	[6,64]	[3,72]	[4,51]	[8,05]	[4,09]
[0,20]	[-1,82]	[4,42]	[0,95]	[6,24]	[6,10]	[7,31]	[7,44]	[3,60]
[0,24]	[-2,33]	[0,60]	[-3,53]	[-3,16]	[3,53]	[6,77]	[-0,18]	[-3,91]
[0,28]	[-1,04]	[1,10]	[-6,11]	[-3,55]	[2,72]	[6,67]	[-2,83]	[-3,21]
[0,32]	[-0,44]	[-3,09]	[-8,87]	[-3,73]	[1,36]	[2,64]	[-8,63]	[-5,39]
[0,36]	[0,41]	[-5,38]	[-8,58]	[-5,29]	[4,53]	[5,45]	[-12,12]	[-5,95]
[0,40]	[1,14]	[-4,99]	[-9,11]	[-7,87]	[3,43]	[5,68]	[-15,31]	[-6,94]
[0,44]	[0,64]	[-7,46]	[-9,38]	[-7,68]	[1,13]	[1,73]	[-18,30]	[-7,57]
[0,48]	[-0,36]	[-12,07]	[-7,50]	[-9,98]	[3,45]	[1,39]	[-19,69]	[-7,91]
[0,52]	[-1,11]	[-14,90]	[-6,90]	[-16,38]	[1,28]	[0,64]	[-21,01]	[-9,88]
[0,56]	[-2,12]	[-16,00]	[-6,89]	[-17,87]	[-6,38]	[-5,779]	[-20,21]	[-10,84]
[0,60]	[-3,09]	[-16,92]	[-6,36]	[-18,24]	[-15,59]	[-14,71]	[-16,82]	[-11,32]
[0,64]	[-2,89]	[-14,96]	[-6,46]	[-20,70]	[-23,00]	[-21,05]	[-15,49]	[-12,38]
[0,68]	[-1,36]	[-9,62]	[-7,09]	[-20,95]	[-34,76]	[-32,54]	[-15,84]	[-13,15]
[0,72]	[0,36]	[-4,78]	[-7,63]	[-21,83]	[-49,43]	[-48,37]	[-14,43]	[-14,30]
[0,76]	[0,86]	[-2,95]	[-7,74]	[-24,28]	[-52,17]	[-51,77]	[-13,42]	[-15,18]
[0,80]	[1,31]	[-1,60]	[-7,71]	[-22,06]	[-45,17]	[-45,96]	[-14,65]	[-14,04]
[0,84]	[1,38]	[-1,31]	[-7,91]	[-20,05]	[-40,88]	[-40,71]	[-14,21]	[-13,11]
[0,88]	[-0,05]	[-2,20]	[-7,19]	[-18,71]	[-33,87]	[-30,37]	[-10,13]	[-11,60]
[0,92]	[-1,11]	[-1,98]	[-4,30]	[-10,45]	[-17,22]	[-13,74]	[-6,55]	[-6,60]
[0,96]	[-1,20]	[-0,65]	[-2,48]	[-3,78]	[-5,06]	[-4,20]	[-5,18]	[-2,85]
[1,00]	[-1,57]	[0,58]	[-1,26]	[-2,58]	[-2,01]	[-1,28]	[-2,79]	[-1,41]
[1,04]	[-1,63]	[0,66]	[0,91]	[-0,26]	[-0,11]	[1,12]	[-1,34]	[0,40]
[1,08]	[-1,12]	[0,86]	[1,56]	[2,68]	[6,59]	[5,63]	[-0,76]	[1,94]
[1,12]	[-0,86]	[1,64]	[1,74]	[4,09]	[12,20]	[10,22]	[2,40]	[3,09]
[1,16]	[-0,33]	[1,74]	[2,15]	[5,09]	[10,62]	[10,30]	[3,96]	[3,60]

