

Nutzerinformation APPROX für Windows

1 Einleitende Bemerkungen

Im Maschinen- und Gerätebau sind Getriebe als mechanische Einrichtungen zum Übertragen (Wandeln) von Bewegungen und Kräften oder zum Führen von Punkten/Ebenen eines Körpers auf bestimmten Bahnen im Einsatz. Gegenstand der Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Software ist die Gruppe der Koppelgetriebe (Mechanismen). Diese Getriebe sind vor allem dort anzutreffen, wo ungleichförmige Bewegungen realisiert werden müssen. Das am Institut für Festkörpermechanik entwickelte Programmpaket **APPROX für Windows** bietet dem Anwender umfassende Möglichkeiten zur

- Kinematischen und kinetostatischen Analyse, approximativen (angenäherten) Synthese ebener maximal 15-gliedriger Koppelgetriebe, strukturiert nach dem ASSUR-Konzept gesteuerter Dreigelenkbögen,
- Lösung von Minimierungs- und Maximierungsaufgaben,
- Lösung linearer und nichtlinearer Gleichungssysteme sowie Extremwert- und Nullstellenermittlung von Funktionen mit einer Veränderlichen,
- Lösung einfacher Polyoptimierungsaufgaben.

Bei der Analyse wird das in den Abmessungen gegebene Getriebe u.a. hinsichtlich der Bewegungsgrößen (Weg/Winkel, Geschwindigkeit und Beschleunigung) und der Gleichgewichtskräfte bzw. -momente am Abtrieb untersucht. Getriebesynthese heißt Aufbau eines Getriebes aus bekannten Elementen für gegebene Forderungen. Mit der Einbeziehung der Optimierungsrechnung wird das optimale Getriebe angestrebt. Die vorhandenen Möglichkeiten zur Simulation der Getriebebewegung und die beachtliche Synthesefähigkeit unter Einbeziehung der Approximationstheorie und der Optimierungsrechnung machen die eigentliche Faszination dieser Software aus.

2 Leistungsumfang

Das vorliegende Programmpaket APPROX für Windows ist modular strukturiert und ermöglicht eine umfassende Lösung von Aufgabenstellungen der Getriebeanalyse, Synthese und Optimierung. Die entsprechenden Module sind **APPROX** und **OPTIMA**.

Die mit APPROX realisierbare angenäherte Synthese bietet eine interessante Ergänzung und Erweiterung zu den Verfahren der exakten Synthese. Die Zielfunktionsbildung erfolgt aufgabengebunden und rechnerintern über Approximationskriterien von GAUSS oder TSCHEBYSCHEV. Im Folgenden werden einige Grundaufgaben der Synthese genannt:

- Realisierung von Bahnkurven und Lagen allgemein bewegter Ebenen (Führungsgetriebe)
- Realisierung von Totlagen, Umkehrlagen, Rasten, extremen oder bereichsweise konstanten Übersetzungen/Drehschubstrecken, Pilgerschritten
- Realisierung allgemeiner Verläufe der Übertragungsfunktionen (Übertragungsgetriebe).

Die angenäherte Synthese greift in vielen Fällen auf Ergebnisse der exakten Synthese zurück. Dazu gehören z. B. Informationen aus Kurventafeln, Arbeitsblättern, Katalogen und Atlanten.

3 Systemvoraussetzungen bei Installation und Nutzung von APPROX für Windows

Betriebssystem: Microsoft Windows 2000, XP, VISTA, Windows 7

CPU: Pentium-Prozessor ab 200 MHz

RAM: mindestens 128 MB

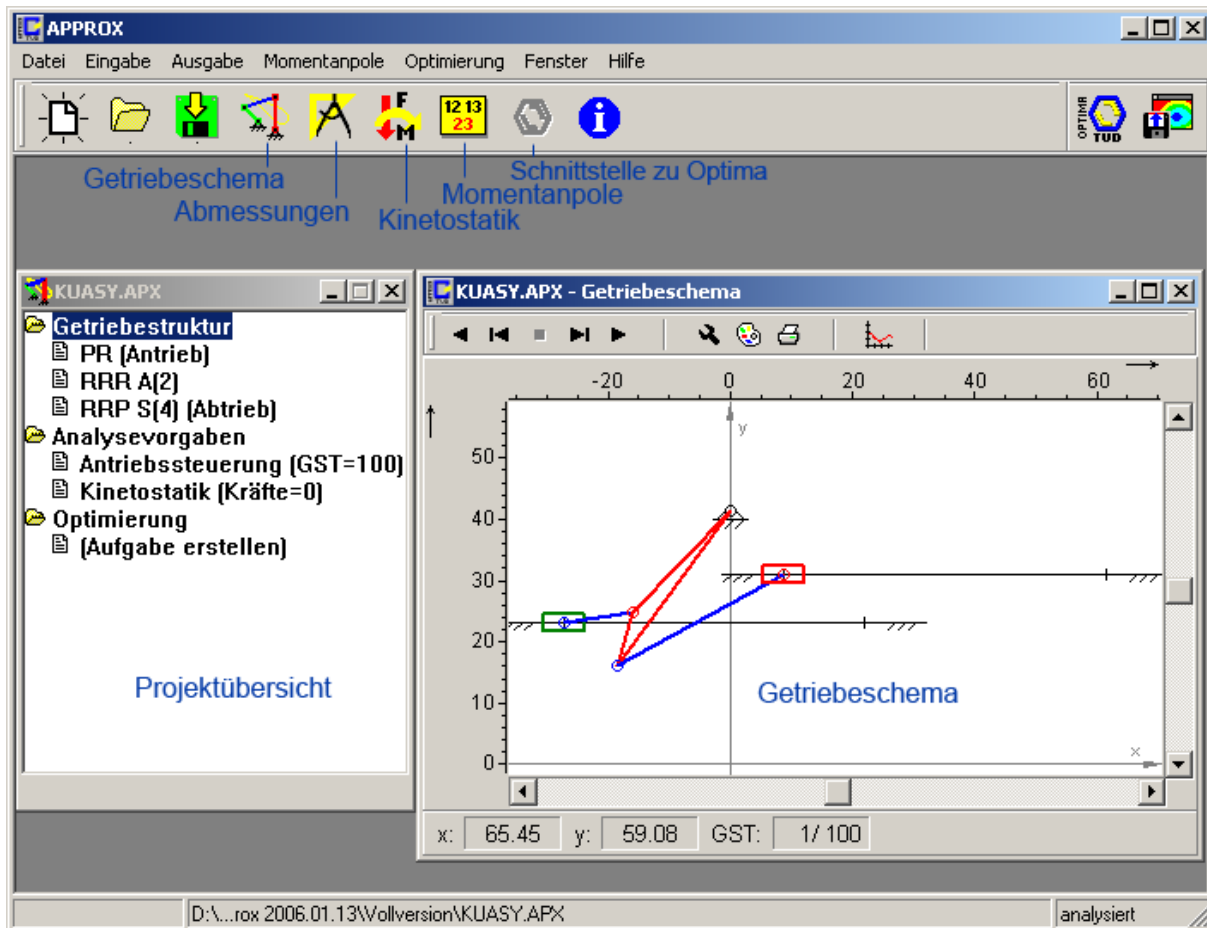
Grafikkarte: Super-VGA, minimale Auflösung 800 x 600 Pixel

Farbtiefe: 16 Bit oder mehr

Festplatte: ca. 25 MB freier Speicherplatz

4 APPROX

Nach dem Öffnen des Moduls APPROX erscheint die folgende Bedienoberfläche. Die Bedeutung der Schaltflächen (Icons) wird über entsprechende Positionierungen des Mauszeigers durch ein Textfeld eingeblendet.



4.1 Getriebeeingabe

Um das in den Abmessungen bekannte Getriebe einzugeben, muss durch Mausklick auf das Symbol **Neues Getriebe erstellen** ein neues Projekt erstellt werden. Vom Anwender werden nun Schritt für Schritt die zur eindeutigen Beschreibung des Getriebes notwendigen Eingabedaten bereitgestellt.

4.1.1 Festlegen der Getriebebestruktur

In der eingeblendeten Projektübersicht ist der Eingabestatus sichtbar. Bei Änderungen bzw. Fehleingaben können die Eingabefenster wieder geöffnet werden, indem auf die entsprechenden Äste, die während der Eingabe automatisch erstellt werden, zugegriffen wird.

4.1.1.1 Strukturkonzept für Koppelgetriebe

Dem strukturellen Aufbau der Koppelgetriebe, die mit APPROX für Windows analysiert und optimiert werden können, liegt das Konzept beliebig gesteuerter Dreigelenkbögen zu Grunde.

Unter einem Dreigelenkbogen (DGB) ist eine Gliedergruppe II. Klasse nach ASSUR zu verstehen, die aus 2 Gliedern und 3 Gelenken (z.B. Dreh-, Schubgelenke) besteht. Die Verknüpfung der einzelnen DGB zu einem Verbund mehrgliedriger Koppelgetriebe erfolgt durch eine Vielzahl möglicher

Kopplungsbedingungen. Für die Antriebe werden Zwei- und Dreigelenkglieder verwendet.

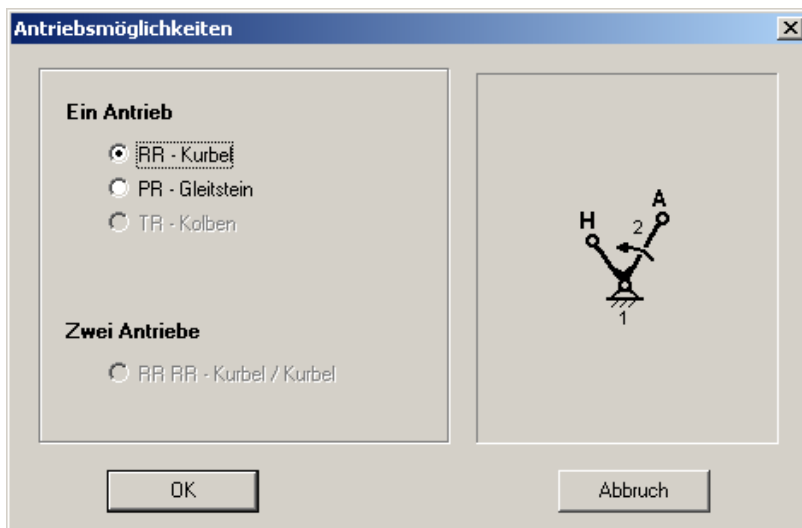
Das gewählte Strukturkonzept erweist sich vor allem im Hinblick auf die Optimierung als sehr effektiv, da für den vorgeschalteten Analyseprozess kurze Rechenzeiten wegen der explizit lösbaren (schnellen) Gleichungen zu erwarten sind. Nachteilig ist, dass die Gliedergruppen höherer Klassen diese Eigenschaft nicht besitzen und demzufolge nicht berücksichtigt werden. In praktisch ausgeführten Getriebevarianten mit effektiven Strukturen sind vorrangig Gliedergruppen I. und II. Klasse nach ASSUR anzutreffen.

