

***kaltofen*engineering**

winDAM 2.7 - Programmbeschreibung für den Anwender

Inhalt:

1. Leistungsumfang
2. Mechanismenanalyse mit **winDAM**
 - 2.1 Grundlagen
 - 2.2 Installation
 - 2.3 Grobablauf
 - 2.4 Dateneingabe
 - 2.4.1 Allgemeine Daten
 - 2.4.2 Glieder
 - 2.4.3 Gelenke
 - 2.4.3.1 Drehgelenk
 - 2.4.3.2 Schubgelenk
 - 2.4.3.3 Zahnstangengelenk
 - 2.4.3.4 Rädergelenk
 - 2.4.3.5 Kurvengelenk
 - 2.4.4 Äußere Kräfte und Momente
 - 2.4.5 Längsfedern
 - 2.4.6 Kurvenscheiben
 - 2.4.7 Antriebe
 - 2.4.8 Integration der Bewegungsgleichung
 3. Berechnungen
 4. Weiterverarbeitung und Darstellung der Ergebnisse
 - 4.1 Hauptmenü
 - 4.1.1 Getriebe öffnen
 - 4.1.2 Bearbeitung von Schema-Fenstern
 - 4.1.2.1 Animation
 - 4.1.2.2 Ansicht
 - 4.1.2.3 Zoom
 - 4.1.2.4 Punkte
 - 4.1.3 Bearbeitung von Analyse-Fenstern
 - 4.1.3.1 Daten
 - 4.1.3.2 Layout
 - 4.1.3.3 Maßstab
 - 4.2 Arithmetische Verknüpfungen
 - 4.3 Optionen-Fenster

1. Leistungsumfang

WinDAM ist ein **Windows**-Programm zur **Dynamischen Analyse** ebener, zwangläufiger **Mechanismen**. Unter dynamischer Analyse wird dabei in erster Linie die Berechnung der Kinematik und der Gelenkreaktionen verstanden. Die Mechanismen bestehen aus Starrkörpern, die durch ebene Dreh-, Schub-, Räder-, Zahnstangen-, bzw. Kurvengelenke miteinander verbunden sind. Antriebe können zeitlich veränderliche Dreh- und Schubbewegungen sein.

Aus den gegebenen Antriebsbewegungen erfolgt die kinematische Analyse mit der Berechnung von:

- Winkel, Winkelgeschwindigkeiten, Winkelbeschleunigungen der Mechanismenglieder
- Schubwege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen beliebiger Gelenk- oder Zusatzpunkte
- Bewegung der Gliedschwerpunkte und des Gesamtschwerpunktes
- umlaufenden kinematischen Schema
- Einflussfunktionen der kinematischen Abmessungen auf die Übertragungsfunktionen nullter Ordnung (Einfluss von Toleranzen)
- Platzbedarf, Abständen von Zusatzpunkten, Krümmungsradien, Evoluten und weiteren kinematischen Größen
- harmonischen Analysen aller Ergebnisse

Die kinetostatische Analyse mit **WinDAM** liefert folgende Ergebnisse:

- Gelenkreaktionen im raumfesten oder gliedfesten Koordinatensystem
- Antriebskraft oder -momentenverläufe
- auf beliebige Koordinaten reduzierte Massen
- Resultierende Gestellkraft und resultierendes Gestellmoment

Neben den Trägheitswirkungen können weiterhin zeitlich veränderliche äußere Kräfte und Momente sowie Federn (die den Zwanglauf nicht beeinflussen dürfen) und die Eigengewichte der Getriebeglieder berücksichtigt werden.

winDAM analysiert ebene, zwangläufige Mechanismen mit:

- bis zu 34 Gliedern,
- maximal 49 Dreh-, Räder-, Zahnstangen-, Schub- oder Kurvengelenken
- maximal 400 Kurvenabschnitten (max. 99 pro Kurve)
- maximal neun Antrieben mit zeitlich veränderlichen Dreh- oder Schubbewegungen, beschreibbar durch jeweils maximal 99 Abschnitte. Bis zu neun Antriebe können in externen Dateien vorgegeben werden.
- maximal zehn zeitlich veränderlichen äußeren Kräften oder Momenten, beschreibbar durch jeweils maximal 40 Abschnitte
- maximal zehn, beliebig angeordneten Längsfedern

winDAM benötigt für die Analyse:

- die Strukturen und kinematisch relevanten Abmessungen des Mechanismus'
- die Beschreibung der Antriebsbewegung
- die Masseparameter der Getriebeglieder (Masse, Massenträgheitsmoment, Schwerpunktkoordinaten)
- die Federparameter Federkonstante, Länge der ungespannten Feder und Angriffspunktkoordinaten
- die äußeren Kraftkomponenten und Momente sowie deren Angriffspunkte
- die Beschreibung der Rollenmittelpunktsbahn bei Kurvengetrieben über Polynom- bzw. Fourier-Koeffizienten

Neben den Berechnungen bei vorgegebenen Antriebsbewegungen sind mit **winDAM** auch Analysen bei bekanntem Antriebsmoment (2. Grundaufgabe) möglich. Dazu wird die Bewegungsgleichung des Mechanismus' integriert. Die nunmehr im Allgemeinen veränderliche Antriebs(winkel)geschwindigkeit und alle daraus ableitbaren kinematischen und kinetostatischen Größen werden berechnet.

2. Mechanismenanalyse mit WinDAM

2.1 Grundlagen

Die Getriebeanalyse in **winDAM** basiert auf dem sogenannten Maschenkonzept /1, S. 30 ff./, nach welchem die geometrischen Zwangsbedingungen in jeder Masche (geschlossener Polygonzug) automatisch aufgestellt und gelöst werden.

Ausgangspunkt der Strukturbeschreibung ist das Getriebeschema (Bild1).

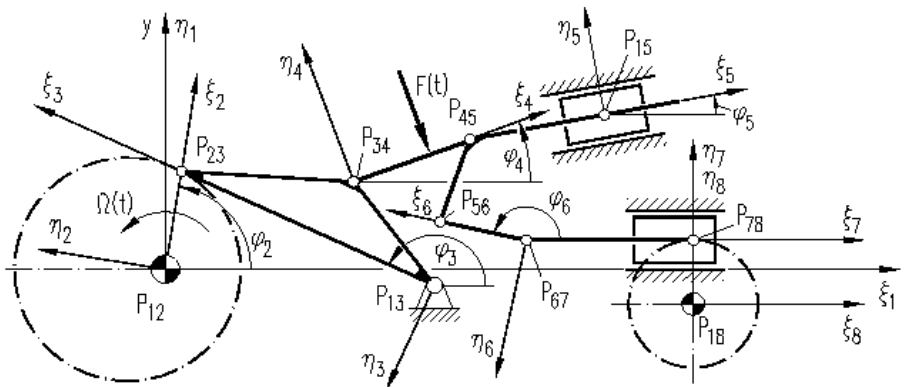


Bild 1: Kinematisches Schema eines Mechanismus'

Dieses enthält neben der Anzahl und Anordnung der Mechanismenglieder auch die Arten der Gelenke und die geometrischen Abmessungen, welche die Lage der Gelenke innerhalb der Glieder eindeutig festlegen. Ein ebener Mechanismus bestehe aus N_G Gliedern. Jedem wird ein Index i ($i=1,2,\dots,N_G$) zugeordnet; das (unbewegliche) Gestell erhält die Nummer 1, und die Nummerierung der weiteren Glieder ist beliebig (im Intervall $[2.. N_G]$). Jedes Gelenk enthält einen Doppelindex, der sich aus den Nummern der verbundenen Getriebeglieder zusammensetzt und in der Form P_{ik} (vgl. Bild 1) geschrieben wird./1/.

In jedem Glied i wird ein gliedfestes (mitbewegtes) $\{\xi_i, \eta_i\}$ -Koordinatensystem angeordnet; das $\{\xi_i, \eta_i\}$ -System entspricht dabei dem raumfesten $\{x, y\}$ -System. Jedes $\{\xi_i, \eta_i\}$ -Koordinatensystem ist durch die Lage des Koordinatenursprungs (der zweckmäßig, aber im Allgemeinen nicht notwendig in einen Gelenkpunkt gelegt werden sollte) und den Winkel φ_i , der von der x-Achse zur ξ_i -Achse mathematisch positiv gezählt wird, eindeutig festgelegt.

Durch die Beschreibung der Gelenkpunkte P_{ik} in den entsprechenden gliedfesten $\{\xi_i, \eta_i\}$ - und $\{\xi_k, \eta_k\}$ -Koordinatensystemen ist die Getriebestruktur definiert. Da mit gleichen kinematischen Abmessungen verschiedene Einbauvarianten möglich sind, ist zur Wahrung der Eindeutigkeit die Angabe von Näherungswerten für alle gesuchten variablen Größen (Winkel φ_i , Schubwege r_{ik} usw.) erforderlich. Die Näherungswerte für die Variablen in der Anfangsstellung sind dem Getriebeschema zu entnehmen; an die Genauigkeit werden nur geringe Anforderungen gestellt. Die Eindeutigkeit der Anfangsstellung muss jedoch gewahrt sein.

Die Analyse nach dem Maschenkonzept setzt kinematischen Zwangslauf voraus. Dazu ist die Zwangslaufbedingung zu erfüllen. Es muss gelten:

$$3 \cdot (N_G - 1) - 2N_1 - N_2 - N_{an} = 0$$

mit:

- N_G ... Anzahl der Glieder
- N_1 ... Anzahl der Gelenke mit einem Freiheitsgrad (Dreh-, Schubgelenke)
- N_2 ... Anzahl der Gelenke mit zwei Freiheitsgraden (Zahnstangen-, Räder-, Kurvgelenke)
- N_{an} ... Anzahl der Antriebe.

Die Lösung der nichtlinearen Gleichungen für die Zwangsbedingungen erfolgt iterativ mit Hilfe des Newton-Verfahrens; Ergebnisse sind die Winkel $\varphi_i(t)$, die Schubwege $r_{ik}(t)$ und Drehwinkel $\beta_{ik}(t)$ von Rädern für gegebene Antriebsbewegungen $\Omega(t)$. Die Ermittlung der weiteren kinematischen Größen wie Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der gliedfesten Koordinatensysteme erfolgt nach der in /1, S. 42 ff. / beschriebenen Methode durch Differentiation der Zwangsbedingungen nach der Zeit t .

Die Berechnung von Gelenkkraften erfolgt in *windAM* nach dem Prinzip der virtuellen Arbeit /1/, nach dem die Summe der Arbeiten aller angreifenden Kräfte und Momente bei einer mit den Zwangsbedingungen verträglichen gedachten Verrückungen gleich Null ist. Reibung (z.B. in den Gelenken) bleibt dabei unberücksichtigt.

/1/ Dresig, H., I.I. Vul'fson, Dynamik der Mechanismen, Springer-Verlag, Wien, 1989

2.2 Installation

Der Aufruf des Installationsprogramms **wd27-setup.exe** bewirkt das Einrichten eines Verzeichnisses

C:\Programme\kaltofen-engineering\wd27

auf der Festplatte ihres Rechners, ein Entpacken und Kopieren (in dieses Verzeichnis) der benötigten Dateien und die Registrierung im Betriebssystem. *windAM* kann anschließend aus dem Startmenü aufgerufen werden.

Als minimale Systemvoraussetzungen gelten Windows95 und Pentium-Prozessor. Der Anwender sollte mit dem allgemeinen Umgang mit einem PC vertraut sein.