[1,20]	[0,39]	[1,49]	[1,91]	[6,04]	[12,42]	[13,08]	[4,67]	[3,74]
[1,24]	[0,65]	[1,75]	[1,60]	[7,30]	[17,38]	[15,28]	[6,71]	[4,09]
[1,28]	[1,16]	[2,67]	[4,00]	[12,26]	[19,09]	[16,29]	[8,71]	[6,72]
[1,32]	[1,70]	[5,39]	[6,87]	[16,86]	[20,96]	[20,86]	[10,41]	[9,98]
[1,36]	[1,52]	[6,43]	[7,91]	[17,10]	[22,25]	[22,32]	[12,51]	[10,81]
[1,40]	[1,72]	[6,94]	[9,45]	[19,15]	[21,05]	[19,92]	[12,96]	[12,23]
[1,44]	[1,55]	[8,15]	[9,28]	[18,39]	[18,09]	[17,58]	[13,23]	[12,38]
[1,48]	[0,73]	[6,61]	[6,13]	[11,10]	[12,19]	[12,22]	[11,44]	[8,42]
[1,52]	[0,42]	[3,94]	[3,48]	[5,80]	[6,03]	[4,42]	[8,73]	[4,83]
[1,56]	[0,05]	[0,23]	[0,34]	[0,60]	[0,25]	[-0,47]	[1,59]	[0,51]

(MATLAB-Ausgabe von ableitung.,m)

12.11. diagramm.m

12.11.1. Beispiel 1

diagramm (dist, weg)

Wie soll die erste Kurve beschriftet werden? Distanz

Wies soll die zweite Kurve beschriftet werden? Wegsumme

Jeder Punkt bekommt nun eine Nummer zugewiesen:

Nummer 1 ist: 'Sprunggel'

Nummer 2 ist: 'Knie'

Nummer 3 ist: 'Hüfte'

Nummer 4 ist: 'Schulter'

Nummer 5 ist: 'Ellbogen'

Nummer 6 ist: 'Handgelenk'

Nummer 7 ist: 'Kopf'

Nummer 8 ist: 'SP'

Bitte geben Sie ein, von welchen der folgenden Punkte Sie ein Diagramm erstellt haben möchten.

Bsp: [1 3 5]

[6 8]

Wie soll die y-Achse beschriftet werden?: Weg

Bitte geben Sie den Namen der Datei ein:

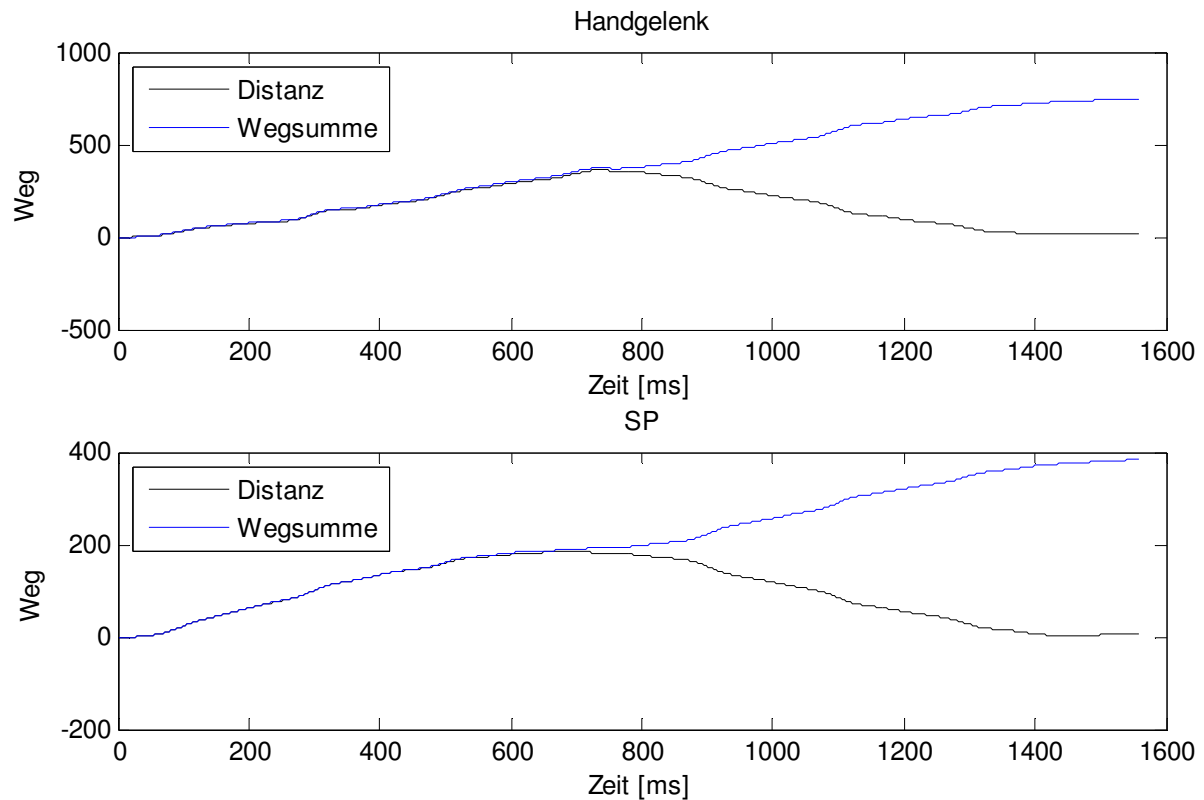
Weg

Bitte geben Sie das Format ein:

Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff

-dbmp

(MATLAB-Ausgabe von diagramm.,m)



(Weg.bmp)

12.11.2. Beispiel 2

diagramm (dist, distglatt)

Wie soll die erste Kurve beschriftet werden? normal

Wie soll die zweite Kurve beschriftet werden? glatt

Jeder Punkt bekommt nun eine Nummer zugewiesen:

Nummer 1 ist: 'Sprunggel'

Nummer 2 ist: 'Knie'

Nummer 3 ist: 'Hüfte'

Nummer 4 ist: 'Schulter'

Nummer 5 ist: 'Ellbogen'

Nummer 6 ist: 'Handgelenk'

Nummer 7 ist: 'Kopf'

Nummer 8 ist: 'SP'

Bitte geben Sie ein, von welchen der folgenden Punkte Sie ein Diagramm erstellt haben möchten.

Bsp: [1 3 5]

6

Wie soll die y-Achse beschriftet werden?: Weg

Bitte geben Sie den Namen der Datei ein:

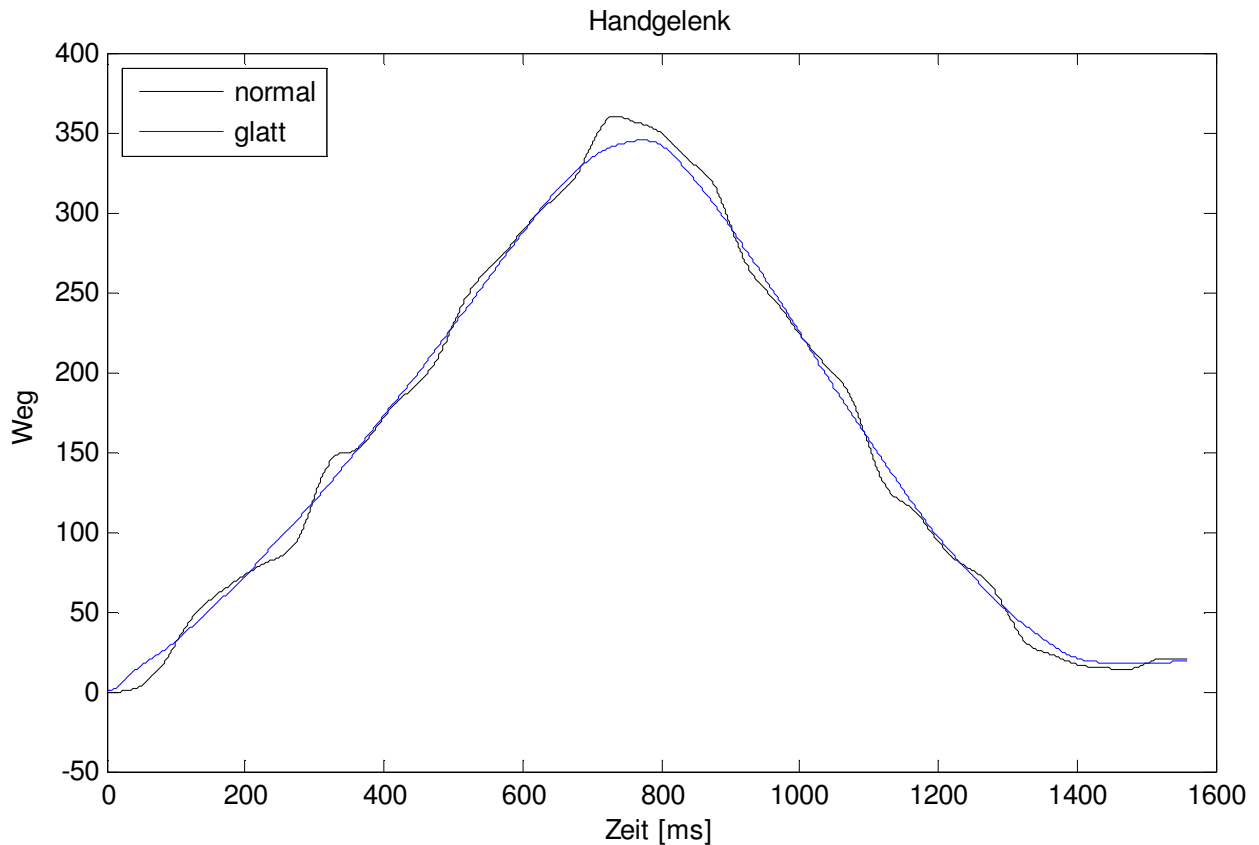
Weg2

Bitte geben Sie das Format ein:

Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff

-dbmp

(MATLAB-Ausgabe von diagramm.,m)



(Weg2.bmp)

12.11.3. Beispiel 3

diagramm (geschwglatt, 0)

Wie soll die Kurve beschriftet werden? Geschwindigkeitglatt

Jeder Punkt bekommt nun eine Nummer zugewiesen:

Nummer 1 ist: 'Sprunggel'

Nummer 2 ist: 'Knie'

Nummer 3 ist: 'Hüfte'

Nummer 4 ist: 'Schulter'

Nummer 5 ist: 'Ellbogen'

Nummer 6 ist: 'Handgelenk'

Nummer 7 ist: 'Kopf'

Nummer 8 ist: 'SP'

Bitte geben Sie ein, von welchen der folgenden Punkte Sie ein Diagramm erstellt haben möchten.

Bsp: [1 3 5]

8

Wie soll die y-Achse beschriftet werden?: Geschwindigkeit [m/s]

Bitte geben Sie den Namen der Datei ein:

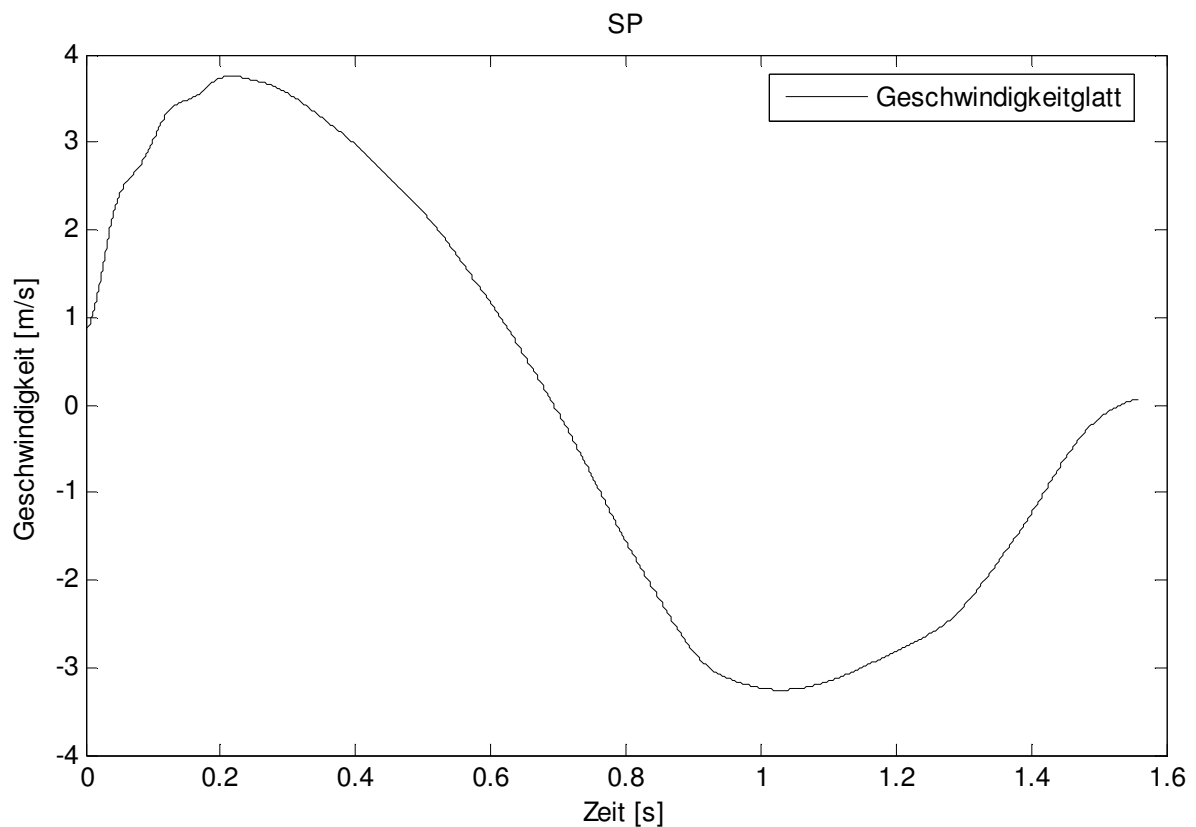
Geschwindigkeit

Bitte geben Sie das Format ein:

Mögliche Formate sind: -dbmp, -depsec, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff

-dbmp

(MATLAB-Ausgabe von `diagramm.,m`)



(*Geschwindigkeit.bmp*)

12.11.4. Beispiel 4

diagramm (beschglatt, 0)

Wie soll die Kurve beschriftet werden?

Jeder Punkt bekommt nun eine Nummer zugewiesen:

Nummer 1 ist: 'Sprunggel'

Nummer 2 ist: 'Knie'

Nummer 3 ist: 'Hüfte'

Nummer 4 ist: 'Schulter'

Nummer 5 ist: 'Ellbogen'

Nummer 6 ist: 'Handgelenk'

Nummer 7 ist: 'Kopf'

Nummer 8 ist: 'SP'

Bitte geben Sie ein, von welchen der folgenden Punkte Sie ein Diagramm erstellt haben möchten.

Bsp: [1 3 5]

6

Wie soll die y-Achse beschriftet werden?: Beschleunigung [m/s²]

Bitte geben Sie den Namen der Datei ein:

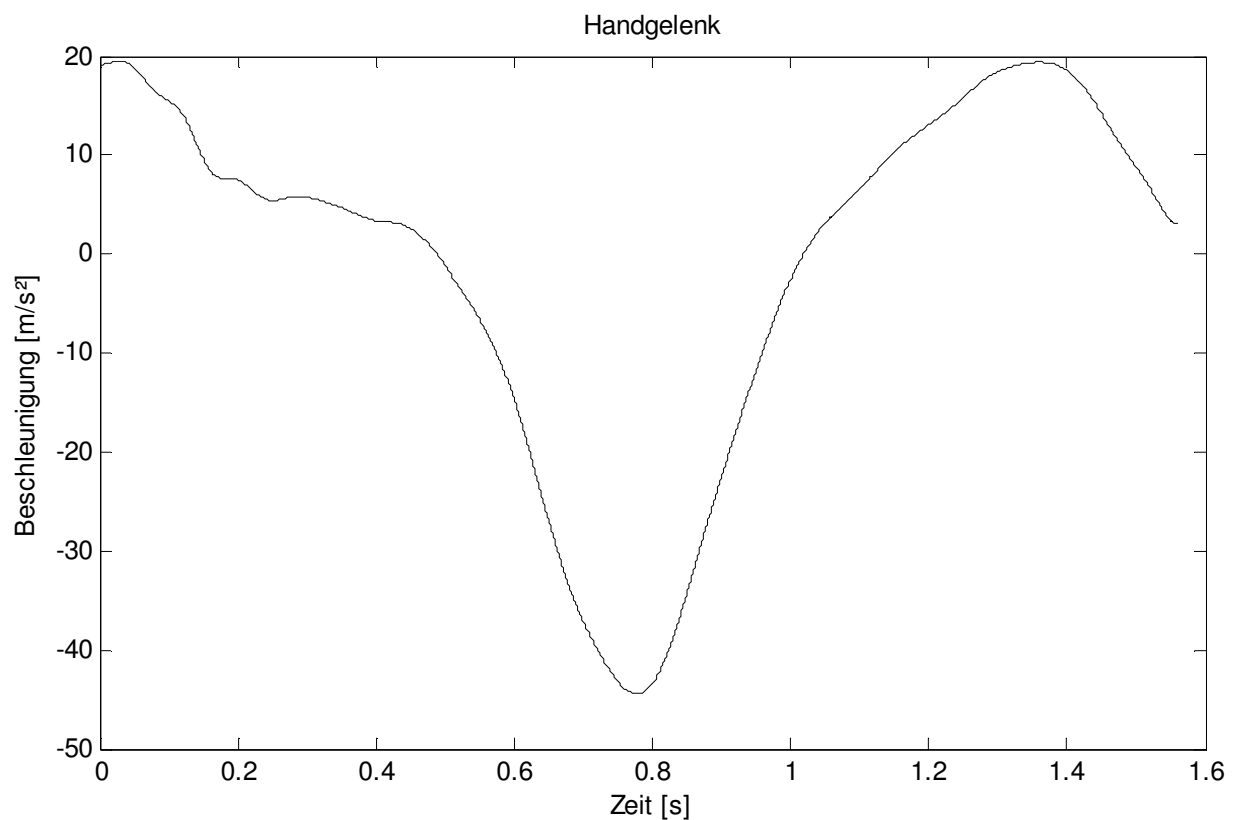
Beschleunigung

Bitte geben Sie das Format ein:

Mögliche Formate sind: -dbmp, -depvc, -djpeg, -dpdf, -dpng, -dtiff

-dbmp

(MATLAB-Ausgabe von diagramm.,m)



(Beschleunigung.bmp)

1. Literaturliste

- [FSK] Frank, R. & Schranz-Kirlinger G. (2006). *Numerische Mathematik für LehramtskandidatInnen*. Wien: TU Wien – Institut für Analysis und Scientific Computing
- [HAT] Hatze, H. (1986). *Methoden biomechanischer Bewegungsanalyse*. Wien: Österreichischer Bundesverlag
- [HEL] Heller, M. (2007). *Biomechanische Grundlagen – Teil 1*. Wien: Universität Wien.
- [KWO] <http://www.kwon3d.com/theory/dlt/dlt.html#dlt> (Zugriff am 8.November 2009)
- [JAU] Jauernig M. (2006). *Kamerakalibrierung - Messen in Videobildern*. (Version 1.0) Leipzig
- [LMB] <http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/lectures/praktika/BVPraktikum-I/kamerakal/kamerakalibrierung.html> (Zugriff am 24.Februar 2010)
- [PLA] Plato, R. (2000). *Numerische Mathematik kompakt – Grundlagenwissen für Studium und Praxis*. Berlin: Vieweg Verlag
- [STA] Stachel H. (WS 06/07 - WS 07/08). *Arbeitskriptum zu den Vorlesungen 111.540, 551, 628 - Projektive Geometrie 1, 2, 3*. Wien: TU Wien – Institut für Diskrete Mathematik und Geometrie
- [TKA] Timischl W. & Kaiser G. (1999). *Ingenieur-Mathematik 3*. Wien: Dorner GmbH
- [ÜKA] Überhuber, C. & Katzenbeisser, S. (2002). *Einführung in Matlab*. Wien: TU Wien - Institut für Angewandte und Numerische Mathematik.