Die Ergebnisse der Struktureingabe werden in einem gesonderten Fenster dokumentiert.

- **R** für Drehgelenk
- **P** für Schubgelenk
- **T** für Translation beim Kolbenantrieb

4.1.1.2 Antriebe

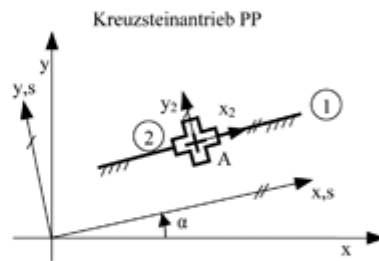
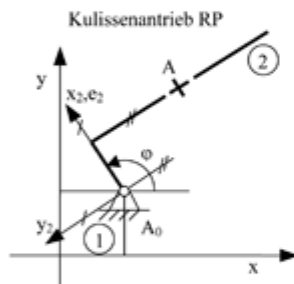
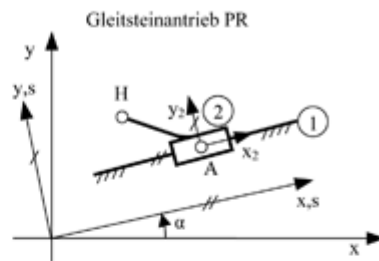
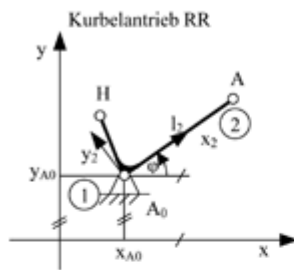
In der vorliegenden Version sind folgende Antriebsmöglichkeiten mit konstanter und variabler Schrittweitensteuerung gegeben:



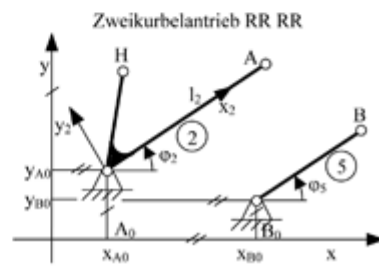
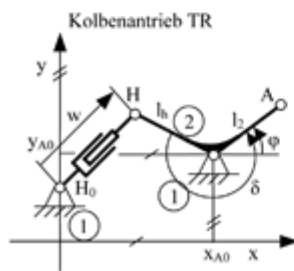
Sowohl Kulissenantrieb (RP-Antrieb) als auch Kreuzsteinantrieb (PP-Antrieb) sind im Programm zwar algorithmisch erfasst, bleiben aber aufgrund fehlender Praxisnähe deaktiviert.

Antriebe, Gliedergruppen I. Klasse nach Assur

Ein Antrieb



Zwei Antriebe

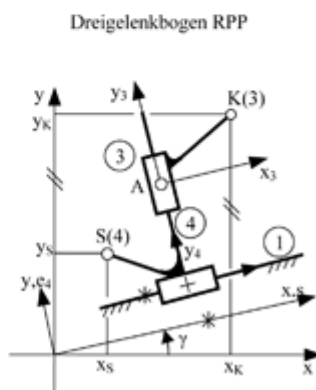
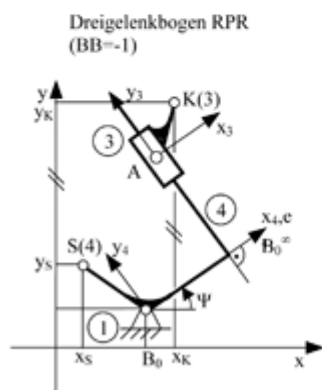
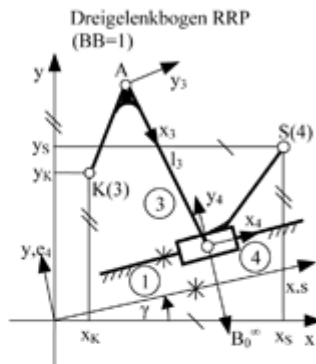
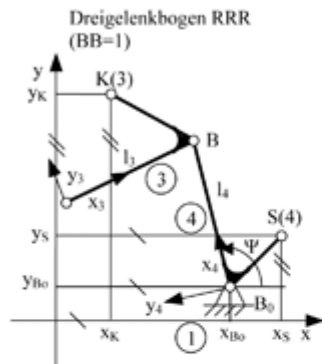


4.1.1.3 Dreigelenkbögen

4.1.1.3.1 Dreigelenkbögen mit 1-punktiger Steuerung

DGB, Gliedergruppen II. Klasse nach Assur

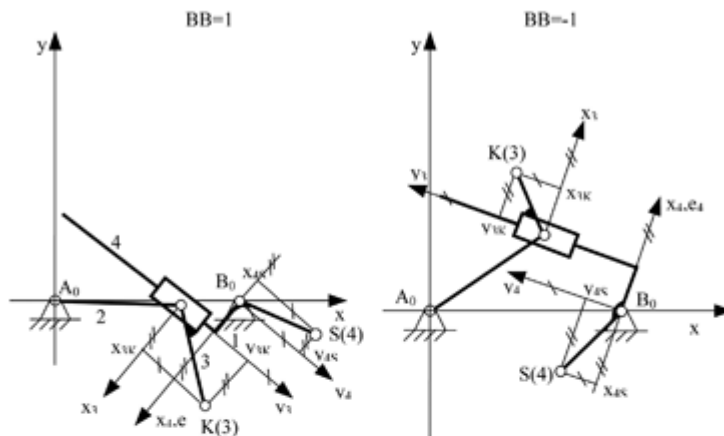
1-punktig gesteuerte Dreigelenkbögen, $Q_1=A$



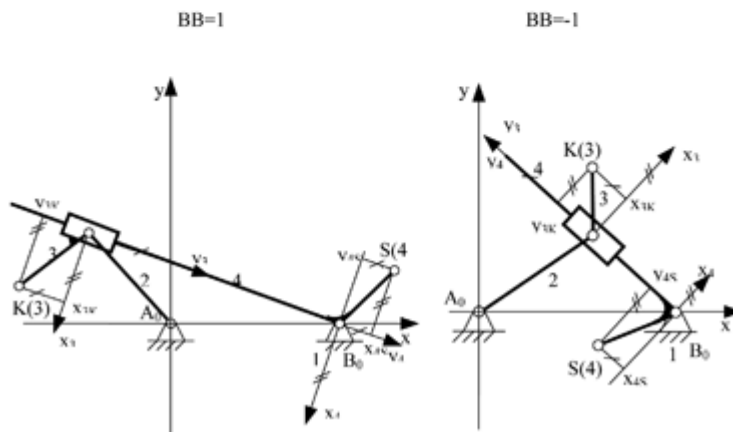
DGB, Gliedergruppen II. Klasse nach ASSUR

Spezifikationen zur Kurbelschleife (KL)

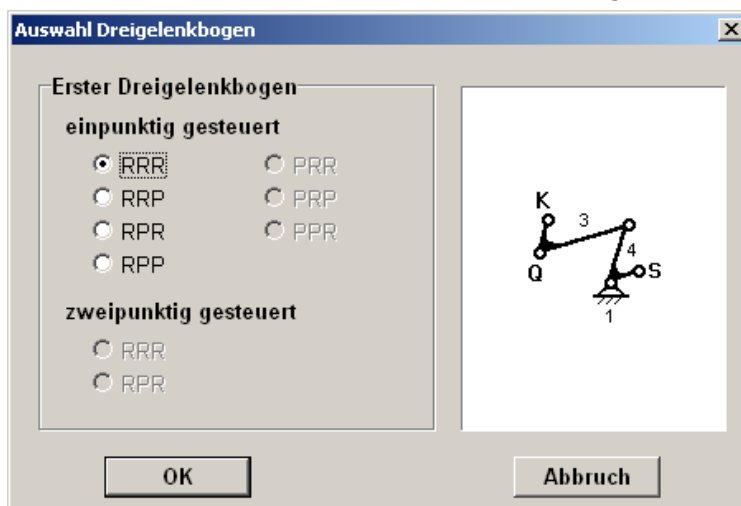
Versetzte (exzentrische) KL



Zentrische KL

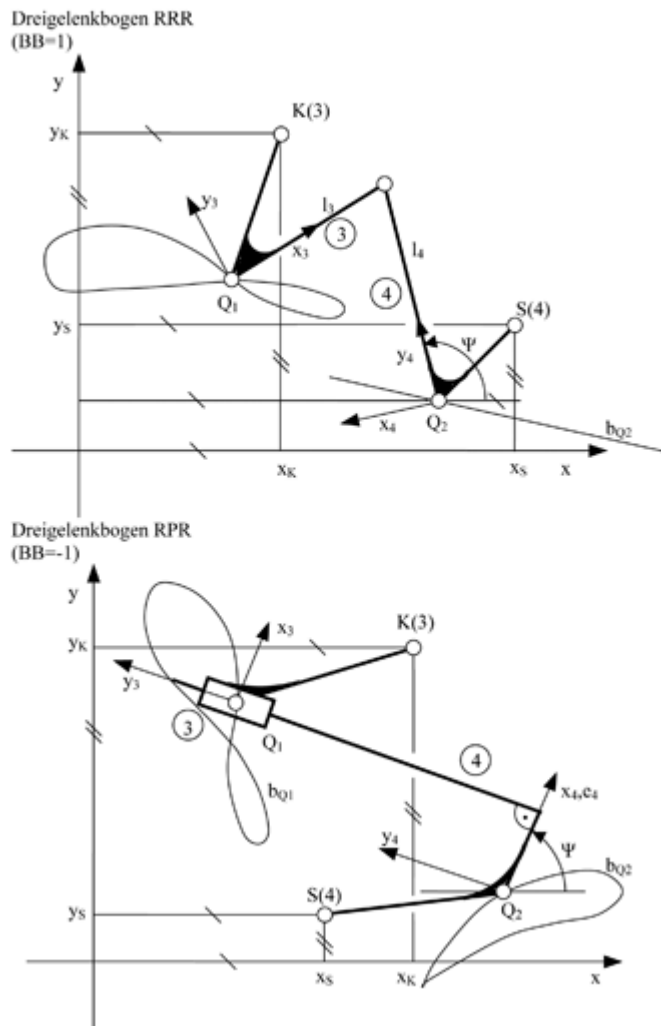


Die Steuerung der Dreigelenkbögen erfolgt über einen Punkt $Q = \dots$ (1. Steuerpunkt, der jeweils Bestandteil der Koppel eines DGB ist. Bei einer Kurbelschleife A_0ABB_0 ist $Q_1 = A$. Das zweite Getriebeglied wird im Sinne der Strukturdefinition stets als Schwinge bezeichnet, selbst wenn es als Gleitstein ausgeführt ist.