2.3 Grobablauf

Die Analyse eines Mechanismus' in *windAM* beginnt mit der Dateneingabe über den *windAM*-Editor. Danach werden die Eingabedaten auf eine ASCII-Datei (CDAM- Eingabedatei *<name>.1ei*) geschrieben und an den Berechnungsteil CDAM übergeben. Geübte Nutzer können die *.1ei*-Datei auch direkt (mit einem normalen Zeileneditor, z.B. Notepad) erzeugen. In CDAM erfolgt anschließend die (oben beschriebene) eigentliche Analyse, und es wird eine Ergebnisdatei *<name>.1au* generiert. Bei erfolgreicher Berechnung können die Ergebnisse mit *windAM* dargestellt und weiter verarbeitet werden; bei fehlerhafter Analyse wird eine Fehlermeldung ausgegeben, und der Eingabedatensatz ist zu korrigieren.

2.4 Dateneingabe

2.4.1 Allgemeine Daten

In Bild 2 ist der *windAM*-Editor dargestellt. Die in der Rubrik **Allgemein** anzugebenden Daten sind neben den für die Berechnung nicht relevanten Bezeichnungen für *Projekt*, *Variante*, *Bearbeiter* und *Datum* die Berechnungsoptionen *Gelenkreaktionen* und *Eigengewicht* (für die kinetostatische Analyse) sowie *Einflussfunktionen* (z.B. zur Toleranzanalyse oder zur Unterstützung bei Syntheseaufgaben). Der Wert für die *Genauigkeitsschranke* sollte in der Größenordnung der Fertigungsgenauigkeit des kleinsten Getriebegliedes liegen, oder man lässt ihn automatisch einstellen.



Bild 2: *windAM*-Editor, Allgemeine Daten

2.4.2 Glieder

Für jedes Glied außer dem Gestell muss die jeweilige Gliednummer i und der Anfangswinkel φ_{i10} (Bild3: PHI) zwischen der positiven x -Achse und positiven ξ_i -Achse angegeben werden. Zur Berechnung von Kraftgrößen (kinetostatische Analyse) sollten die Koordinaten der Gliedschwerpunkte ξ_{Si} und η_{Si} , die Masse m_i und das auf die Schwereachse bezogene Massenträgheitsmoment J_{Si} für jedes bewegte Getriebeglied eingegeben werden. (Keine Eingabe in ein Feld wird als *Null* interpretiert.)

i	PHI	xi(S)	eta(S)	m	J(S)	
6	2	75		1.5	5000	
7	3	142	33	-4	.8	1000
8	4	20	14	0	.3	400
9	5	15	-18	-6	.6	800
10	6	163	10.5	0	.3	400
11	7	0		.4		450
12	8	0		.3		350

Bild 3: *winDAM*-Editor: Glieddaten

Der Anwender hat in die Glieddaten-Tabelle des *winDAM*-Editors einzutragen:

- die (bei „2“ beginnende und möglichst fortlaufend gezählte) Gliednummer
- eine Näherung für den Anfangswinkel φ_{0i} zwischen ξ_i - und x -Achse in [grad].

Zur Durchführung kinetostatischer Analysen sind weiterhin

- die Lage des Schwerpunktes jeden Gliedes im körperfesten $\{\xi_i, \eta_i\}$ -System in [mm]
- die Masse des Gliedes in [kg]
- das Massenträgheitsmoment um die Schwereachse in [kgmm²]

einzugeben.

2.4.3 Gelenke

In *winDAM* können die Gelenkelemente *Punkt*, *Gerade*, *Kreis* und *Kurve* (jeweils beschrieben in den miteinander verbundenen körperfesten Koordinatensystemen) verarbeitet werden.

Es sind die Kombinationen

Punkt	-	Punkt	(Drehgelenk) ,
Punkt	-	Gerade	(Schubgelenk),
Gerade	-	Kreis	(Zahnstangengelenk),
Kreis	-	Kreis	(Rädergelenk)
Punkt	-	Kurve	(Kurvengelenk)

möglich.

In *winDAM* werden die Gelenkelemente *Punkt* mit dem Attribut **0**, *Gerade* mit **1**, *Kreis* mit **2** und *Kurve* mit **3** gekennzeichnet (siehe Bild 4).

Getriebe ändern - Testdam												
Äußere Momente				Federn		Kurven (Polynom)		Kurven (Fourier)		Integration		
Allgemein		Glieder		Gelenke		Drehantriebe		Schubantriebe		Äußere Kräfte		
i	k	η_i	η_k	$\xi(i)$	ETA(i)	r(i)	BETA(i)	$\xi(k)$	ETA(k)	r(k)	BETA(k)	
14	1	2	0	0	0	0	0	0				
15	1	3	0	0	63.	-5.	0	0				
16	1	5	1	0	106.	42.	0	15	0			
17	1	7	1	0	122.	6.	0	0	0			
18	1	8	0	0	122.	-10.	0	0	0			
19	2	3	3	0	0.	0.	0	0	67			
20	3	4	0	0	30.	-15.	0	0	0			
21	4	5	0	0	28.	0.	0	0	-32.			
22	5	6	0	0	-44.	-19.	0	0	21.			
23	6	7	0	0	0.	0.	0	0	-34.			
24	7	8	1	2	0.					0	16	-300

Gelenktyp am Glied i (0=Point, 1=Gerade, 2=Kreis, 3=Kurve)

Bild 4: *windAM* -Editor: Gelenkdaten-Eingabe

Für alle Gelenkarten wurde die Vereinbarung getroffen, dass der erste Index i die Nummer des $\{\xi_{ik}, \eta_{ik}\}$ -Systems angibt, in dem der Gelenkpunkt P_{ik} zu beschreiben ist. Der zweite Index stellt die Verbindung zum benachbarten Glied k und damit den Bezug zum Gelenkpunkt P_{ki} her. Die Beschreibung erfolgt immer in der Anfangsstellung ($t = 0$).

Treten im Mechanismus Mehrfachgelenke (Gelenke zwischen den Gliedern i, k, l, \dots) auf, sind diese so in Einfachgelenke aufzulösen, dass sich eine äquivalente Getriebestruktur (mit Erfüllung der Zwanglaufbedingung) ergibt. Ein Doppelgelenk ist z.B. in zwei Einfachgelenke aufzulösen.

Es ist darauf zu achten, dass sowohl alle körperfesten Koordinatensysteme als auch das raumfeste Bezugssystem **Rechtssysteme** sind.

2.4.3.1 Drehgelenk

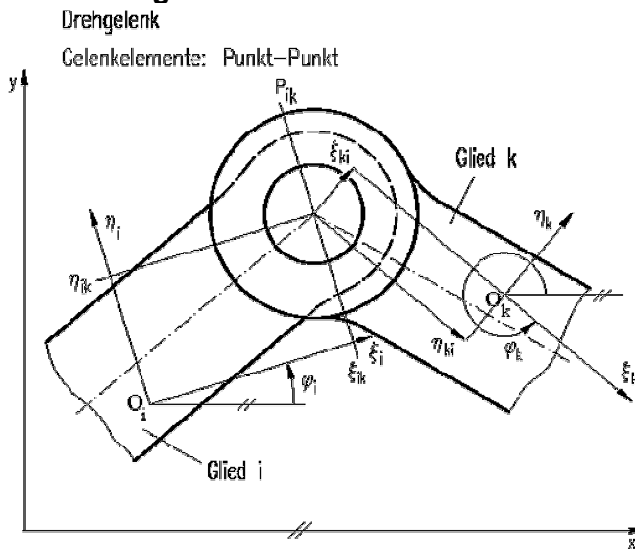


Bild 5: Bezeichnungen am Drehgelenk

Beim Drehgelenk bleiben die körperfesten Koordinaten des Gelenkpunktes erhalten. Es sind die (unveränderlichen) Gelenkkoordinaten $\xi_{ik}, \eta_{ik}, \xi_{ki}, \eta_{ki}$ (in [mm]), gemessen von den Ursprüngen der jeweiligen körperfesten Koordinatensysteme aus, in die entsprechenden Felder im *windAM* -Editor (siehe Bild 4) einzutragen.

2.4.3.2 Schubgelenk

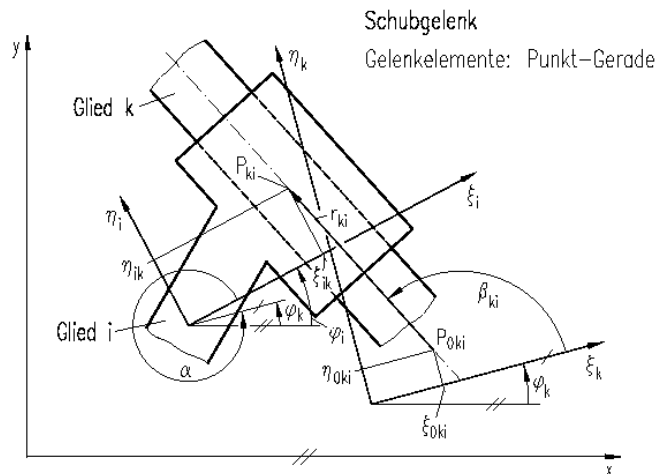


Bild 6 : Bezeichnungen am Schubgelenk

Ein Schubgelenk ist eine Kombination der Gelenkelemente *Punkt* und *Gerade*. Zuerst wird festgelegt, in welchem der beiden gliedfesten Koordinatensysteme $\{\xi_i, \eta_i\}$ oder $\{\xi_k, \eta_k\}$ das Gelenkelement „*Punkt*“ liegt. In diesem System wird die Lage des Punktes P_{ik} (ξ_{ik} und η_{ik}) analog zum Drehgelenk (Abschnitt 2.4.3.1) angegeben.

Im anderen Koordinatensystem wird die Schubgerade, also die Bahn des Gelenkpunktes $P_{ik} \equiv P_{ki}$ beschrieben. Es wird dort ein beliebiger Bezugspunkt P_{0ki} auf der Schubgeraden durch die Koordinaten ξ_{0ki} , η_{0ki} festgelegt, von dem aus der Schubweg r_{ki} gemessen wird.

Die Schubstrecke zwischen den Punkten P_{0ki} und P_{ki} ist als Anfangswert vorzugeben. Der Winkel β_{ki} ist der Winkel zwischen der positiven ξ_k -Achse und der positiven Schubrichtung r_{0ki} .

Die Eingabewerte zur Kennzeichnung eines Schubgelenks sind:

- ξ_{ik} und η_{ik} (in [mm]) zur Lokalisierung von P_{ik}
- ξ_{0ki} , η_{0ki} , r_{0ki} (in [mm]) und β_{ki} (in [grad]) zur Lagebeschreibung von P_{ki}

2.4.3.3 Zahnstangengelenk

Ein Zahnstangengelenk stellt die Paarung der Gelenkelemente *Gerade* und *Kreis* dar. In den beiden gliedfesten Koordinatensystemen der durch das Gelenk verbundenen Glieder, ist jeweils eines dieser Gelenkelemente zu beschreiben.