4.1.1.3.2 Dreigelenkbögen mit 2-punktiger Steuerung

2-punktig gesteuerte Dreigelenkbögen



Die Steuerung erfolgt über einen Punkt $Q_1 = \dots$ (1. Steuerpunkt, wird der Koppel des zu steuernden DGB zugeordnet) und einem Punkt $Q_2 = \dots$ (2. Steuerpunkt, wird der Schwinge des zu steuernden DGB zugeordnet). Die vorliegende Version enthält 2-punktig gesteuerte DGB vom Typ RRR und RPR.

4.1.1.3.3 Anzahl nachgeschalteter Dreigelenkbögen

Über das folgende Fenster kann die Anzahl der nachgeschalteten Gliedergruppen (DGB) eingegeben werden, die sowohl 1- als auch 2-punktig gesteuert sein können.

Weitere Dreigelenkbögen?

Anzahl nachgeschalteter Dreigelenkbögen:

Zulässiger Wertebereich: 0...5

4.1.1.4 Kopplungswahl

Für die Steuerung 1- oder 2-punktig gesteuerter Dreigelenkbögen stehen jeweils Gelenke A, H des Antriebes, K() der Koppelene und S() der Schwingenebene zur Verfügung. In den Klammern stehen die Ziffern der zugeordneten Getriebeglieder. Die Steuerungsmöglichkeit über einen K-Punkt heißt allgemein Stephenson'sche, die über einen S-Punkt Watt'sche Steuerung. Der erste Steuerpunkt für den ersten DGB ist $Q = Q_1 = A = A(2)$ mit 2 als Antriebsglied. Das Gestell bekommt in der Numerierung stets die Ziffer 1 zugeordnet.

Kopplungswahl

Zweiter Dreigelenkbogen (zweipunktig gesteuert)
Erster Steuerpunkt Q1

Kopplung über ...

... den Antrieb	... den dritten Dreigelenkbogen
☐ Gelenkpunkt A(2)	☐ Koppelpunkt K(7)
☐ Gelenkpunkt H(2)	☐ Schwingenpunkt S(8)
... den ersten Dreigelenkbogen	... den vierten Dreigelenkbogen
☒ Koppelpunkt K(3)	☐ Koppelpunkt K(9)
☐ Schwingenpunkt S(4)	☐ Schwingenpunkt S(10)
... den zweiten Dreigelenkbogen	... den fünften Dreigelenkbogen
☐ Koppelpunkt K(5)	☐ Koppelpunkt K(11)
☐ Schwingenpunkt S(6)	☐ Schwingenpunkt S(12)

OK **Abbruch**

4.1.2 Festlegen der Antriebssteuerung

Zur Bewegungssteuerung des Getriebes kann die diskrete oder die stetige Antriebssteuerung gewählt werden. Die Anzahl der Getriebestellungen ist auf 181 begrenzt. Die Werte der Antriebsgrößen für einen vorgegebenen Bereich können beliebig oder gleichmäßig verteilt angegeben werden. Die diskrete Steuerung wird vorrangig bei der Getriebeanalyse und angenäherten Synthese eingesetzt. Für die stetige Antriebssteuerung steht zurzeit nur ein quadratisches Polynom zur Verfügung.

Hinweis: Nach Eingabe von Start- und Endwerten kann die Spalte bei Verwendung der Tastenkombination Strg+L mit gleichmäßig verteilten Werten gefüllt werden. Zum Füllen der Zeilen einer Spalte mit gleichen Werten steht die Tastenkombination Strg+F zur Verfügung.

GST	Wert
1	0
100	360

OK Abbrechen

Vorgegebener Bereich von z.B. 0 bis 360° für Werte einer drehenden Antriebsbewegung.

4.1.2.1 Antriebssteuerung definieren

Antriebssteuerung

Steuerungsart
☒ diskret
☐ stetig (Antriebspolynom)

Zweiter Antrieb
☒ konstante Übersetzung

Getriebestellungen 100

OK

Abbruch

Werte gleichmäßig verteilen

GST	Wert
1	50
100	410

OK

Abbrechen

In diesem Einstellbereich ist es möglich, die Anzahl der Stellungen sowie den Beginn (50 Grad oder Millimeter) und das Ende der Bewegung (410) zu definieren.

4.1.2.2 Antriebsgrößen

Antriebsgrößen (1. Antrieb)				
GST	Weg (mm)	Geschw. (mm/s)	Beschl. (mm/s ²)	Blockbildung
1	100	1	0	0
2	140	1	0	1
3	180	1	0	1
4	220	1	0	1
5	260	1	0	1
6	300	1	0	1
7	340	1	0	0
8	380	1	0	0
9	420	1	0	0
10	460	1	0	0

OK Verteilen Hilfe Abbruch

Auf Wunsch können Eingabewerte gleichmäßig auf alle Getriebebestellungen verteilt werden. Informationen zur Blockbildung sind im Punkt 4.3.3.2 enthalten.

4.1.3 Eingabe der Getriebeabmessungen

4.1.3.1 Abmessungen für Antrieb

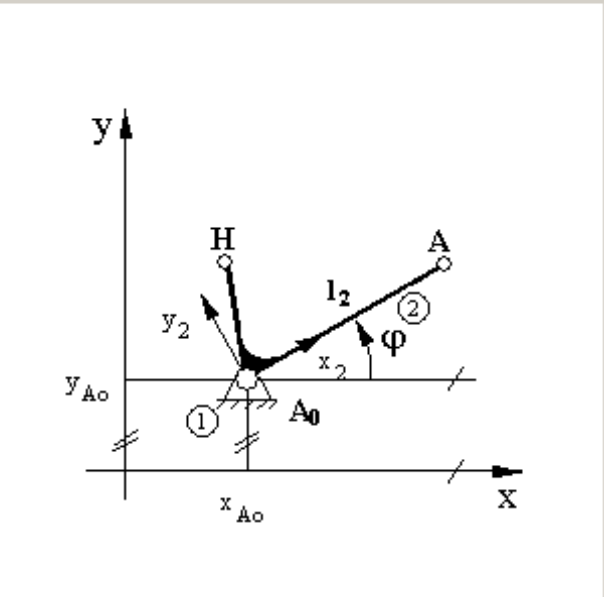
Im Eingabemenü für Getriebeabmessungen werden Koordinaten von Punkten und Längen der Antriebsglieder definiert. Zu beachten sind die über der Bestätigenstaste eingeblendeten Informationen.

4.1.3.1.1 Ein Antrieb

Name	Wert	Einheit
x _{A0}	0	mm
y _{A0}	0	mm
L ₂	57.5	mm

x_{A0} beliebig

OK Abbruch <<



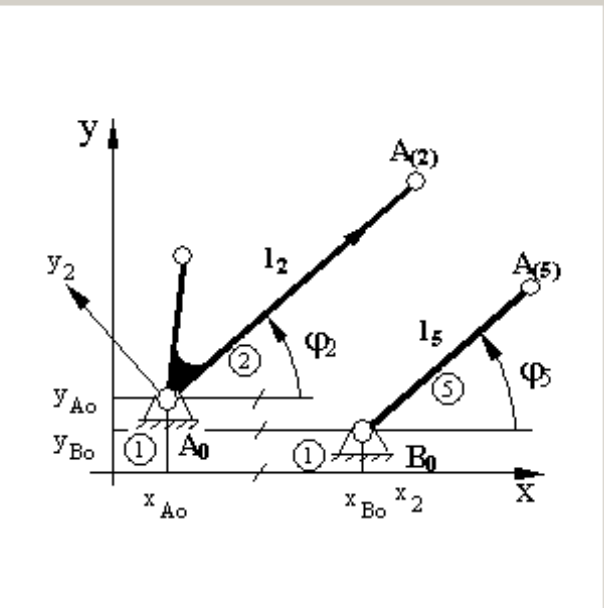
4.1.3.1.2 Zwei Antriebe

Abmessungen Antrieb [ZRR]

Name	Wert	Einheit
x_{A0}	0	mm
y_{A0}	0	mm
L_2	20	mm
x_{B0}	100	mm
y_{B0}	0	mm
L_5	15	mm

x_{A0} beliebig

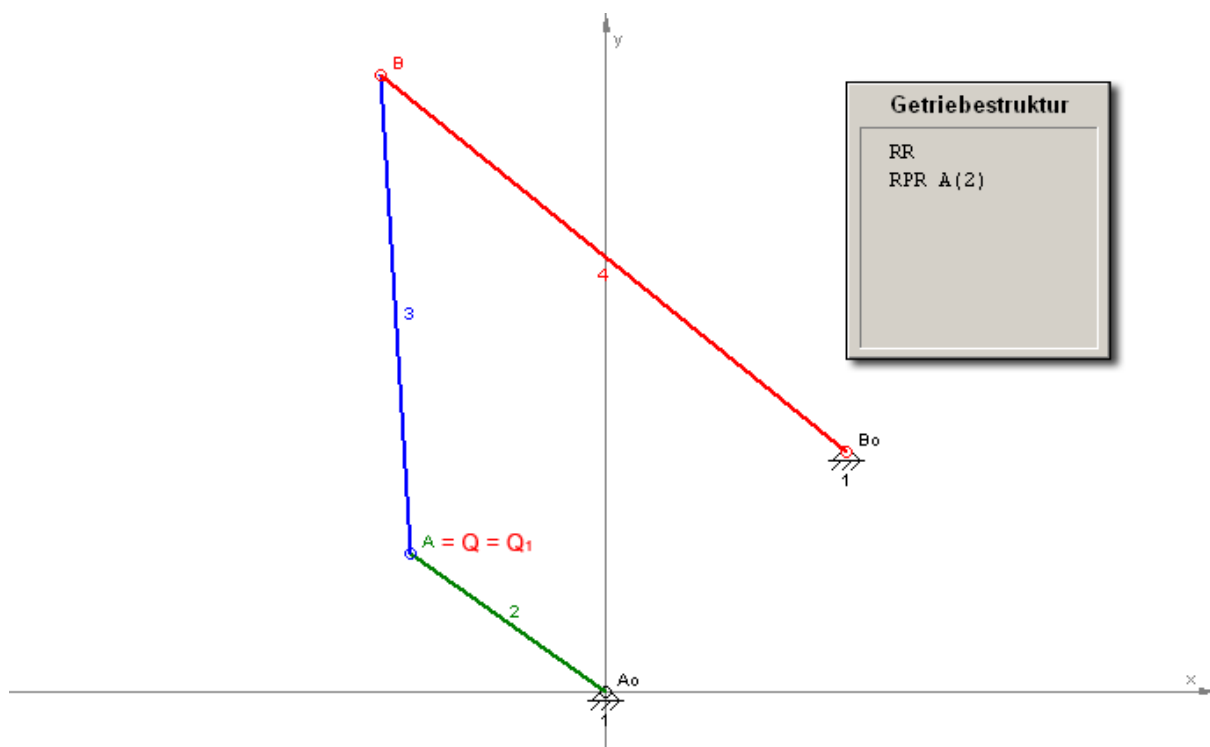
OK Abbruch <<



4.1.3.2 Abmessungen der Dreigelenkbögen

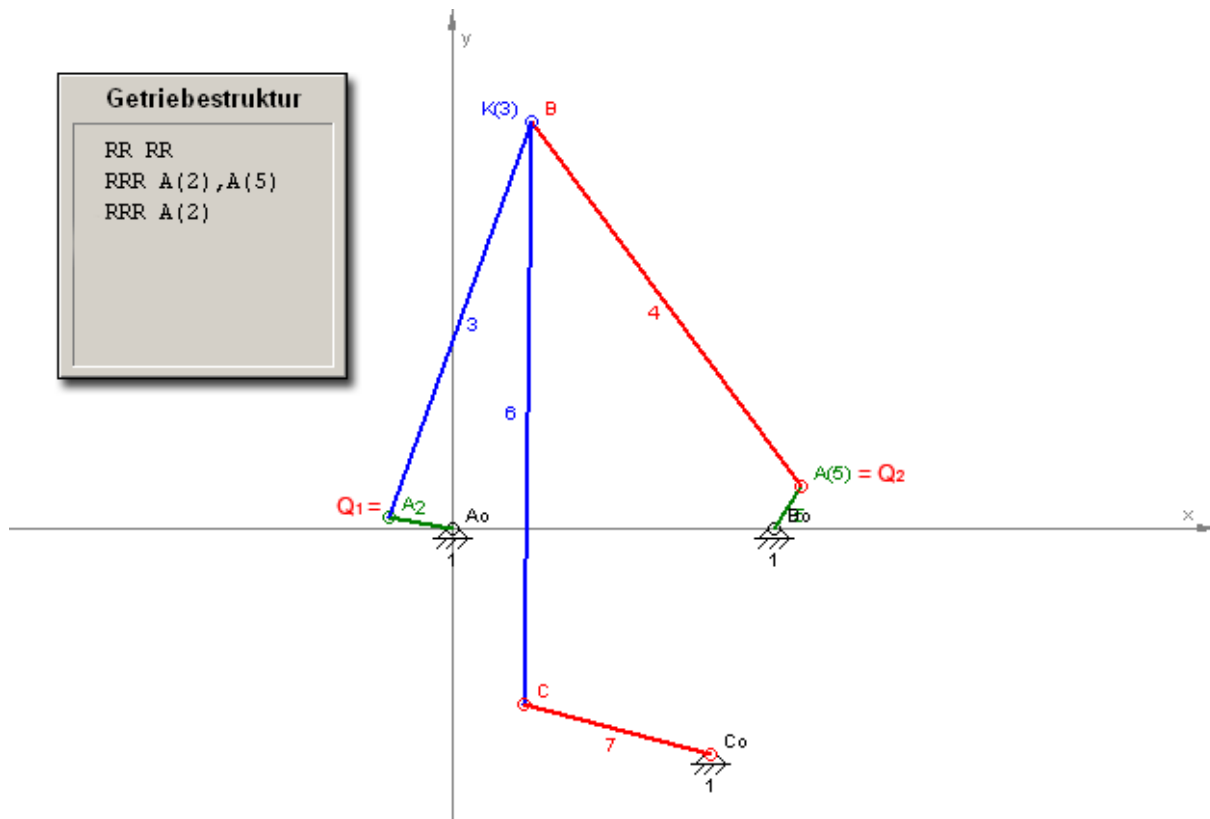
4.1.3.2.1 1-punktig gesteuerte Dreigelenkbögen

Die Steuerung erfolgt für den ersten Dreigelenkbogen über einen Punkt $Q = A$. Bei weiteren Dreigelenkbögen können Sie im Fenster **Kopplungswahl** die entsprechende Zuordnung des Steuerpunktes zu einem Gelenkpunkt, Koppel- oder Schwingenpunkt vornehmen.



4.1.3.2.2 2-punktig gesteuerte Dreigelenkbögen

Die Steuerung erfolgt über einen Punkt $Q_1 = \dots$ (1. Steuerpunkt, wird der Koppel des zu steuernden DGB zugeordnet) und einem Punkt $Q_2 = \dots$ (2. Steuerpunkt, wird der Schwinge des zu steuernden DGB zugeordnet). Die vorliegende Version enthält RRR und RPR als 2-punktig gesteuerte DGB.



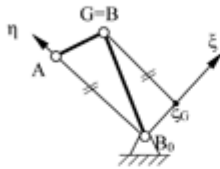
4.1.3.2.3 Bewegungsbereiche

Bewegungsbereiche, allgemein

Bedingung:

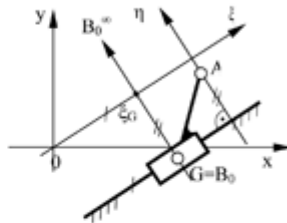
$BB = 1$, falls $\xi_G \geq 0$
sonst $BB = -1$

RRR
 η von B_0 nach A, G in B



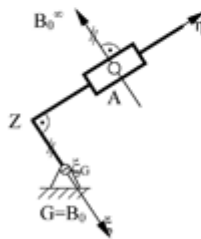
$BB=1$

RPR
 ξ parallel zur Schubrichtung durch 0, η durch A



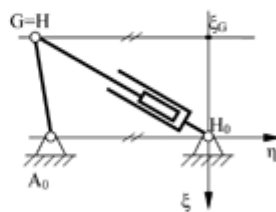
$BB=-1$

RPR
 η von Z nach A, G in B_0



$BB=1$

TR
 η von A_0 nach H_0 , ξ durch H_0



$BB=-1$

Bewegungsbereiche für Kurbelschleife (KL)

Eine Spezifikation zu den Bewegungsbereichen der zentrischen Kurbelschleife ist Punkt 4.1.1.3.1 zu entnehmen.

4.2 Kinematische Analyse

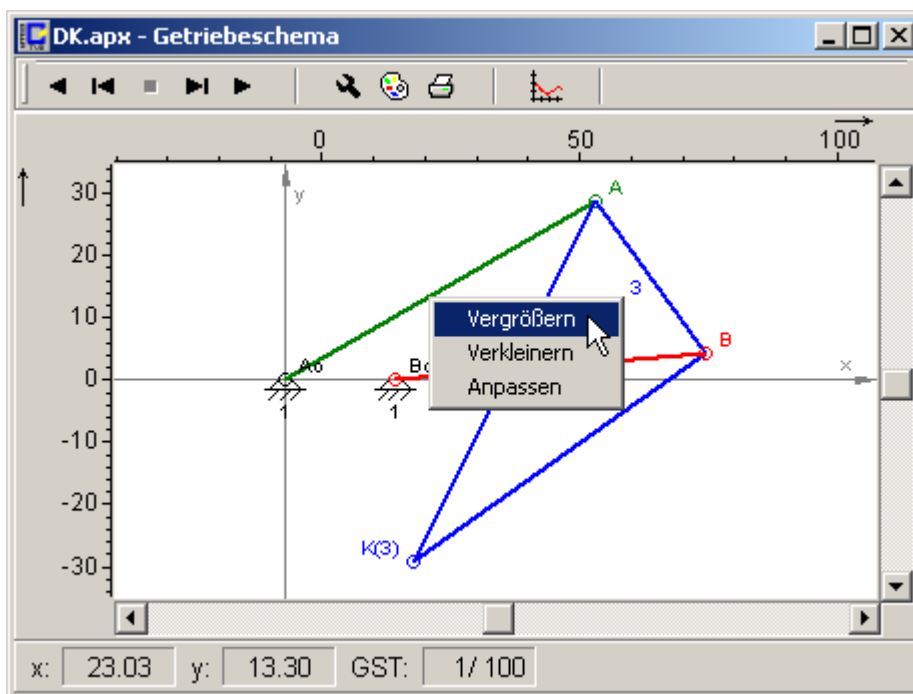
4.2.1 Getriebeschema

Nach Abschluss der Struktur- und Werteeingabe wird das Getriebe auf seine Umlauf-/Bewegungsfähigkeit überprüft. Das Ergebnis ist über einen eingeblendeten Laufbalken ersichtlich. Bei roter Einfärbung ist die Bewegungsfähigkeit gestört. Änderungen bei den Eingaben sind vorzunehmen.

Das entworfene Koppelgetriebe wird in den funktionsfähigen Getriebebestellungen durch Mausklick auf das Symbol **Getriebeschema anzeigen** in der eingegebenen Startposition dargestellt.

Bei vollständiger roter Einfärbung existiert kein Getriebe. Rote Teilbereiche signalisieren keine Umlauffähigkeit (drehender Antrieb) oder eingeschränkte Bewegungsfähigkeit (schiebender Antrieb). Bei grünem Laufbalken besteht keine Beeinträchtigung des Bewegungsablaufes.

4.2.1.1 Zoom



Mit Hilfe der linken Maustaste kann durch Ziehen eines Rahmens um das zu betrachtende Objekt innerhalb der Getriebedarstellung gezoomt werden. Sie können aber auch die rechte Maustaste auf der Darstellungsfläche betätigen, um das Menü für **Vergrößern**, **Verkleinern** oder **Anpassen** aufzurufen.

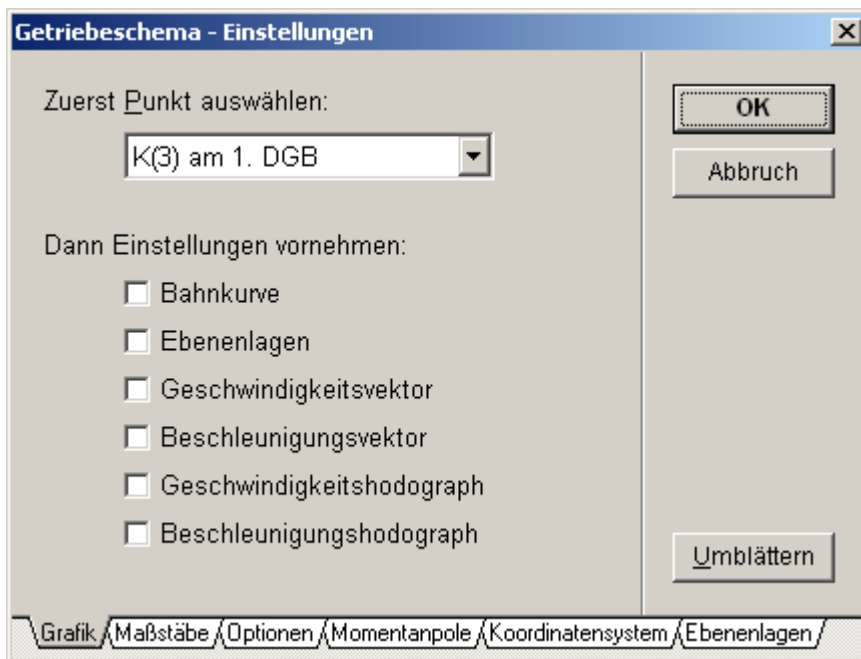
4.2.1.2 Animation

Im Fenster Getriebeschema kann die Animation (Rückwärtslauf des Antriebes, schrittweiser Rückwärtslauf, Stopp, Vorwärtslauf des Antriebes, schrittweiser Vorwärtslauf, Fenster schließen) gesteuert werden.