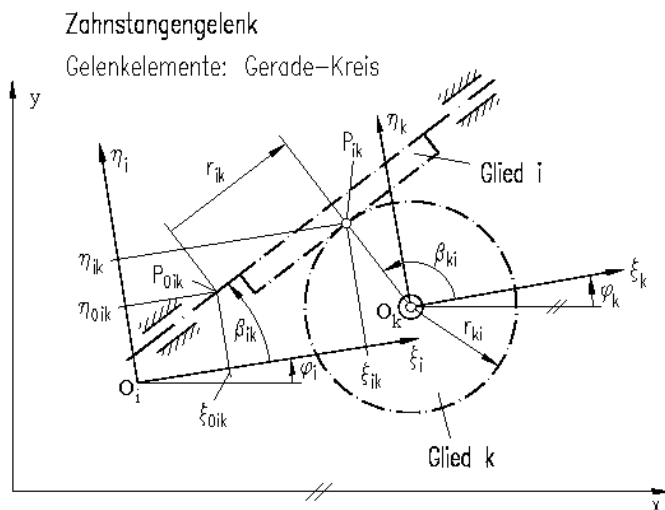


Bild 7: Bezeichnungen am Zahnstangengelenk

Für die Beschreibung der Schubgerade im $\{\xi_i, \eta_i\}$ - System gelten die bereits beim Schubgelenk (Abschnitt 2.4.3.2) getroffenen Festlegungen für das Gelenkelement *Gerade*.
 Für das Gelenkelement *Kreis* (in Bild 7 Glied k) sind der Radius r_{ki} (bei Zahnrädern der Teilkreisradius) und der Winkel β_{ki} anzugeben. Der Montagewinkel β_{ki} ist der Winkel zwischen positiver ξ_k -Achse und dem Kontaktpunkt von *Kreis* und *Geraden* (also dem Gelenkpunkt P_{ik}) in mathematisch positiver Richtung zum Anfangszeitpunkt.

Vereinbarungsgemäß gilt:

- $r_{ki} > 0 \rightarrow$ Außenverzahnung
- $r_{ki} < 0 \rightarrow$ Innenverzahnung.

Zu beachten ist weiterhin, dass der Koordinatenursprung des $\{\xi_k, \eta_k\}$ -Koordinatensystems in der Drehachse des Rades k liegen muss.

Die Eingabewerte zur Kennzeichnung eines Zahnstangengelenks sind:

- $\xi_{0ik}, \eta_{0ik}, r_{0ik}$ (in [mm]) und β_{ik} (in [grad]) zur Lagebeschreibung von P_{ik}
- r_{ki} (in mm) und β_k (in [grad]) zur Lokalisierung von P_{ki}

zum Anfangszeitpunkt

2.4.3.4 Rädergelenk

Das Rädergelenk ist die Paarung der Gelenkelemente *Kreis* und *Kreis*. Es gelten die Hinweise zur Beschreibung des Gelenkelementes *Kreis* des Zahnstangengelenkes aus dem Abschnitt 2.4.3.3. Insbesondere ist darauf zu achten, dass beide Koordinatenursprünge in der jeweiligen Drehachse der Räder liegen müssen.

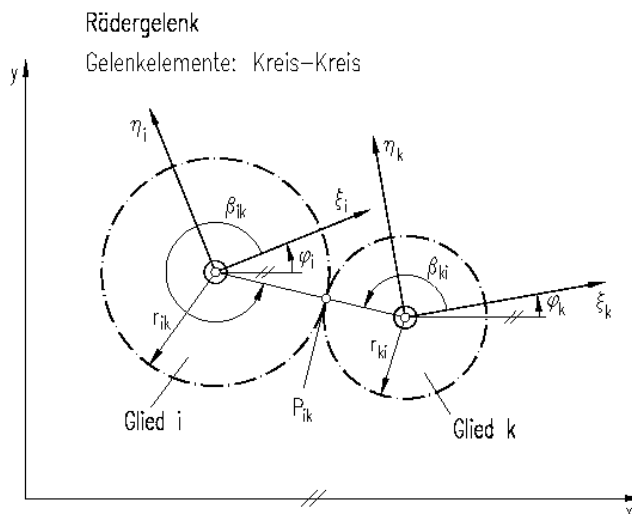


Bild 8: Bezeichnungen am Rädergelenk

2.4.3.5 Kurvengelenk

Das Kurvengelenk wird in **winDAM** als Kombination der Gelenkelemente *Kurve* und *Punkt* behandelt. Bei der Beschreibung des Kurvengelenkes sind die Rollenmittelpunktsbahn und die Gelenkkordinaten des anliegenden Gliedes zu definieren.

Für das Gelenkelement *Punkt* sind die Ausführungen aus Abschnitt 2.3.4.1 (Drehgelenk) gültig.

Zur Beschreibung des Gelenkelementes *Kurve* ist die Kurvenkontur $r(\beta)$ in polaren Koordinaten vorzugeben. Zur Gelenkdeklaration ist jedoch nur die Angabe des Anfangswinkels β_{0i} (in mathematisch positiver Richtung in [grad]), dem Winkel zwischen der positiven ξ_i -Achse der Kurvenscheibe und dem Gelenkpunkt P_{ik} nötig. Die Beschreibung der eigentlichen Kurve erfolgt in einer anderen Registerkarte des **winDAM**-Editors und wird in Abschnitt 2.4.6 beschrieben.

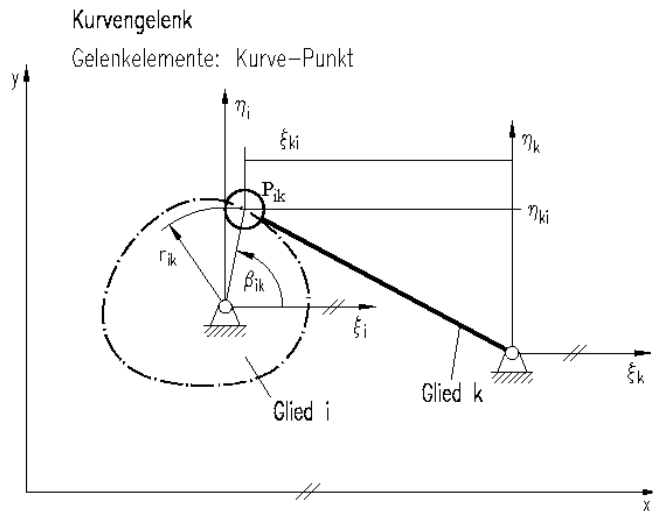


Bild 9: Bezeichnungen am Kurvengelenk

2.4.3 Äußere Kräfte und Momente

Am Mechanismus können an beliebigen Getriebegliedern zeitabhängige äußere Kräfte und Momente (z.B. technologisch bedingte Belastungen,) angreifen. Die Zeitverläufe solcher Kräfte und Momente sind als abschnittsweise lineare Funktionen zu approximieren:

$$F_x = F_{xA} + \frac{F_{xE} - F_{xA}}{t_E - t_A} (t - t_A) \quad F_y = F_{yA} + \frac{F_{yE} - F_{yA}}{t_E - t_A} (t - t_A)$$

$$M = M_A + \frac{M_E - M_A}{t_E - t_A} (t - t_A)$$

mit:

F_x	Komponente der äußeren Kraft in Richtung der raumfesten x-Achse in [N]
F_y	Komponente der äußeren Kraft in Richtung der raumfesten y-Achse in [N]
F_{xA}, F_{yA}	Komponenten der Kraft zum Zeitpunkt t_A in [N]
F_{xE}, F_{yE}	Komponenten der Kraft zum Zeitpunkt t_E in [N]
M	äußeres Moment in [Nmm]
M_A	Moment zum Zeitpunkt t_A in [Nmm]
M_E	Moment zum Zeitpunkt t_E in [Nmm]
t_A	Anfangszeit des Abschnittes in [s]
t_E	Endzeit des Abschnittes in [s].

Maximal 40 derartige Abschnitte sind insgesamt zulässig.
Das Moment M ist im mathematisch positiven Sinn positiv definiert.

i	xi	ETA	Fx(A)	Fx(E)	Fy(A)	Fy(E)	t(A)	t(E)	
40	10	185.4	29.1	0	0	-20000	-16000	0.0	0.0105
41	10	185.4	29.1	0	0	-16000	0	0.0105	0.0255
42	10	185.4	29.1	0	0	0	-16000	0.40307	0.41807
43	10	185.4	29.1	0	0	-16000	-20000	0.41807	0.42857
44	10	185.4	29.1	0	0	-20000	-16000	0.42857	0.43907
45	10	185.4	29.1	0	0	-16000	0	0.43907	0.45407
46	10	185.4	29.1	0	0	0	-16000	0.83164	0.84664
47	10	185.4	29.1	0	0	-16000	-20000	0.84664	0.85714
48	10	185.4	29.1	0	0	-20000	-16000	0.85714	0.86764
49	10	185.4	29.1	0	0	-16000	0	0.86764	0.88264

At the bottom of the window, there is a text field 'Nummer des Gliedes, an dem die Kraft angreift' with the value 'Satz 44 löschen' and buttons 'OK' and 'Abbrechen'.

Bild 10: Eingabe äußerer Kräfte und Momente in den **winDAM**-Editor

Eingetragen sind neben den Größen F_{xA} , F_{yA} , F_{xE} , F_{yE} , M_A , M_E , t_A und t_E (s.o.) auch die Koordinaten ξ_i und η_i der körperfesten Kraft- (Momenten)-Angriffspunkte am betreffenden Glied i .

Beachte:

- Die Angriffspunkte äußerer Kräfte und Momente sind zwar körperfest, die Kraftkomponenten sind jedoch bezüglich der raumfesten Richtungen zu beschreiben.
- Insbesondere bei einer Analyse, die mit der Integration der Gleichung der starren Maschine (Abschnitt 2.4.8) verbunden ist, sind rein zeitabhängige Belastungen oft nicht zutreffend.

2.4.5 Längsfedern

Oftmals werden Federn in Mechanismen eingesetzt, um Gewichts- oder andere äußere Kräfte auszugleichen oder zum Leistungs- oder Gelenkkraftausgleich beizutragen. In **windAM** können an einem Mechanismus maximal zehn Längsfedern wirken. Zu beachten ist, dass die Federn keine Auswirkungen auf die Kinematik des Mechanismus haben.

Für jede Längsfeder sind neben den Gliednummern i und k der durch die Feder verbundenen Glieder die Koordinaten ξ_i , η_i und ξ_k , η_k der Federanlenkpunkte, die Federkonstante c und die ungespannte Federlänge l_0 anzugeben (vgl. Bild 11).

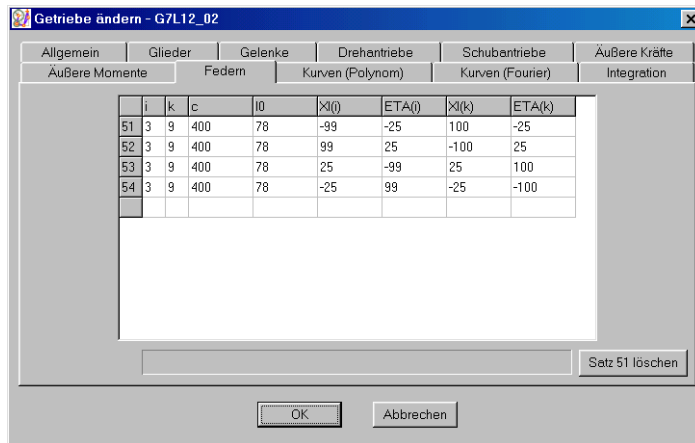


Bild 11: Eingabe von Längsfedern

Die Federkraft ergibt sich zu

$$F = c \cdot (l - l_0)$$

und kann nicht direkt, sondern nur über eine *arithmetische Verknüpfung* (vgl. Abschnitt 4.) ausgegeben werden.

Ebenso verhält es sich mit der momentanen Federlänge

$$l = \sqrt{(x_{ki} - x_{ik})^2 + (y_{ki} - y_{ik})^2}$$

die aus den Koordinaten der beiden Federanlenkpunkte berechnet werden muss.

2.4.6 Kurvenkörper

Die Kurvenprofile werden in **windAM** über ihre Rollenmittelpunktsbahn (RMB) beschrieben. Die erste Beschreibungsmöglichkeit besteht in der abschnittswisen Approximation der Bahn $r_{ik}(\beta_i)$ (vgl. Bild 9) durch Polynome bis 5. Grades. Dazu werden die Nummer des Kurvenabschnittes, die Kurvengliednummer i , die Nummer des anliegenden Gliedes (Schwinge oder Stößel) k , die Polynomkoeffizienten r_j (in [mm/rad^(j)]) sowie Anfangswinkel β_A und Endwinkel β_E des Kurvenabschnittes (in [grad]) benötigt, s. Bild 12.