- ▶ Getriebesimulation
- ▶ Bewegung in Einzelschritten
- Bewegungssimulation anhalten

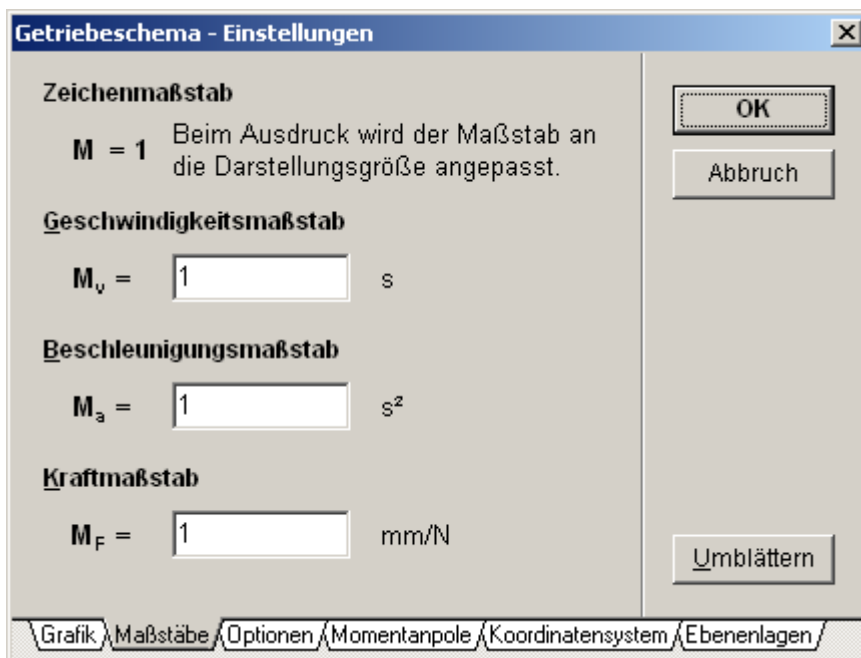
4.2.1.3 Einstellungen

4.2.1.3.1 Grafik



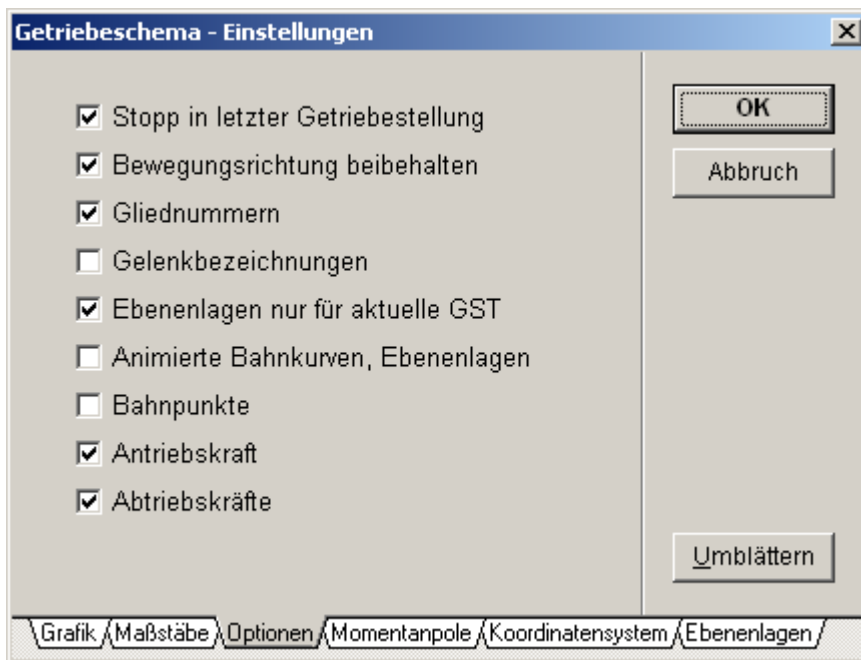
In diesem Menü können Sie zusätzliche Informationen anfordern, z.B. Anzeigen von Bahnkurven, Ebenenlagen, Vektoren von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen.

4.2.1.3.2 Maßstäbe



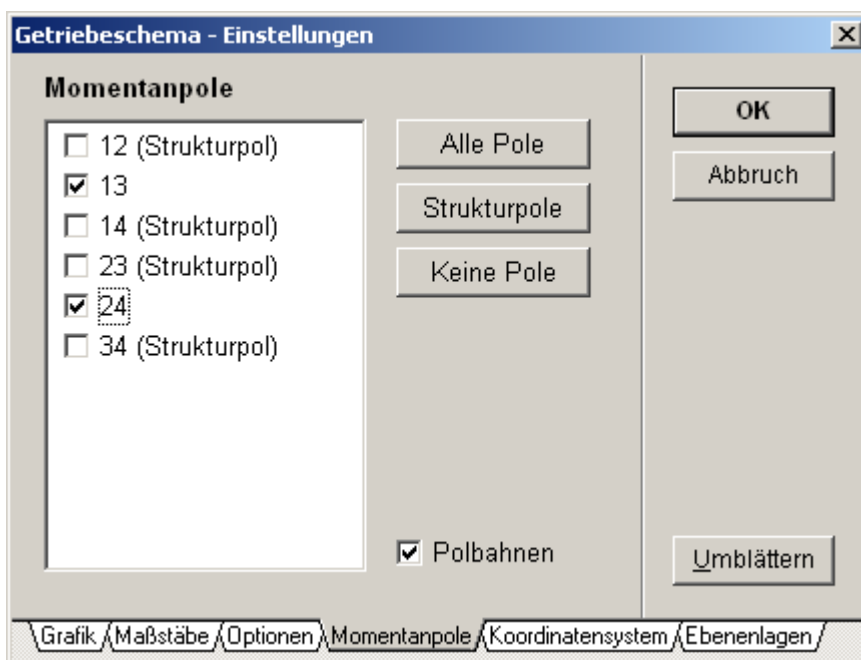
In diesem Menü können Sie die Maßstäbe verändern.

4.2.1.3.3 Optionen



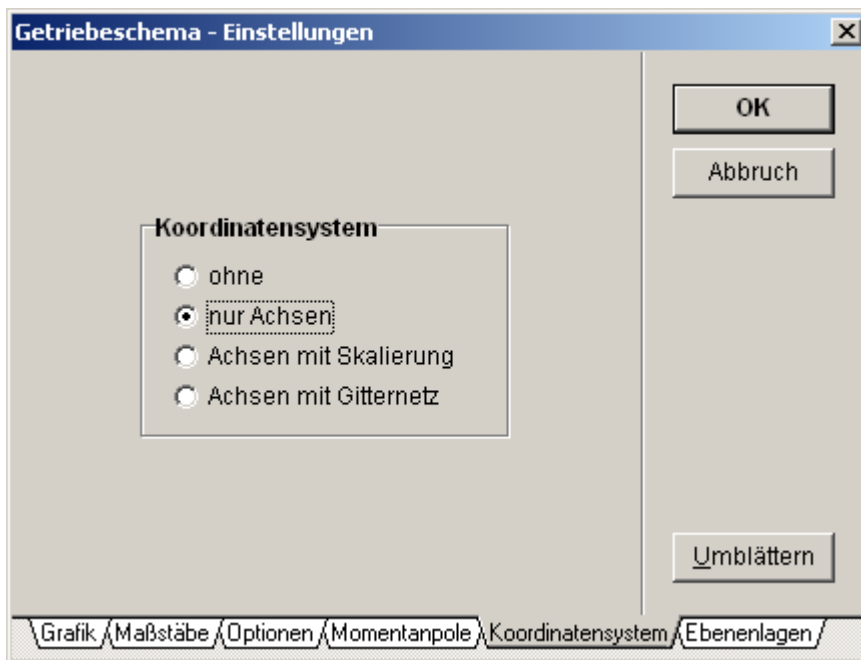
Hier lassen sich weitere Einstellungen vornehmen, die sich z.B. auf die Getriebebewegung, -darstellung und Kinetostatik beziehen.

4.2.1.3.4 Momentanpole



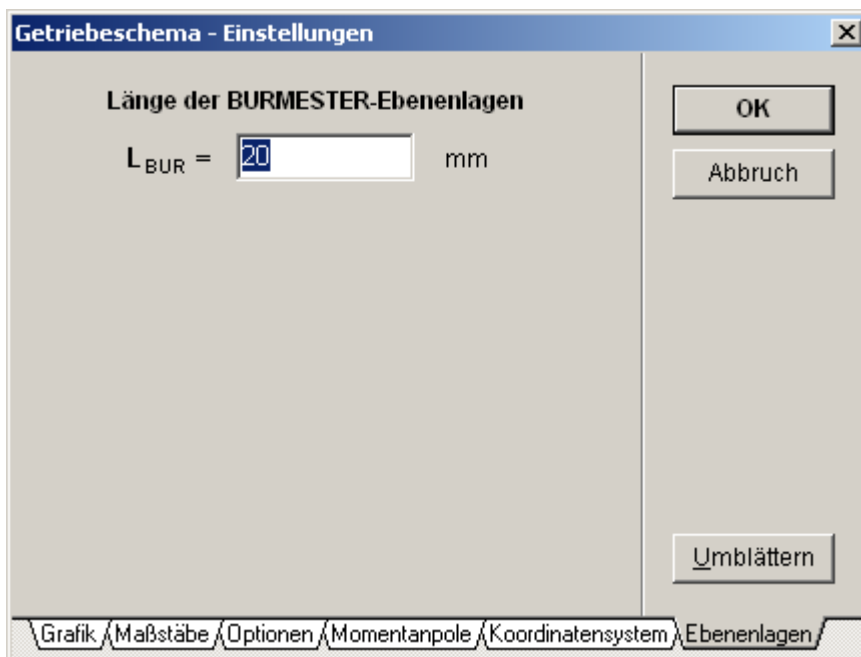
Die Auswahl der anzuzeigenden Momentanpole kann hier vorgenommen werden. Strukturpole sind Momentanpole, die über gelenkige Verbindungen (Dreh-, Schubgelenke) vorgegeben sind.

4.2.1.3.5 Koordinatensystem



Diese Einstellungen bieten Darstellungsoptionen für das 0,x,y-Rastsystem.

4.2.1.3.6 Ebenenlagen



Die Länge der Burmester'schen Ebenenlagen kann in diesem Menü spezifiziert und so der allgemeinen Getriebedarstellung angepasst werden.

4.2.1.4 Farbeinstellungen

Die Getriebeglieder sind im Getriebeschema verschiedenfarbig dargestellt, um dem Benutzer ihr Zusammenspiel zu verdeutlichen.

Über den Button **Farbeinstellung** der Toolleiste kann eine Zuordnung der Farben zu den Getriebegliedern und anderen Elementen (z.B. Bahnkurven, Sollebenenlagen) vorgenommen werden.

4.2.1.5 Druck des Getriebeschemas

Mit Hilfe des letzten Buttons in der Tool-Leiste der Getriebeschema-Ansicht kann gedruckt werden.

4.2.2 Kinetostatik

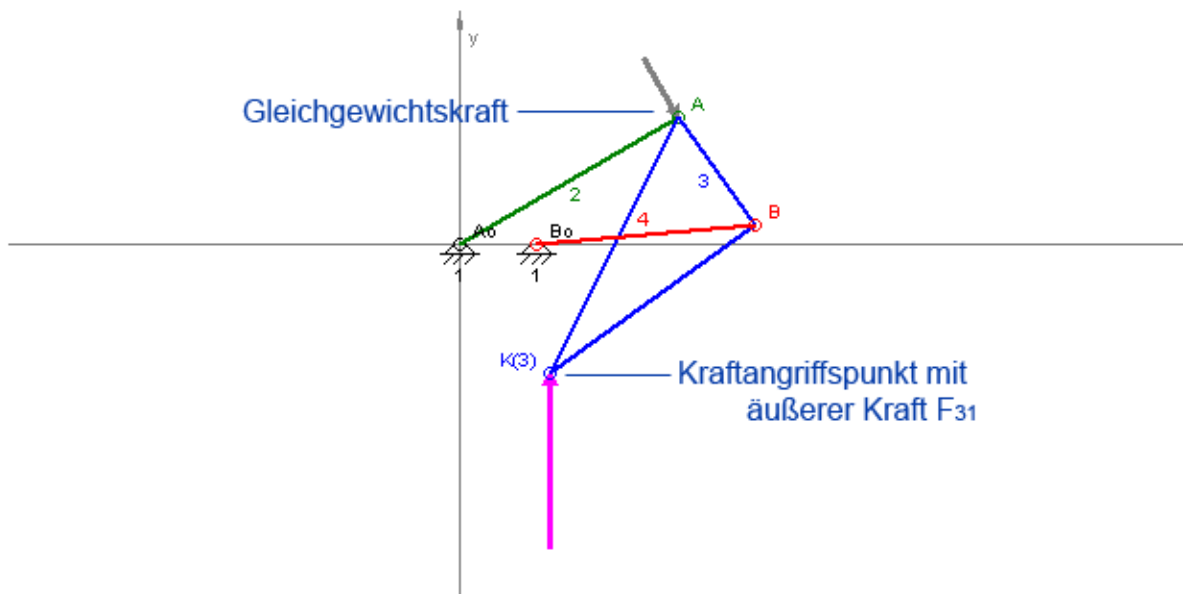
Um die kinetostatische Analyse des Getriebes durchführen zu können, müssen zuerst die äußeren Kräfte definiert werden.

The image shows two overlapping dialog boxes from a software application. The top dialog, titled 'Eingabe - Äußere Kräfte', has a tabbed interface with 'Angriffspunkt' and 'Wertetabelle' tabs. In the 'Angriffspunkt' tab, 'Erster DGB' is checked, and 'K(3)' is selected. The bottom dialog, titled 'Wertetabelle für äußere Kraft', shows 'Dreigelenkbogen: 1' and 'Angriffspunkt: K(3)'. It includes a checkbox for 'Angriffswinkel tangential an Bahnkurve' which is unchecked. Below this is a table with 10 rows. The first row is highlighted, showing 'GST' 1, 'Kraft in N' 30, and 'Winkel in Grad' 270. The remaining rows show 'Kraft in N' 30 and 'Winkel in Grad' 270. To the right of the table are 'OK' and 'Abbruch' buttons. At the bottom right is an 'Eüllen' button with the shortcut '(STRG + F)'.

GST	Kraft in N	Winkel in Grad
1	30	270
2	30	270
3	30	270
4	30	270
5	30	270
6	30	270
7	30	270
8	30	270
9	30	270
10	30	270

Die auf das Getriebe wirkenden äußeren Kräfte (Betrag, Richtung) können unter **Eingabe** mit **Kinetostatik** oder in der Menüleiste über das F, M-Icon eingegeben werden. Der Kraftangriffspunkt ist wertemäßig bereits im Eingabefenster unter Abmessungen für K()-, S()-Punkte festzulegen.

In diesem Menü können die Punkte zur Krafteinleitung ausgewählt werden. Im Punkt K(3) z.B. wirkt $F_{31} = 30 \text{ N}$ unter einem Winkel von 270° . Im vorliegenden Beispiel einer Kurbelschwinge steht auch der Punkt S(4) am Getriebeglied 4 zur Auswahl. Für eine Kraftwirkung tangential an die Bahnkurve ist eine entsprechende Einstellung vorgesehen.



Zur Auswahl des Kraftangriffspunktes stehen die Gelenk-, Koppel- und Schwingenpunkte zur Verfügung. Die Ergebnisse der Analyse in Form von Gleichgewichtskräften am Antrieb können in Tabellen- und Diagrammform abgefragt werden.

4.2.3 Ausgabegrößen

Dieses Kapitel bezieht sich auf die **Ausgabe** der Werte für Antriebsgrößen, Antriebskräfte, Übertragungs- und Führungsgrößen. Unter dem Menüpunkt Ausgabe können oben stehende Größen des Getriebes in Diagramm- oder Tabellenform ausgegeben und gedruckt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, z.B. die Übertragungsgrößen des Abtriebes einzeln oder gemeinsam anzeigen zu lassen und die Darstellungsart über Spline, Polygonzug oder Punktfolge zu verändern.

4.2.3.1 Antriebsgrößen

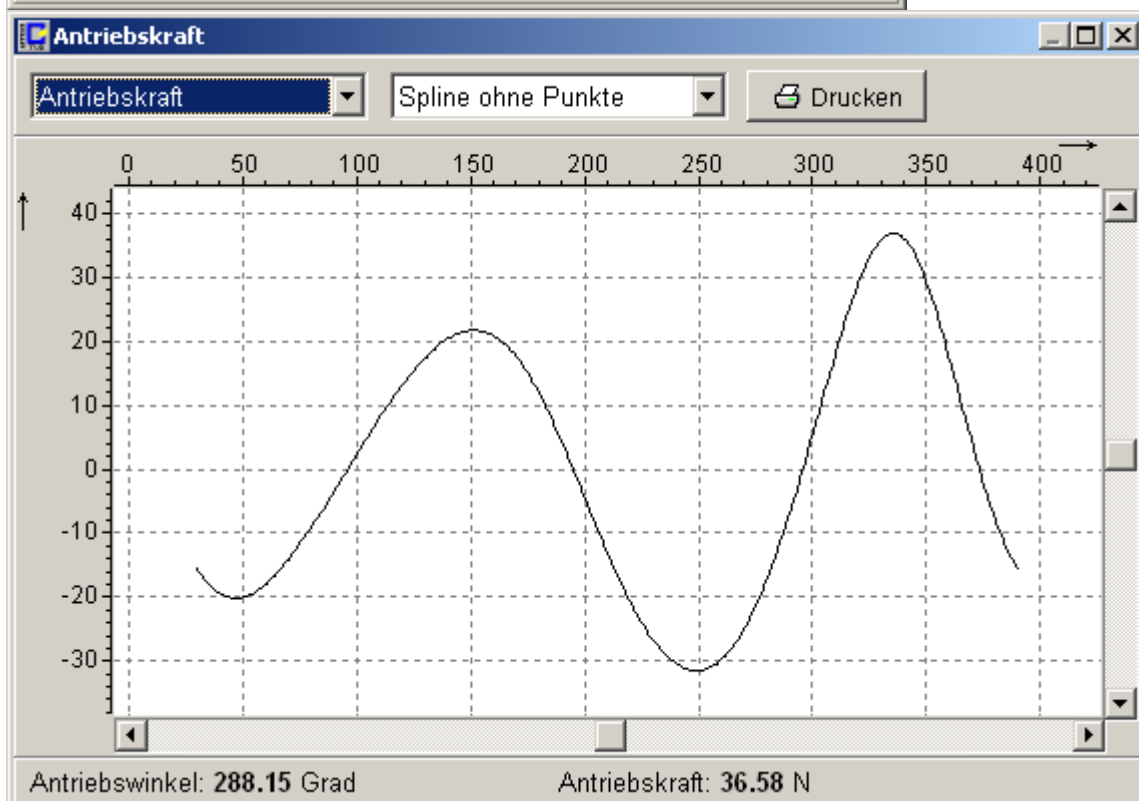
Steuerparameter (erster Antrieb)			
GST	Antriebswinkel Grad	Geschwindigkeit rad/s	Beschleunigung rad/s ²
1	30.0000	1.0000	0.0000
2	35.6250	1.0000	0.0000
3	41.2500	1.0000	0.0000
4	46.8750	1.0000	0.0000
5	52.5000	1.0000	0.0000
6	58.1250	1.0000	0.0000
7	63.7500	1.0000	0.0000
8	69.3750	1.0000	0.0000
9	75.0000	1.0000	0.0000
10	80.6250	1.0000	0.0000