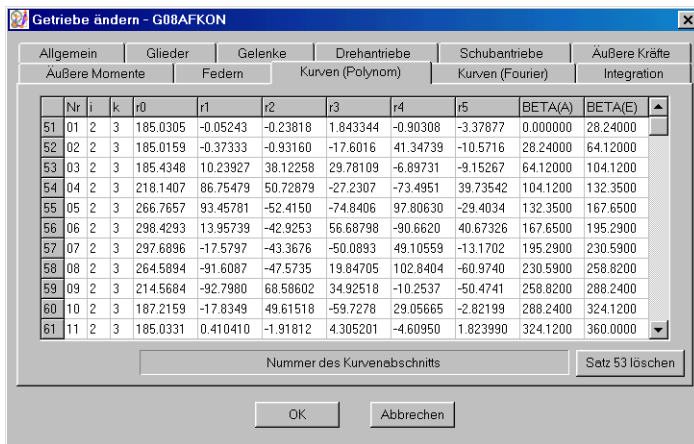


Bild 12: Eingabe von Polynomkoeffizienten zur Beschreibung von Kurvenprofilen

Die Rollenmittelpunktsbahn wird durch

$$r_{ik} = r_0 + r_1(\beta - \beta_A) + r_2(\beta - \beta_A)^2 + r_3(\beta - \beta_A)^3 + r_4(\beta - \beta_A)^4 + r_5(\beta - \beta_A)^5$$

mit:

- β_A ... Anfangswinkel des Kurvenabschnittes (in [grad])
- β ... aktueller Winkel der RMB im Kurvenabschnitt (in [grad])

gekennzeichnet.

Die Koeffizienten r_0, r_1, \dots, r_5 sind aus den Randbedingungen der gegebenen Rollenmittelpunktsbahn zu bestimmen. Diese können z.B. mit dem Programm **damHLP/2/** aus in Listen vorgegebenen Verläufen „Radius über Winkel“ berechnet werden. Eine zweite Möglichkeit einer Kurvenprofil-Eingabe besteht darin, die RMB als Fourier-Reihe zu kennzeichnen, Es gilt hier :

$$r_{ik} = r_0 + \sum_{j=1}^j [a_j \cos(\beta - \beta_A) + b_j \sin(\beta - \beta_A)]$$

mit

- r_0 ... konstanter Anteil des Radius' im betreffenden Abschnitt (in [mm])
- a_j, b_j ... Fourierkoeffizienten (in [mm])
- j ... Ordnung der Harmonischen.

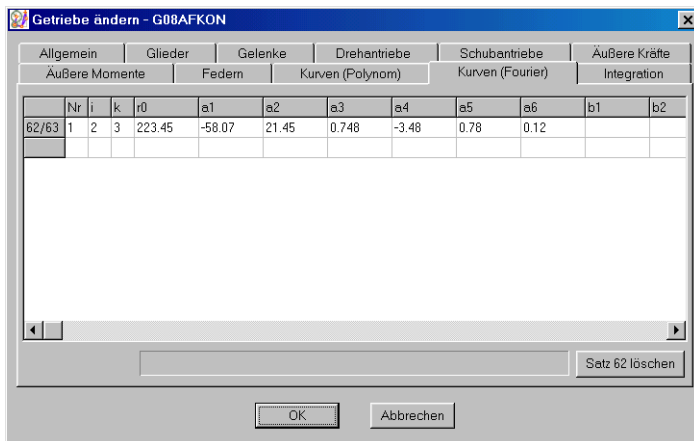


Bild 13: Eingabe von Fourierkoeffizienten zur Beschreibung von Kurvenprofilen

2.4.7 Antriebe

In **WinDAM** können vielfältige Verläufe von bis zu 9 Antriebskoordinaten verarbeitet werden. Als Antriebskoordinaten kommen Drehwinkel und Schubwege in Betracht. Im Allgemeinen erfolgt eine Antriebsbewegung gegenüber dem Gestell, es können aber auch Antriebe als Relativbewegung zwischen zwei bewegten Getriebegliedern vorgegeben werden. Folgende Beschreibungsmöglichkeiten bestehen:

- Vorgabe konstanter Antriebs(winkel)-Geschwindigkeit oder Drehzahl
- abschnittsweise Beschreibung durch Polynome 2. Grades (insgesamt maximal 900 Abschnitte)
- punktweise Vorgabe in maximal neun „Antriebs“-Dateien.

Mit der Antriebsvorgabe wird auch gleichzeitig das Analyse-Intervall und die Analyse-Schrittweite (damit die Anzahl der zu berechnenden Getriebestellungen) festgelegt. Die Anzahl der Getriebestellungen sollte einerseits nicht zu klein gewählt werden, weil sonst das verwendete Lösungsverfahren nicht konvergiert, andererseits sind nicht beliebig viele Getriebestellungen berechenbar, da sonst der verfügbare Speicher nicht ausreicht. Es ist - je nach Anforderungen - die Berechnung von 40 bis 400 Stellungen pro Periode zu empfehlen; für den Fall, dass anschließend weiterführende Berechnungen, etwa zur NC-Programmierung für eine Kurvenprofilerstellung durchgeführt werden sollen, wären auch bis etwa 2000 Getriebestellungen sinnvoll.

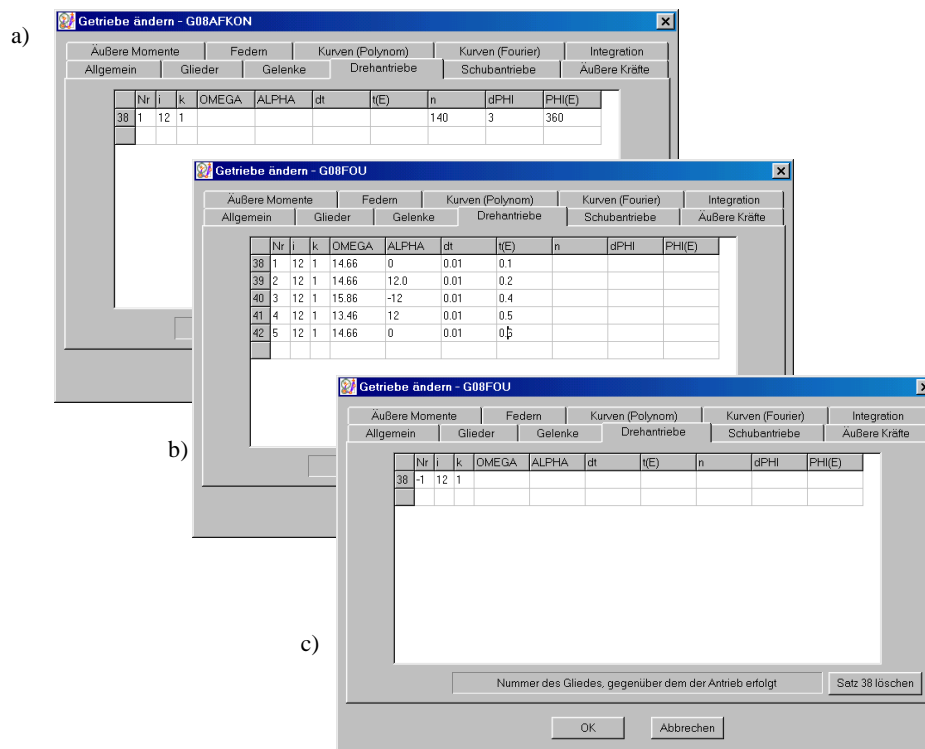


Bild 14 : Drei Möglichkeiten der Antriebseingabe

Die Eingaben von Schub- und Drehantriebsbewegungen sind analog. Deshalb wird im Weiteren nur die Eingabe der Drehantriebe beschrieben.

Ist die Antriebsbewegung eine konstante Zeitfunktion, so sind neben der Gliednummer des angetriebenen (**i**) und der Nummer des Gliedes, gegenüber dem angetrieben wird (**k**) die Drehzahl **n** (in [U/min]), die Winkelschrittweite **dφ** (in [grd]) und der Endwinkel des Analyseabschnittes φ_E (in [grd]) (siehe Bild 14a) einzutragen. Die Eingabe einer negativen Drehzahl bedeutet dabei einen mathematisch negativen Drehsinn der Antriebsbewegung.

Ist die Bewegung nicht konstant und durch ein Polynom 2. Grades abschnittsweise beschreibbar, so wird das durch die Angabe von Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung, Zeitschrittweite und Abschnitts-Endzeit getan. (vgl. Bild 14b).

Die Berechnung erfolgt nach folgendem Polynom:

$$\varphi_{ik} = \varphi_A + \omega_a (t - t_A) + \alpha_a/2 * (t - t_A)^2 ,$$

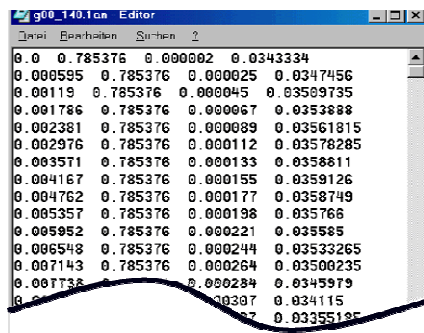
mit :

φ_{ik} :	aktueller Winkel
φ_A :	Anfangsgliedwinkel (vgl. Abschnitt 2.2.1.2)
ω_a :	konstante Antriebswinkelgeschwindigkeit zu Beginn des Abschnittes
α_a :	konstante Antriebswinkelbeschleunigung zu Beginn des Abschnittes
t :	aktuelle Zeit
t_A :	Anfangszeit des Abschnittes.

Die abschnittswisen Polynomkoeffizienten können ebenfalls mit dem Hilfsprogramm **damHLP** /2/ ermittelt.

Die dritte Möglichkeit der Vorgabe von Antriebsbewegungen erfolgt über externe Dateien. Bis zu neun solcher „externer Antriebsdateien“, in denen jeweils ein Antriebsbewegungsverlauf beschrieben wird, sind möglich. Die Dateibezeichnungen setzen sich aus dem Beispielnamen und der Namenserverweiterung **.1an**, **.2an**, ... **.9an** zusammen. Die Dateien befinden sich im gleichen (Unter-)Verzeichnis wie die Beispieldatei (.1ei). Über die Eintragung eines Minuszeichens mit der entsprechenden Antriebsnummer (1...9) an die Stelle für die Abschnittsnummer des jeweiligen Antriebs (vgl. Bild 14c) wird der Bezug zum Berechnungsprogramm hergestellt. Eventuell folgende Eintragungen in diesem Datensatz (Bild 14c) werden ignoriert. Für jede zu berechnende Getriebebestellung ist in der Antriebsdatei (z.B.1an) jeweils auf einer Zeile die Zeit (in [s]), der Winkel (in [rad]), die Winkelgeschwindigkeit (in [rad/s]) und die Winkelbeschleunigung (in [rad/s²]) einzutragen. Die einzelnen Daten werden durch Leerzeichen getrennt; Dezimaltrennzeichen ist der Punkt.

Einen Ausschnitt aus einer solchen „.1an“-Datei zeigt Bild 15.