Drucken

4.2.3.2 Antriebskraft

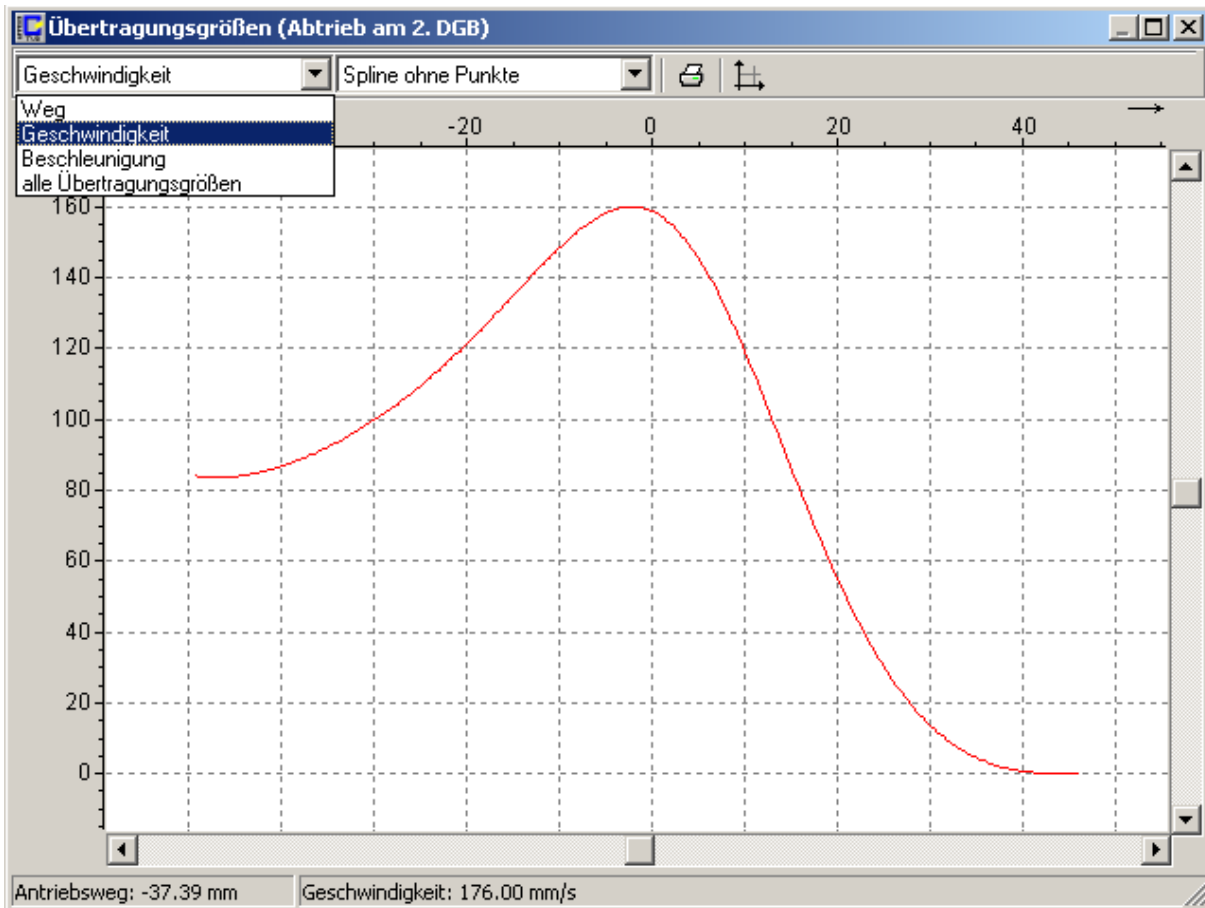
Antriebskraft (erster Antrieb)			
GST	Antriebswinkel Grad	Antriebskraft Newton	Richtung Grad
1	30.0000	-29.0899	120.0000
2	33.6364	-18.1449	123.6364
3	37.2727	-13.8551	127.2727
4	40.9091	-9.5876	130.9091
5	44.5455	-5.4152	134.5455
6	48.1818	-1.3952	138.1818
7	51.8182	2.4285	141.8182
8	55.4545	6.0228	145.4545
9	59.0909	9.3635	149.0909
10	62.7273	12.4334	152.7273

Drucken



Hinweis: Der im Diagramm angegebene Verlauf entspricht nicht den Werten in der Tabelle.

4.2.3.3 Übertragungsgrößen



4.2.3.4 Führungsgrößen

The first screenshot shows the "Führungsgrößen" dialog box. It has two sections. The top section has a "Größe" dropdown menu set to "Koordinaten/ Ebenenlagenwinkel" and a "Punkt" list box containing "Koordinaten/ Ebenenlagenwinkel", "Geschwindigkeit", and "Beschleunigung". The bottom section has "OK" and "Abbruch" buttons. The second screenshot shows the same dialog box, but the "Punkt" dropdown menu is now set to "K(3)".

Koordinaten K(3)				
GST	Antriebswinkel Grad	x-Wert mm	y-Wert mm	beta_K Grad
1	30.0000	20.6178	-29.1711	0.0000
2	33.6364	22.0969	-27.6631	3.3195
3	37.2727	23.2648	-26.0082	6.4461
4	40.9091	24.1199	-24.2517	9.3918
5	44.5455	24.6667	-22.4356	12.1692
6	48.1818	24.9141	-20.5982	14.7908
7	51.8182	24.8751	-18.7740	17.2690
8	55.4545	24.5652	-16.9938	19.6156
9	59.0909	24.0021	-15.2850	21.8422
10	62.7273	23.2050	-13.6714	23.9596

Drucken

Weitere Einstellungen zur Ausgabe von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sind vorgesehen.

Beschleunigungen K(3)				
GST	Antriebswinkel Grad	Beschleunigung mm/s ²	x-Komponente mm/s ²	y-Komponente mm/s ²
1	30.0000	89.4210	-75.2529	48.3023
2	33.6364	85.5455	-77.4146	36.4007
3	37.2727	81.7400	-77.7733	25.1545
4	40.9091	78.0618	-76.6594	14.7306
5	44.5455	74.5566	-74.3739	5.2160
6	48.1818	71.2575	-71.1782	-3.3610
7	51.8182	68.1866	-67.2915	-11.0122
8	55.4545	65.3557	-62.8921	-17.7749
9	59.0909	62.7686	-58.1223	-23.7000
10	62.7273	60.4230	-53.0934	-28.8448

Drucken

4.3 Optimierung

Anforderungen an Übertragungs- oder Führungsaufgaben, die im Rahmen der Optimierungsaufgabe realisiert werden sollen, müssen im Modul APPROX definiert werden. Dazu gehören:

- Synthesaufgabe auswählen
- Forderungskatalog bearbeiten
- Variablenvektor bearbeiten
- Schranken bearbeiten
- Übertragungswinkel eingeben

4.3.1 Synthesaufgabe

Die Eingabe der Synthesaufgabe erfolgt im Modellbaum unter Optimierung mit **Aufgabe erstellen** oder im Menü **Optimierung** mit **Neue Aufgabe**. Im folgenden Dialogfenster kann die Getriebeart als Übertragungs- oder Führungsgetriebe, die für die Lösung angestrebt wird, ausgewählt werden.

Hinweis: Transformieren bewirkt eine Verschiebung der Achse der Antriebsgröße durch das absolute Minimum der Übertragungsfunktion 0. Ordnung und erfordert die Auswahl: Winkel-/ Wegverlauf transformiert.

Synthesaufgabe auswählen für ...

Klasse

☒ Übertragungsgetriebe

☐ Führungsgetriebe

Übertragungsaufgabe

Die Vorgabe der Sollwerte ist für folgende Übertragungsgrößen möglich:

Winkel/ Weg

Geschwindigkeit/ Winkelgeschwindigkeit

Beschleunigung/ Winkelbeschleunigung

☐ Winkel-/ Wegverlauf transformiert

☒ Winkel-/ Wegverlauf nicht transformiert

OK

Abbruch

4.3.2 Forderungskatalog

Im Forderungskatalog sind die Vorgabewerte für Abtriebswinkel oder Abtriebswege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für jede Getriebebestellung als Sollwerte einzutragen. Im vorliegenden Fall handelt es sich um den Entwurf eines Getriebes für eine untere Umkehrlage (UL) in GST = 2, obere UL in GST = 7 und maximale Geschwindigkeit in GST = 4.

Forderungskatalog bearbeiten

GST	Antr.-Winkel	Winkel/Weg	W0	Geschw.	W1	Beschl.	W2
1	150	0	0	0	0	0	0
2	190	0	1	0	5	0	0
3	230	0	0	0	0	0	0
4	270	0	0	1.2	5	0	25
5	310	0	0	0	0	0	0
6	350	0	0	0	0	0	0
7	390	40	1	0	5	0	0
8	430	0	0	0	0	0	0
9	470	0	0	0	0	0	0
10	510	0	0	0	0	0	0

OK

Abbruch

Hinweis: Auch hier können zur Erleichterung der Eingabe die unter Punkt 5 angegebenen Kombinationen STRG+L und STRG+F genutzt werden.

Die Faktoren W_0 , W_1 und W_2 ermöglichen eine Wichtung der Abweichungen (Fehler) zwischen Ist- und Sollwerten in den verschiedenen Getriebebestellungen. Um eine möglichst gleichwertige Berücksichtigung der zu realisierenden Größen durch die Optimierungsstrategien hinsichtlich der Zielfunktion zu erreichen, gelten folgende Empfehlungen (Standardwerte):

- $W_0 = 1 \dots 2$
- $W_1 = 5 \dots 15$
- $W_2 = 25 \dots 50$

Die Vorzugseinstellung ist der jeweils hervorgehobene Wert.

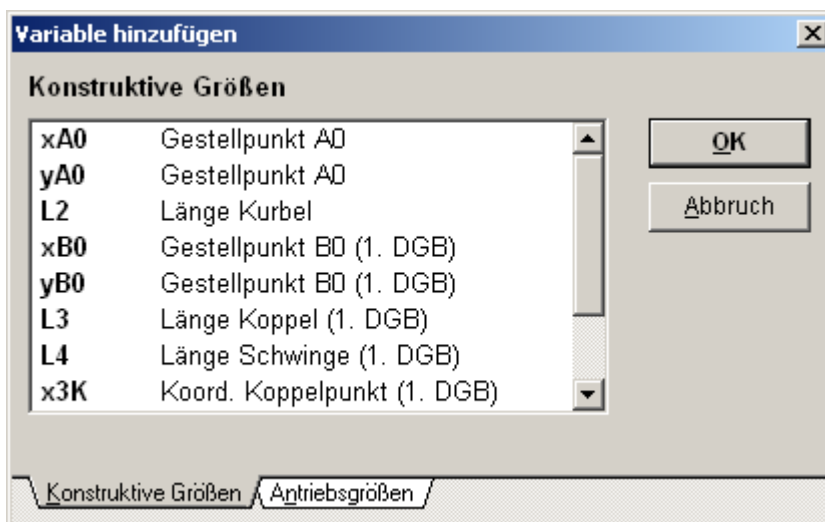
4.3.3 Variablenvektor

Über das Fenster **Variablenvektor bearbeiten** sind die konstruktiven Größen und Antriebsgrößen auszuwählen, die den Komponenten des Variablenvektors zugeordnet werden sollen. Insgesamt stehen 250 Komponenten zu Verfügung. Unbedingt zu beachten ist, dass Größen, die auf Übertragungsfunktionen und Führungsbahnen keinen Einfluss haben, bei dieser Auswahl nicht berücksichtigt werden sollten. Dazu gehören z.B. die Größen x_{4S} und y_{4S} bei einer Kurbelschwinge mit über $K(3)$ gesteuerten Ebenenlagen.