Time [s]	Angle [rad]	Angular Velocity [rad/s]	Angular Acceleration [rad/s ²]
0.0	0.785376	0.000002	0.0343334
0.000595	0.785376	0.000025	0.0347456
0.00119	0.785376	0.000045	0.03509735
0.001786	0.785376	0.000067	0.0353888
0.002381	0.785376	0.000089	0.03561815
0.002976	0.785376	0.000112	0.03578285
0.003571	0.785376	0.000133	0.0358811
0.004167	0.785376	0.000155	0.0359126
0.004762	0.785376	0.000177	0.0358749
0.005357	0.785376	0.000198	0.035768
0.005952	0.785376	0.000221	0.035588
0.006548	0.785376	0.000244	0.03533265
0.007143	0.785376	0.000264	0.03500235
0.007738	0.785376	0.000284	0.0345979
0.008333	0.785376	0.000307	0.034115
0.008928	0.785376	0.000327	0.03355195

Bild 15: Ausschnitt aus einer **<name>.1an**-Datei

Für Schubantriebe sind der Schubweg in [mm], die Geschwindigkeit in [mm/s] und die Beschleunigung in [mm/s²] einzutragen. Der Schubweg ist so vorzugeben, dass dessen Anfangswert in der Datei Null ist.

Beachte: Bei vorhandenen externen „Antriebsdateien“ ist die Beispieldatei (...1ei) nicht mit dem **windAM**-Editor, sondern mit einem externen Zeileneditor zu bearbeiten und anschließend mittels „drag&drop“ auf das **windAM**-Programm-Icon zu ziehen, um das Beispiel zu berechnen.

Ab Version 2.6 von **windAM** ist eine Anwendung des **windAM**-Editors für solche Beispiele möglich, wenn man Pfad- und Dateinamen (ohne Suffix) der externen Antriebsdateien in die Projektzeile (vgl. Abschnitt 2.4.1) des Beispiels einträgt. Dann müssen sich die Antriebsdateien und die Beispieldatei auch nicht mehr im gleichen Verzeichnis befinden. Die Länge der Dateibezeichnung ist jedoch auf 36 Zeichen beschränkt.

2.4.8 Integration der Bewegungsgleichung

Bisher wurde bei den kinematischen und kinetostatischen Analysen davon ausgegangen, dass die Antriebsbewegungen als Zeitfunktionen vorgegeben werden können. Für viele Beispiele mag das in erster Näherung zutreffen. Theoretisch bedeutet eine Vorgabe der Antriebsfunktion einen unendlich großen Energievorrat im Antrieb (Motor). Eine genauere Modellbildung erhält man, wenn die Antriebskraft oder das Antriebsmoment vorgegeben werden kann. In diesem Fall ist die aus dem Momentengleichgewicht am bewegten Mechanismus abgeleitete „Gleichung der starren Maschine“ /1/ aufzustellen und zu lösen. Ergebnis dieser Integration ist eine im Allgemeinen nicht konstante Antriebs(winkel)-Geschwindigkeit und daraus folgend veränderte kinematische und kinetostatische Größen.

Zur Eingabe der benötigten Daten sind zunächst bei der Antriebseingabe (Abschnitt 2.4.7) unter „**OMEGA**“ die Anfangswinkelgeschwindigkeit $\omega_{ik0} = \omega_{ik}(t_0)$ und die Zeitschrittweite **dt** (in [s]) einzutragen (siehe Bild 14b). In der Registerkarte „**Integration**“ des **windAM**-Editors (siehe Bild 16) sind anschließend die Parameter von Antriebs- und Lastmoment und die Integrationsparameter zu spezifizieren.

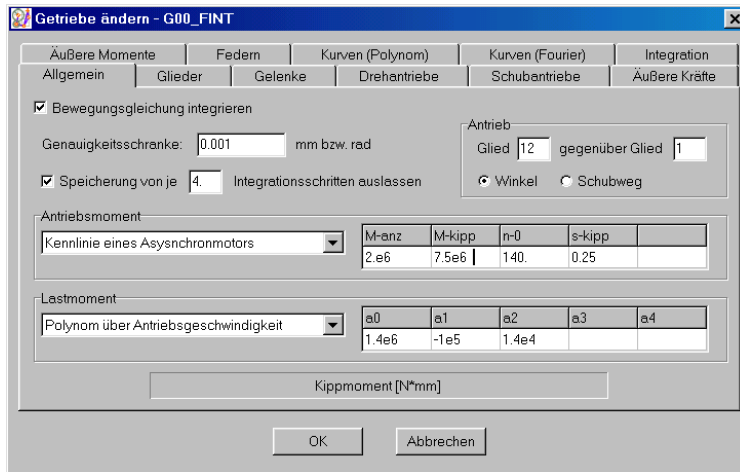


Bild 16: Eingabe der Momenten- und Integrationsparameter

Als Integrationsparameter sind eine Genauigkeitsschranke, die zwischen 10^{-3} und 10^{-6} liegen sollte und eine sogenannte Auslassungszahl, die angibt, wie viele Integrationsschritte zwischen zwei Ausgaben nicht gespeichert werden sollen, zu spezifizieren. Weiterhin müssen die Angaben zum Antrieb (Winkel/Schubweg; Glied i gegenüber Glied k) mit den vorher (Abschnitt 2.3.7) beschriebenen Daten übereinstimmen.*)

Antriebs- und Lastmoment (bzw. –Kraft) lassen sich als von der Antriebswinkelgeschwindigkeit Ω abhängige Polynomfunktion der Form

$$M = a_0 + a_1 \cdot \Omega + a_2 \cdot \Omega^2 + a_3 \cdot \Omega^3 + a_4 \cdot \Omega^4,$$

mit:

M ...	Antriebs-bzw. Lastmoment
a_j ...	Polynomkoeffizienten in $[Nmm \cdot s^{(j)}]$, $j = 0 \dots 4$
Ω ...	momentane Antriebswinkelgeschwindigkeit in $[1/s]$

beschreiben.

Weiterhin kann das Antriebsmoment auch über die statische Kennlinie eines Asynchronmotors vorgegeben werden. Mit Hilfe der Motorparameter

$M_{Anz} \dots$	Anzugsmoment $[Nmm]$
$M_K \dots$	Kippmoment $[Nmm]$
$n_0 \dots$	Synchron-Drehzahl $[1/min]$
$s_k \dots$	Kippschlupf

wird über die Beziehung für den Schlupf s ($s = 1 - \Omega/\Omega_0$, $\Omega_0 \dots$ Synchron-Winkelgeschwindigkeit $[1/s]$) in **wINDAM** mit der Formel

$$M_{an} = 2M_K \cdot \frac{s \cdot s_K}{s^2 + s_K^2} + M_{Anz} \cdot \left(\frac{s - s_K}{1 - s_K} \right)^2$$

das aktuelle Antriebsmoment M_{an} für den Bereich $s > s_K$ ermittelt. Für $s \leq s_K$ gilt die gleiche Formel, jedoch ohne den M_{Anz} -Anteil.

Zur Lösung der Bewegungsgleichung wird das explizite Doppelschritt-Verfahren von Gumpert /3/ benutzt.

Beachte:

- Auf diese Weise können nur Mechanismen mit **einem** Antrieb analysiert werden können.
- Die Nummer des angetriebenen Gliedes nicht größer als **9** sein. Gleiches gilt für die Nummer des Gliedes, gegenüber dem angetrieben wird.

/3/ Gumpert, W., Zum Verfahren von Blaeß für die numerische Integration gewöhnlicher Differentialgleichungen, IV. Int. Kongress über Anwendungen der Mathematik in den Ingenieurwissenschaften, Weimar, 1967

3. Berechnungen

Durch Betätigung des OK-Buttons im **winDAM**-Editor wird der Berechnungsmodul CDAM aktiviert, mit welchem die Analyse durchgeführt wird. Bei fehlerfreier Beendigung von CDAM wird in das gleiche Verzeichnis, auf dem die Eingabedatei steht, eine binär verschlüsselte Ergebnisdatei mit der Bezeichnung <name>.1au geschrieben. Darin enthalten sind neben den Eingabedaten die zu jedem Analysezeitpunkt berechneten Daten von:

- Winkel, Winkelgeschwindigkeiten und –beschleunigungen der mitbewegten körperfesten Koordinatensysteme
- Lagen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der bewegten Gelenkpunkte
- Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der mitbewegten körperfesten Koordinatensystemursprünge
- Gelenkkraftkomponenten
- Antriebsmomente bzw. –kräfte
- Kenngrößen zur Berechnung des Einflusses der Lage der Gelenkkordinaten auf Gliedwinkel und Lage der Gliedkoordinatensysteme (partielle Ableitungen).

Bei fehlerhafter Eingabe erzeugt CDAM eine Fehlermeldung mit den möglichen Fehlerursachen und die Modelldaten sind im **winDAM**-Editor oder einem (vorher eingestellten) externen Editor zu korrigieren. (vgl. Abschnitt)

Um die berechneten Ergebnisse richtig zu interpretieren sind einige Deklarationen und Definitionen nötig:

- Die kinematischen Größen sind positiv (>0) der Glieder sind in mathematisch positive Richtung (entgegen dem Uhrzeigersinn) ebenfalls positiv.
- Gelenkkräfte sind Reaktionskräfte bezüglich des Gliedes mit der kleineren Gliednummer.
- In Abhängigkeit vom Gelenktyp treten folgende Gelenkkräfte auf:

Drehgelenk: – raumfeste X-Komponente
– raumfeste Y-Komponente

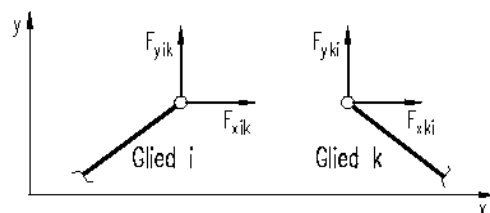


Bild 17. Definition der Kräfte am Drehgelenk

Schubgelenk: – Moment um den Berührungspunkt (math. positiver Drehsinn)
– Normalkraft senkrecht auf die Schubgerade (genaue Richtung der Kraft siehe Winkel im Bild S.2)

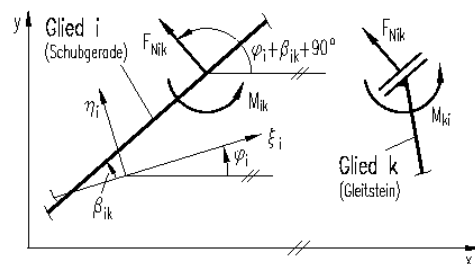


Bild 18 Definition der Kräfte am Schubgelenk

Kurvengelenk – raumfeste X-Komponente
 – raumfeste Y-Komponente

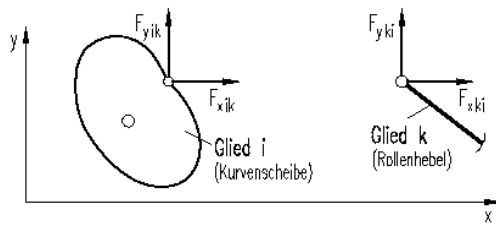


Bild 19: Definition der Kräfte am Kurvengelenk

Rädergelenk: – Tangentialkraft (Richtung so, dass ein Moment in math. positivem Drehsinn entsteht)

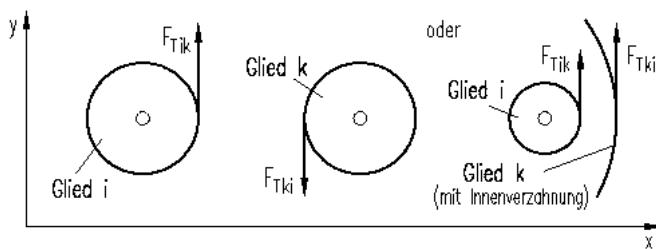


Bild 20: Definition der Kräfte am Rädergelenk

Zahnstangengelenk: – Tangentialkraft (Richtung am Rad so, dass ein Moment in math. positivem Drehsinn entsteht)

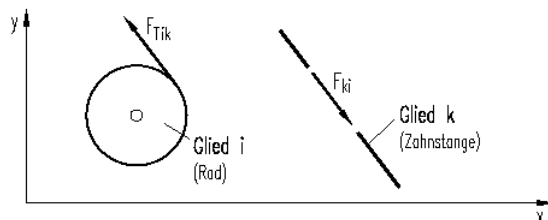


Bild 21: Definition der Kräfte am Zahnstangengelenk

- Die in **WindAM** berechneten Einflussfunktionen sind partielle Ableitungen von Weg- bzw. Winkelkoordinaten nach den kinematischen Abmessungen des Getriebes. Damit kann der Einfluss von Gliedlängenänderungen auf die Lage eines bestimmten Gliedes bzw. Gliedpunktes berechnet werden. Zwei Arten von Einflussfunktionen werden unterschieden:
 - Die partiellen Ableitungen des Drehwinkels φ_j des Gliedes j nach den x - bzw. y -Koordinaten (im raumfesten Koordinatensystem) des Gelenkes P_{ik} .
 - Die partiellen Ableitungen der *Lage des Ursprunges* des Koordinatensystems des Gliedes j nach den x - bzw. y -Koordinaten (im raumfesten Koordinatensystem) des Gelenkes P_{ik} .

4. Weiterverarbeitung und Darstellung der Ergebnisse

4.1 Hauptmenü

In Bild 22 wird ein *winDAM*-Fenster mit der Hauptmenü-Leiste dargestellt. Ebenso werden die unter den Hauptmenü-Kategorien *Projekt*, *Getriebe*, *Analyse*, *Fenster* und *Hilfe* vorhandenen Bearbeitungsmöglichkeiten sichtbar. Diese Untermenü-Punkte werden auch mit Icons unterstützt (in Bild 22 nicht sichtbar).

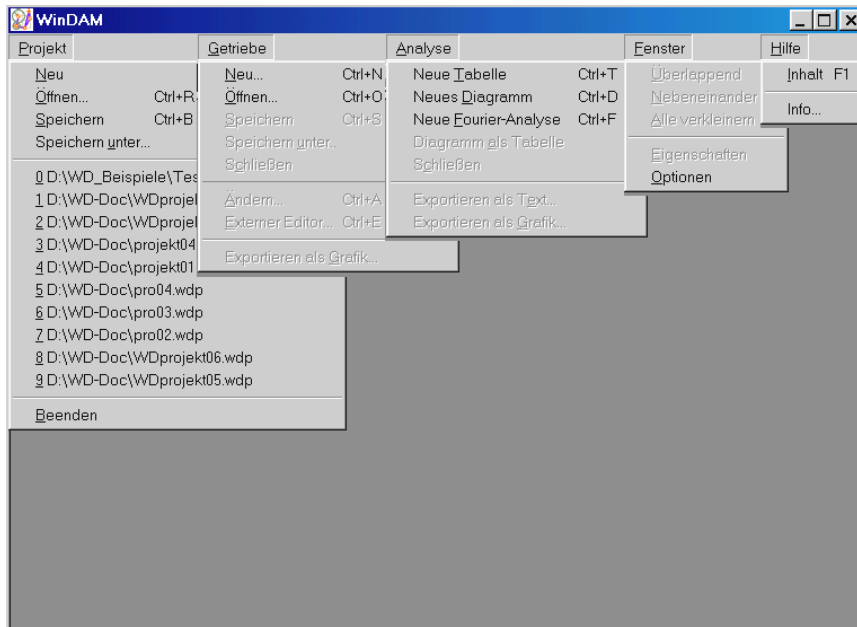


Bild 22: *winDAM*-Fenster mit der Hauptmenü-Leiste und den Bearbeitungsmöglichkeiten

4.1.1 Getriebe öffnen

Die Visualisierung und Verarbeitung der Analyseergebnisse beginnt im Allgemeinen mit der Option *Projekt-Öffnen* oder *Getriebe-Öffnen*. Bei *Getriebe-Öffnen* werden die im aktuellen Verzeichnis befindlichen *.1ei*-Dateien aufgelistet, und der Nutzer kann das gewünschte Getriebe auswählen. Die gleiche Aktion wird erreicht, wenn die rechte Maustaste betätigt wird. (Bild 23)

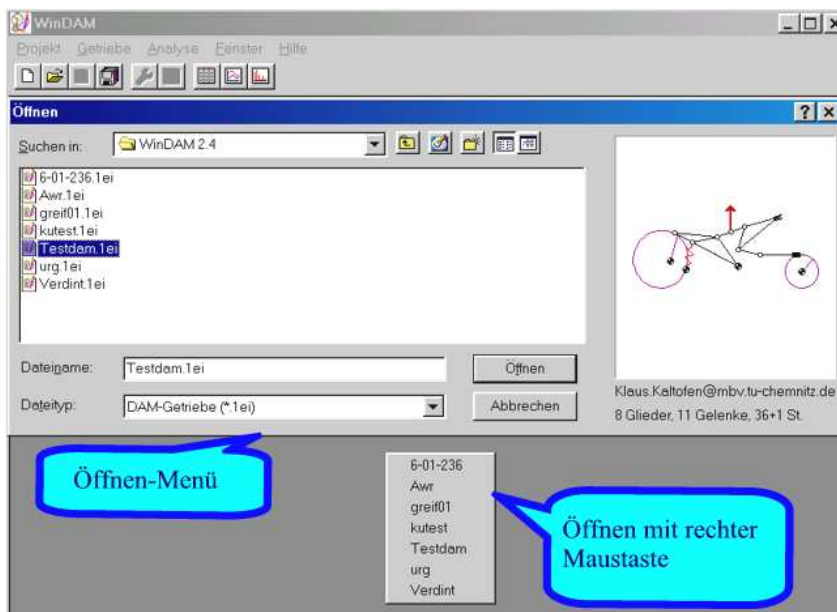


Bild 23: Getriebe öffnen

Für den Fall, dass die letzte Änderung der geöffneten **.1ei**-Datei *später* erfolgte, als die zugehörige **.1au**-Datei generiert worden ist (oder die **.1au**-Datei nicht im aktuellen Verzeichnis existiert), erfolgt eine Analyse mit CDAM (vgl. Abschnitt 3), anderenfalls erscheint das kinematische Schema des Mechanismus in der Anfangsstellung. Es können mehrere (Die Anzahl wird von der Speicherkapazität des Rechners begrenzt.) Mechanismen simultan bearbeitet werden (Bild 24).

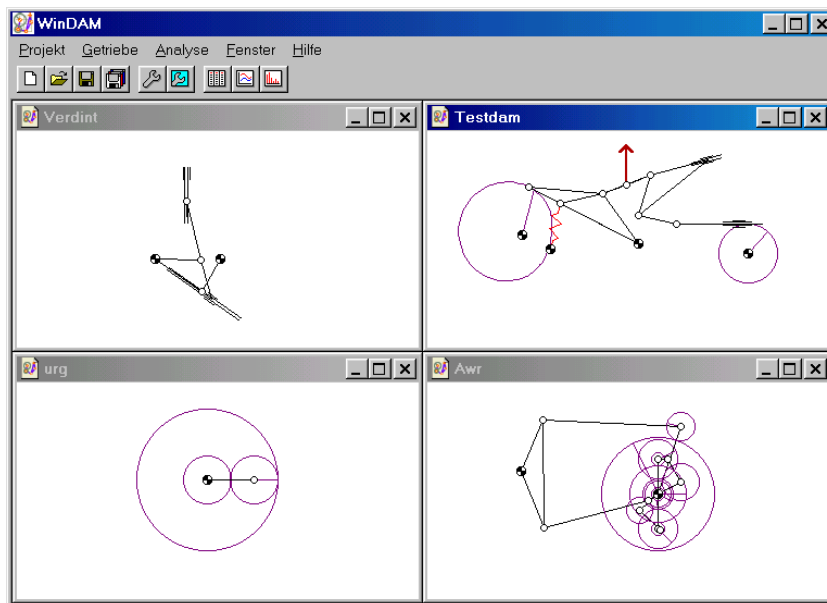


Bild 24: Kinematische Schemata von Mechanismen

4.1.2 Bearbeitung von Schema-Fenstern

Wenn sich der Mauszeiger auf dem kinematischen Schema befindet, kann durch Betätigen der rechten Maustaste das **Eigenschaften-Fenster** geöffnet werden. (Die gleiche Aktion wird durch das Anklicken von *Eigenschaften* im Hauptmenü-Punkt *Fenster* erreicht.) Im Eigenschaften-Fenster können die Registerkarten *Stellung*, *Ansicht*, *Zoom* oder *Punkte* ausgewählt werden.

4.1.2.1 Animation

Im Menüpunkt *Stellung* wird der Umlauf des kinematischen Schemas spezifiziert. Die einzelnen Auswahlmöglichkeiten sind in Bild 25 erläutert; die Umlaufgeschwindigkeit ist per Tastatureingabe einstellbar und (im Rahmen der Rechengeschwindigkeit) sichtbar.

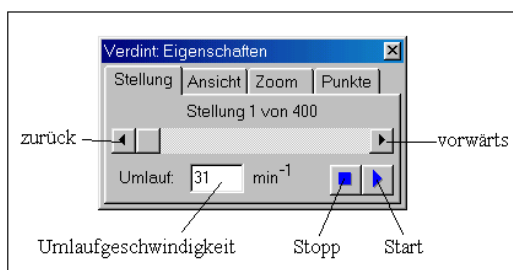


Bild 25: Eigenschaften-Menü *Stellung*

4.1.2.2 Ansicht

Im Eigenschaften-Menü *Ansicht* werden Optionen zur Darstellung von Berechnungsergebnissen und zusätzlichen Informationen während der Animation des umlaufenden Schemas angeboten. Diese Größen sind (vgl. Bild 26):

- Antriebsmomente in Größe und Richtung,
- Gelenkreaktionen in Größe und Richtung,
- Lage und Bahn des Gesamtschwerpunktes,
- Lage und Bahn der Einzelschwerpunkte,
- das raumfeste Bezugskordinatensystem,
- die mitbewegten Glied-Koordinatensysteme,
- der Platzbedarf und
- die Gliednummerierung.

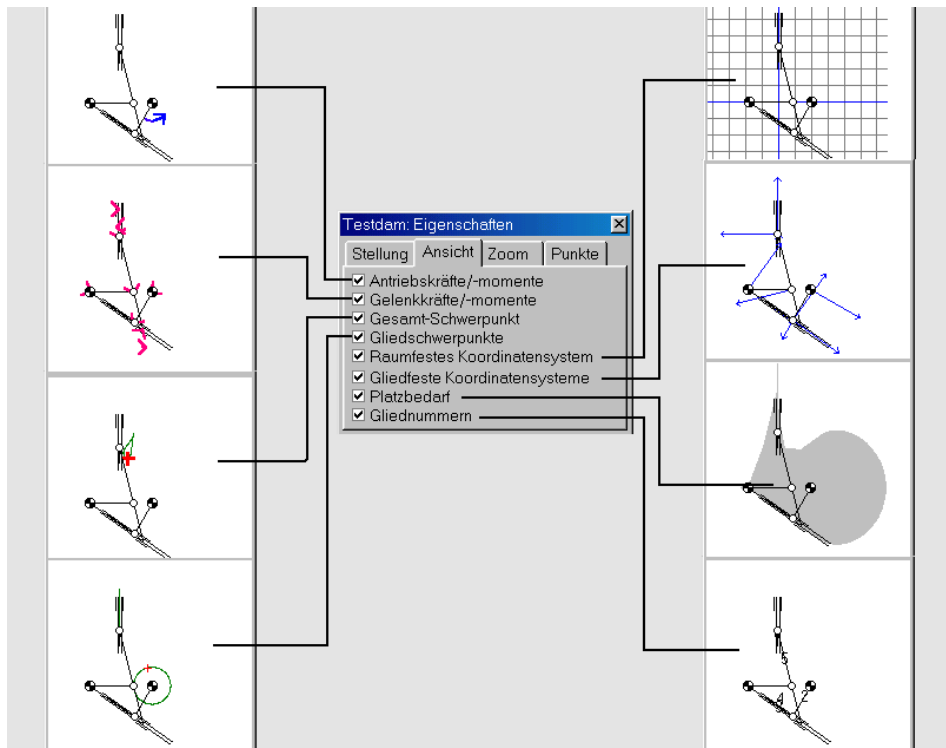


Bild 26: Darstellungsmöglichkeiten im Eigenschaften-Menü **Ansicht**

4.1.2.3 Zoom

Das Eigenschaften-Menü *Zoom* ermöglicht eine vergrößerte oder verkleinerte Darstellung des umlaufenden Schemas. Damit sind z.B. Detaildarstellungen (bis zu 40-fache Vergrößerung) möglich (Bild 27).

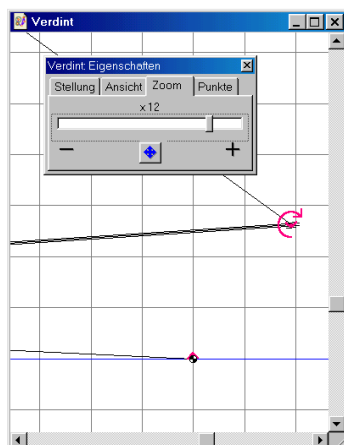


Bild 27: Detail mit dem Eigenschaften-Menü **Zoom**

4.1.2.4 Punkte

Der Anwender kann mit Hilfe des Punkte-Menüs gliedfeste Zusatzpunkte auf den Getriebegliedern definieren, sich deren Bahnen (wenn diese geschlossen sind) und Evoluten (geometrische Orte der Krümmungsmittelpunkte) zeigen lassen und alle dazu gehörigen kinematischen Größen ausgeben lassen. (Bild 28)

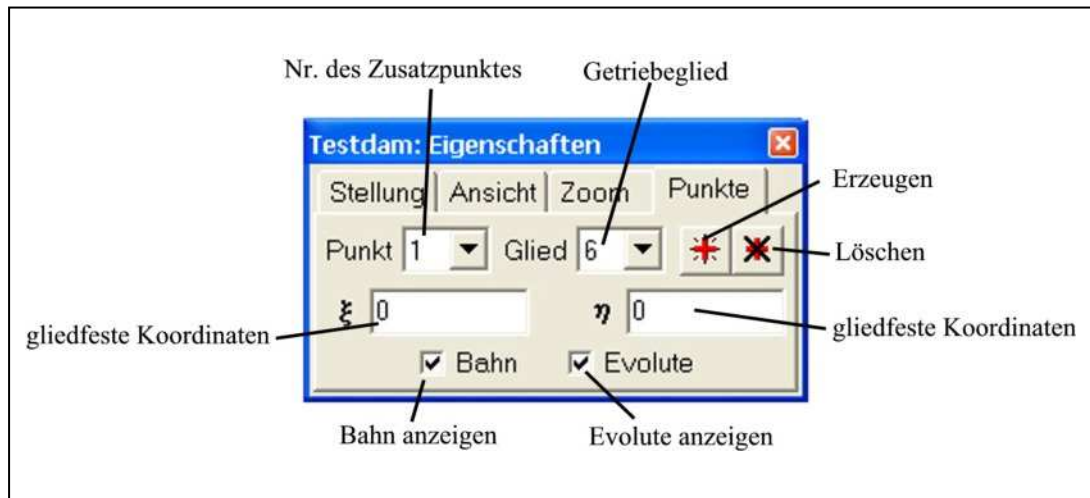


Bild 28: Möglichkeiten im Punkte-Menue

Zwei Buttons dienen zum Erzeugen und Löschen von Zusatzpunkten. Daneben befindet sich eine Drop-Down-Liste, aus der einer der Punkte anhand seiner Nummer ausgewählt werden kann. Die Auswahl eines Punktes kann auch direkt durch Anklicken im Schema-Fenster (vgl. Bild 24) erfolgen. Gliednummer und gliedfeste Koordinaten dieses Punktes werden im Register angezeigt und können dort auch verändert werden.

Der gewählte Zusatzpunkt kann auch einfach per Maus im Schema-Fenster verschoben werden. Die kinematischen Größen werden automatisch neu berechnet und angezeigt. Zur Aktivierung dieser Funktion muss die **linke Maustaste** bei betätigter **Strg-** oder Umschalt- **Taste** gedrückt werden.

4.1.3 Bearbeitung von Analysefenstern

Zu den Analyse-Fenstern gehören Tabellen, Diagramme und Fourierreihen. Jedes dieser Fenster kann mehrere Objekte (Spalten / Kurven / Reihen) enthalten. Über zwei Buttons können neue Objekte erstellt und vorhandene Objekte gelöscht werden (s. Bild 29). Daneben befindet sich eine Drop-Down-Liste, in der das Objekt anhand seiner Nummer oder seiner Farbe ausgewählt werden kann. In Tabellen und Diagrammen kann die gewählte Spalte (eingerahmt) bzw. Kurve auch direkt per Mausklick im Analyse-Fenster festgelegt werden. Auf das gewählte Objekt beziehen sich nun alle Werte in den drei Registern.

4.1.3.1 Daten

Diese Registerkarte ist für alle Analyseformen gleich, hier wird der Inhalt der Fenster festgelegt. Im obersten Feld wird das Getriebe gewählt, auf das sich das Objekt beziehen soll. Zur Bezeichnung wird dabei der Name der geöffneten Datei verwendet (siehe Bild 29).

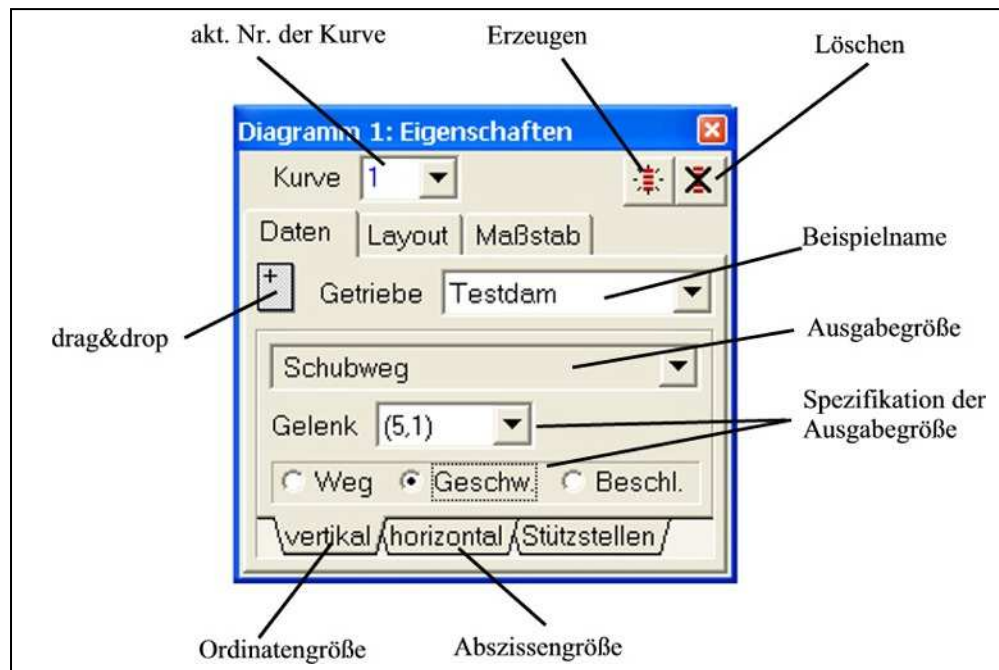


Bild 29: Optionen in der Registerkarte „Daten“ (für Diagramme)

Darunter befindet sich ein weiteres, untergeordnetes Register zur Auswahl der zu analysierenden Größe. Für die Kurven eines Diagramms enthält dieses Register drei Seiten: für die vertikale und die horizontale Achse sowie für die (optionale) Beschriftung der Stützstellen. Für die anderen Analyse-Formen existiert jeweils nur eine Seite. Einziges festes Element in diesem Register ist ein Feld, mit dem die Kategorie der gewünschten Größe gewählt wird. Alle weiteren Elemente dienen der näheren Spezifikation dieser Größe und sind je nach Kategorie verschieden. Zur Wahl steht auch eine arithmetische Verknüpfung bereits vorhandener Kurven / Spalten / Reihen.

Beachte: Manche Werte beziehen sich auf Zusatzpunkte und stehen deshalb nur dann zur Verfügung, wenn im betreffenden Schema-Fenster solche definiert worden sind. Dazu gehört auch das resultierende Gestellmoment.

Links oben befindet sich das Drag&drop-Symbol, mit dem Sie die angezeigten Daten in ein anderes Analysefenster kopieren können. Zu einem Diagramm lässt sich auch unmittelbar eine Tabelle erzeugen, die außer arithmetischen Verknüpfungen alle vorkommenden Größen enthält.

4.1.3.2 Layout

Die Elemente auf dieser Registerkarte bestimmen die Erscheinung eines Analysefensters. Bei Tabellen wird hier festgelegt, bis zu welcher Kommastelle die Anzeige in der gewählten Spalte erfolgen soll. Für die Kurven in einem Diagramm stehen einige zusätzliche Funktionen zur Verfügung. So kann statt der standardmäßigen Anzeige von einer Periode eine andere positive (auch gebrochene) Anzahl eingestellt

werden. Für die horizontale und vertikale Richtung können jeweils ein Skalierungsfaktor und ein Summand angegeben werden, um die die Werte vor der Anzeige modifiziert werden. (siehe Bild 30)

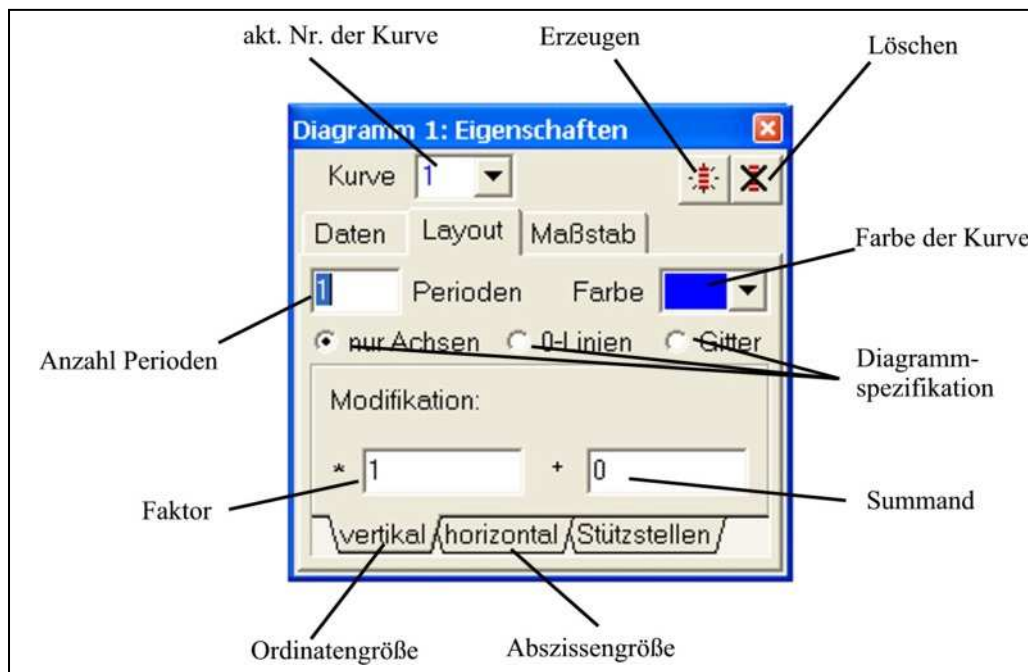


Bild 30: Optionen in der Registerkarte „Layout“ (für Diagramme)

Auf der Seite Stützstellen des untergeordneten Registers wird der Modus der Markierung gewählt. Normalerweise erfolgt eine Markierung nur an der Stützstelle, die der angezeigten Getriebeposition entspricht. Alternativ können aber auch alle Stützstellen markiert oder zusätzlich mit einer bestimmten Größe (festzulegen auf der Registerkarte Daten) beschriftet werden. Falls eine zu große Anzahl von Stützstellen zu schlechter Erkennbarkeit führt, kann die Dichte der angezeigten Stellen verringert werden.

4.1.3.3 Maßstab

Dieses Register ist nur für Diagramme verfügbar. Im Standardmodus „maximale Größe“ wird der Maßstab für die Achsen automatisch so festgelegt, dass der Graph das gesamte Fenster ausfüllt. Bei „Achsen proportional“ erfolgt ebenfalls eine automatische Anpassung, bei der aber für beide Achsen der gleiche Maßstab verwendet wird. Im Modus „manuell“ ist die automatische Anpassung abgeschaltet; es werden die Werte aus dem untergeordneten Register verwendet. Der Maßstab eines Diagramm-Fensters lässt sich mit einem Button speichern und in einem anderen Fenster mit einem zweiten Button kopieren.

4.2 Arithmetische Verknüpfungen

Wenn im Daten- Register (Abschnitt 4.1.3.1) die Kategorie „Arithmetische Verknüpfung“ gewählt wird, erscheint ein Eingabefeld, in dem die darzustellende Größe als beliebige Berechnung aus bereits existierenden Kurven / Spalten / Reihen desselben Analyse- Fensters festgelegt werden kann. Die Syntax des Ausdruckes entspricht dabei den üblichen Regeln, wobei folgende Elemente zulässig sind:

- Gleitkomma-Zahlen
- Operatoren: + - * / ^
- Klammern: ()
- Standardkonstanten: **pi**
- Standardfunktionen: **sqrt, exp, ln, sin, cos, tan, arcsin, arccos, arctan, abs**
- Nummer der Getriebestellung: **i**
- Identifikatoren für vorhandene Kurven / Spalten / Reihen: **#n** (n: Nummer)

Groß- und Kleinschreibung spielen keine Rolle. Die Elemente können beliebig durch Leerzeichen getrennt sein, Multiplikationszeichen können jedoch nicht weggelassen werden. Funktionen ohne folgende Klammern beziehen sich nur auf das folgende Element, das eine positive Konstante, die Getriebestellung oder ein Identifikator sein muss. Als Identifikatoren sind grundsätzlich nur Kurven / Spalten / Reihen mit einer Nummer zulässig, die kleiner ist als die der zu berechnenden.

Beispiel für einen korrekten Ausdruck: $SQRT (\#1^2 + \#2^2)$

Die Identifikatoren beziehen sich bei Diagrammen immer auf die gleiche Dimension. Der vertikale Wert einer Kurve kann also beispielsweise nur eine Verknüpfung aus ebenfalls vertikalen Werten anderer Kurven sein. Bei Änderungen in den verknüpften Werten wird die Berechnung sofort aktualisiert - es sei denn, einer davon wurde aus dem Analyse- Fenster entfernt. Falls der eingegebene Ausdruck fehlerhaft ist, erscheint unter der Eingabezeile eine Meldung über die Art des Fehlers.

Prinzipiell ist die Verknüpfung von Werten aus verschiedenen Getrieben möglich, bei unterschiedlichen Anzahlen von Getriebestellungen werden aber unsinnige Werte geliefert. Wie viele Stellungen für eine arithmetische Verknüpfung berechnet werden, hängt vom gewählten Getriebe ab.

4.3 Optionen-Fenster

Der im Hauptmenü unter „Fenster“ aufgeführte Punkt „Optionen“ bietet die Möglichkeit zu individuellen Einstellungen für die Benutzeroberfläche. In Bild 31 ist das Optionen-Fenster dargestellt.

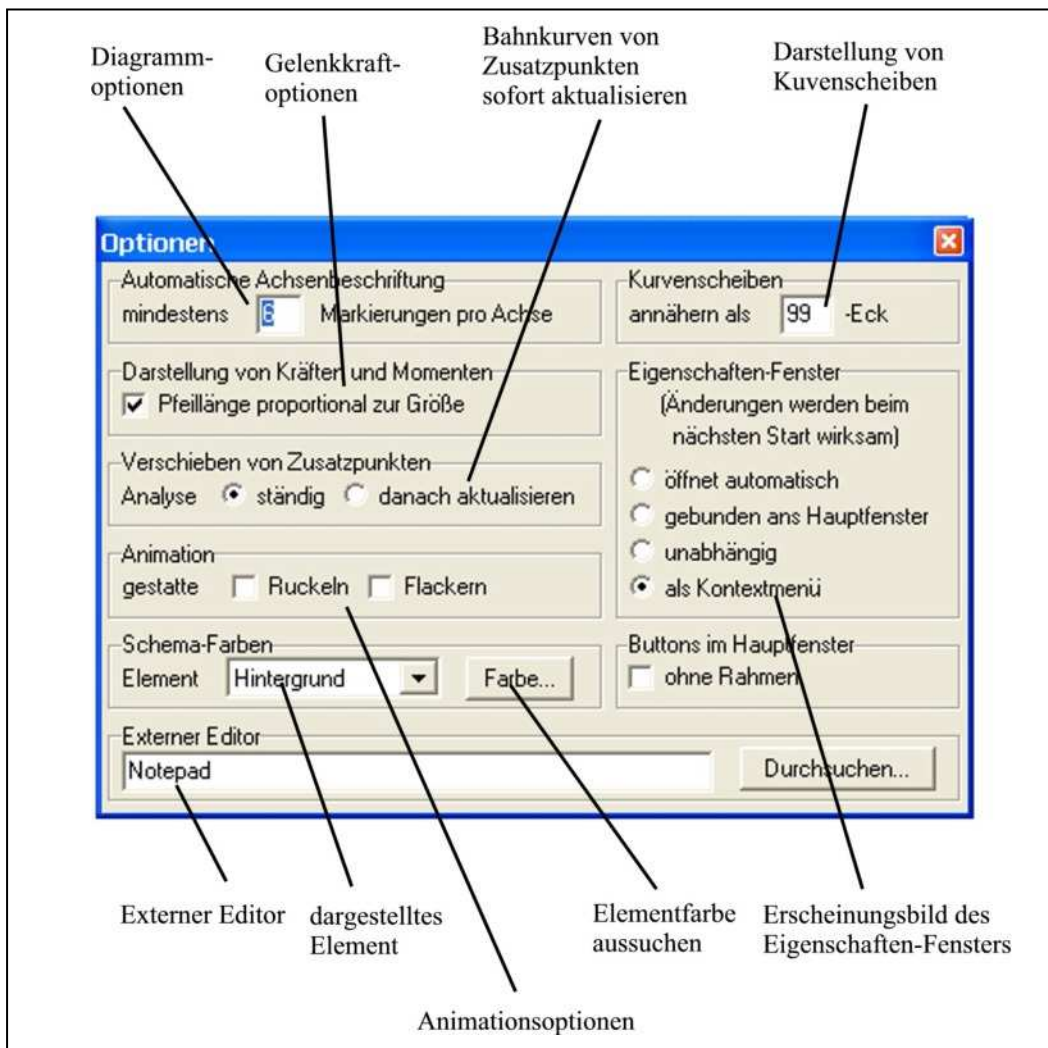


Bild 31: Das Optionen-Fenster mit den Einstellmöglichkeiten

Es können folgende Einstellungen vorgenommen werden:

Automatische Achsenbeschriftung:

Die Einheiten für die Achsen von Diagrammen werden derart festgelegt, daß mindestens eine bestimmte Anzahl von Markierungen an jeder Achse entsteht. Diese Zahl kann hier verändert werden.

Darstellung von Kräften und Momenten:

Ist die Option Pfeillänge proportional zur Größe deaktiviert, werden alle Pfeile mit der gleichen Länge dargestellt. Dadurch werden die Richtungen vergleichsweise kleiner Kräfte und Momente besser erkennbar.

Verschieben von Zusatzpunkten:

Werden Zusatzpunkte mit der Maus im Schema- Fenster verschoben, muß das Programm damit verbundene Analysen entsprechend korrigieren. Im Modus ständig aktualisieren geschieht dies fortlaufend, wodurch je nach Leistungsfähigkeit des Computers und Komplexität der Berechnung Verzögerungen entstehen können. Mit der Einstellung danach aktualisieren wird dies vermieden, da die Aktualisierung der Analysen erst nach Loslassen der Maustaste erfolgt.

Animation:

Die Darstellung eines umlaufenden Getriebes ist relativ leistungshungrig. Übersteigt die Komplexität der Berechnung die Leistungsfähigkeit des Rechners, dann erreicht der Umlauf nicht die gewünschte Drehzahl. Dem können Kompromisse bei der Darstellungsqualität abhelfen. Gestatte Ruckeln senkt den Bildtakt von 18 auf 9 pro Sekunde, bewirkt also eine Halbierung der Systembelastung. Mit Gestatte Flackern wird die Pufferung der Ausgabe abgeschaltet, was unweigerlich mit einem Flackern beim Umlauf verbunden ist.

Farben:

Hier können die Farben für die verschiedenen Elemente in der Schema-Darstellung bestimmt werden. Wählen Sie zuerst das gewünschte Element und drücken Sie dann den Knopf Farbe.

Kurvenscheiben:

Die Kurvenscheiben werden im Schema als Polygone angenähert. Hier wird eingestellt, mit welcher Genauigkeit das erfolgt.

Eigenschaften-Fenster:

Das Eigenschaften-Fenster beherrscht vier verschiedene Betriebsarten:

- **öffnet automatisch:** Das Fenster erscheint normalerweise nur als Titelleiste und öffnet sich nur, wenn man mit der Maus darüber fährt. Achtung: Wenn Sie in diesem Modus mit der Tastatur im Fenster arbeiten möchten, dürfen Sie den Mauszeiger nicht aus dem Fensterbereich bewegen, da es sich sonst automatisch verkleinert und die Bedienelemente dann nicht mehr sichtbar sind.
- **gebunden ans Hauptfenster:** Das Fenster bewegt sich mit dem Hauptfenster und kann nur innerhalb von diesem erscheinen.
- **unabhängig:** Das Fenster kann überall auf dem Bildschirm platziert werden.
- **als Kontextmenü:** Das Fenster öffnet sich bei Klick mit der rechten Maustaste an der Mausposition und schließt sich automatisch, wenn es den Fokus verliert. Es verhält sich damit ähnlich wie ein Kontextmenü. In diesem Modus wird das Eigenschaften-Fenster nicht automatisch bei Öffnen eines neuen Schema- oder Analyse- Fensters eingeblendet.

Externer Editor:

Hier können Sie das Programm festlegen, das als externer Editor verwendet wird. Geben Sie den kompletten Pfad an.