Abmessungen und Antriebsgrößen können hier als Komponenten des Variablenvektors ausgewählt werden.

4.3.3.1 Konstruktive Größen



Konstruktive Größen des Getriebes können hier als Variablen ausgewählt werden.

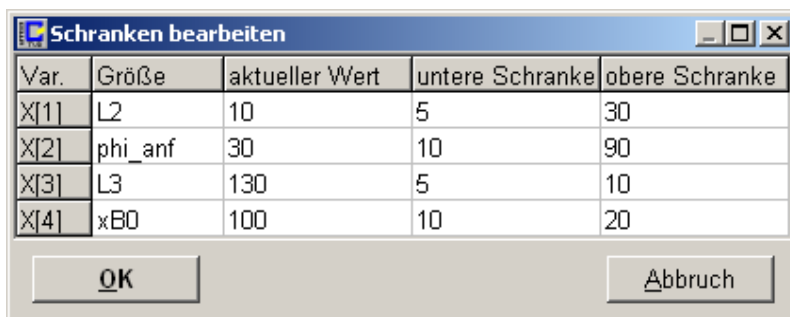
4.3.3.2 Antriebsgrößen



Antriebsgrößen des Getriebes (Antriebswinkel, Antriebswege) können hier als Variablen ausgewählt werden.

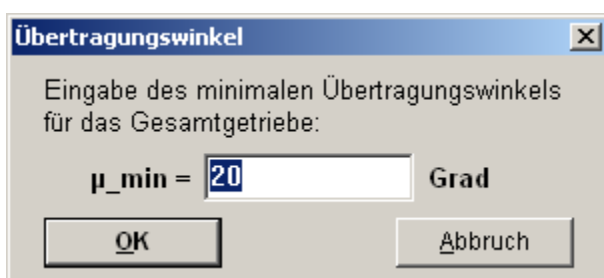
Bei der Auswahl von phi_anf erfolgt eine Variation der Werte im Rahmen des Iterationsprozesses zwischen der unteren und oberen Schranke dieser Größe. Wird z.B. phi[3] als Variable ausgewählt, erfolgt die Veränderung der Werte im zugeordneten Schrankenbereich dieser Größe. Wird in der Antriebssteuerung ein Block z.B. von phi[2] bis phi[6] für den Iterationsprozess vereinbart (erster Block über Ziffer 1), erfolgt die Verschiebung des Blockbeginns innerhalb der Schranken von phi[2] (Einstellung unter Punkt 4.1.2.2).

4.3.4 Schranken



In diesem Eingabefeld werden die unteren/ oberen Schranken für die achsenparallelen Nebenbedingungen festgelegt. Der aktuelle Wert kann nur über **Eingabe** mit **Abmessungen** verändert werden.

4.3.5 Übertragungswinkel



Hier können Sie den minimalen Übertragungswinkel des Gesamtgetriebes als Sollwert vorgeben.

Für die Bewegungs- und Kraftübertragung ist es zweckmäßig, den Übertragungswinkel $\mu_{\min}$ für so genannte Langsamläufer mit ungefähr 20° , für Schnellläufer ab 40° festzulegen.

4.4 Formulierung der Optimierungsaufgabe

Für die Lösung angenäherter Synthesaufgaben der Getriebetechnik hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die erforderliche Zielfunktion $F(X)$ über Approximationskriterien nach Gauß oder Tschebyschev aus zugeordneten Werten der Istfunktionen (Übertragungsfunktionen, Führungsbahnen, Ebenenlagen) des Getriebes und den vorgegebenen Sollwerten zu bilden.

Ausgangspunkt ist die Bildung einer Fehlerfunktion $f(X)$, die aufgabengebunden und rechnerintern bereitgestellt wird. Des Weiteren steht eine Straffunktion $S(X)$ zur Verfügung, die für die Transformation unzulässiger Komponentenwerte des Variablenvektors in das Gebiet mögliche Lösungen (Suchgebiet) zuständig ist.

$$F(X) = f(X) + S(X)$$

Zum System der Restriktionen gehören die achsenparallelen Nebenbedingungen (Schranken) und der minimale Übertragungswinkel des Gesamtgetriebes als nichtlineare Nebenbedingung.

4.4.1 Fehlerfunktion aus Übertragungsfunktionen

Approximationskriterium nach Gauß:

$$f_G(X) = \sum_{j=1}^m \left(W_{0j} (q_j - q_j^*)^2 + W_{1j} (\dot{q}_j - \dot{q}_j^*)^2 + W_{2j} (\ddot{q}_j - \ddot{q}_j^*)^2 \right)$$

Approximationskriterium nach Tschebyschev:

$$f_T(X) = \max_{j=1}^m \left(W_{0j} |q_j - q_j^*| + W_{1j} |\dot{q}_j - \dot{q}_j^*| + W_{2j} |\ddot{q}_j - \ddot{q}_j^*| \right)$$

4.4.2 Fehlerfunktion aus Führungsbahnen und Ebenenlagen

Approximationskriterium nach Gauß:

$$f_G(X) = \sum_{j=1}^m \left(W_{xj} (x_j - x_j^*)^2 + W_{yj} (y_j - y_j^*)^2 + W_{\beta j} (\beta_j - \beta_j^*)^2 \right)$$

Approximationskriterium nach Tschebyschev:

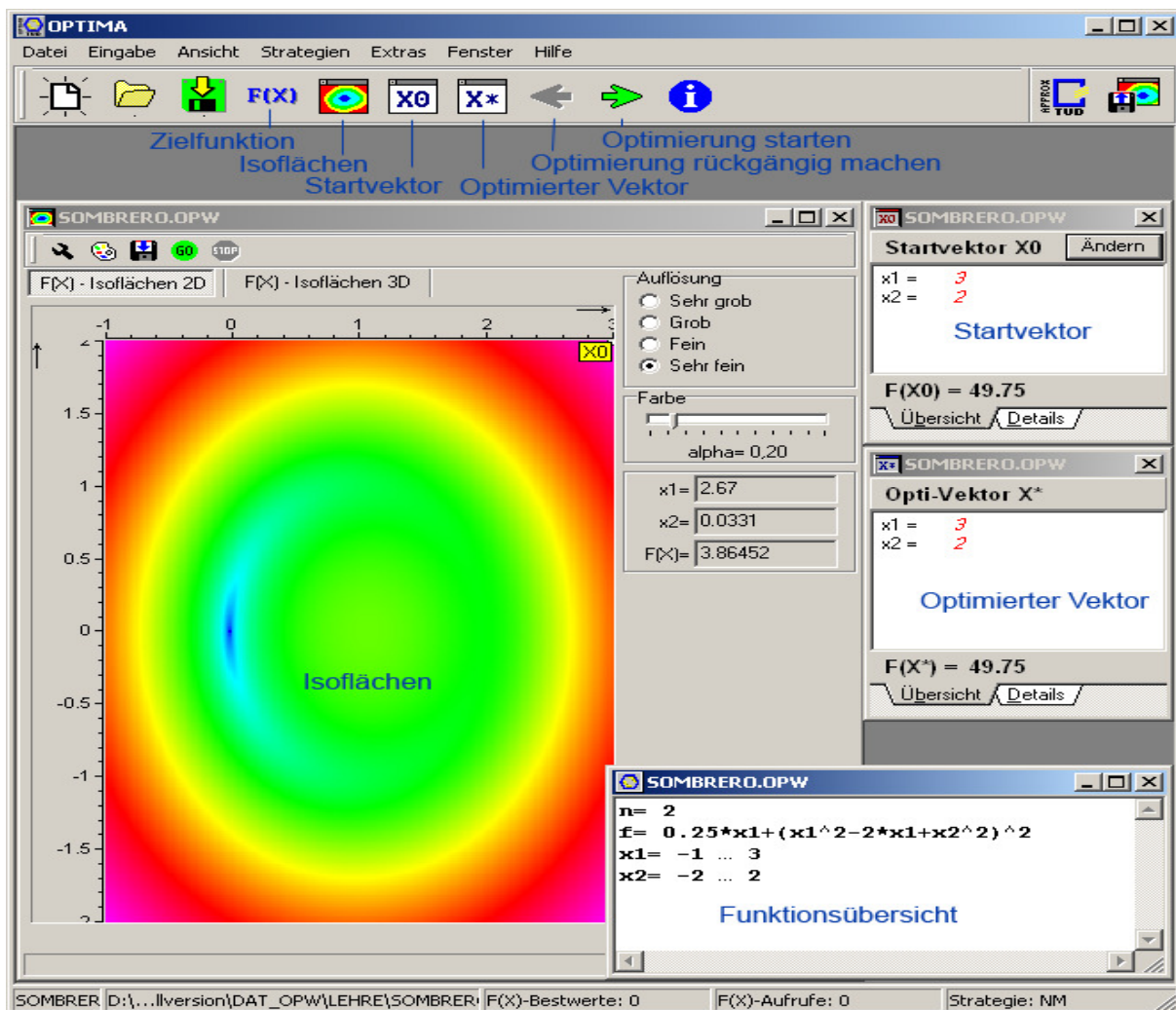
$$f_T(X) = \max_{j=1}^m \left(W_{xj} |x_j - x_j^*| + W_{yj} |y_j - y_j^*| + W_{\beta j} |\beta_j - \beta_j^*| \right)$$

4.4.3 Zielfunktion

Die für den Optimierungsprozess erforderliche Zielfunktion $F(X)$ wird aus einer aufgabengebundenen Fehlerfunktion $f(X)$ und einer Straffunktion $S(X)$ gebildet. Letztere wirkt, wenn Komponenten des Variablenvektors X unzulässig sind.

5 OPTIMA

Die eigentliche Optimierung beginnt, indem man die Schnittstelle zum Modul OPTIMA aufruft. Das geschieht entweder mit dem Button OPTIMA aufrufen über F7 oder Optimierung, Optimierungsmodul starten. Die Daten werden automatisch übergeben.



5.1 Formulieren der Optimierungsaufgabe

Optimierungsaufgaben stehen im Allgemeinen als Minimierungs-, Maximierungs- und Polyoptimierungsaufgaben zur Verfügung. Für die Lösung angenäherter Synthesaufgaben der Getriebetechnik kommen ausnahmslos Minimierungsaufgaben in Form der Standardaufgabe der Optimierung vor. Diese Aufgabe kann in mathematischer Formulierung wie folgt angegeben werden:

$$\begin{array}{c} F(X) := \text{Minimum!} \\ \text{mit} \\ X \in A := (X \in R^n) : g_j(X) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m \end{array}$$

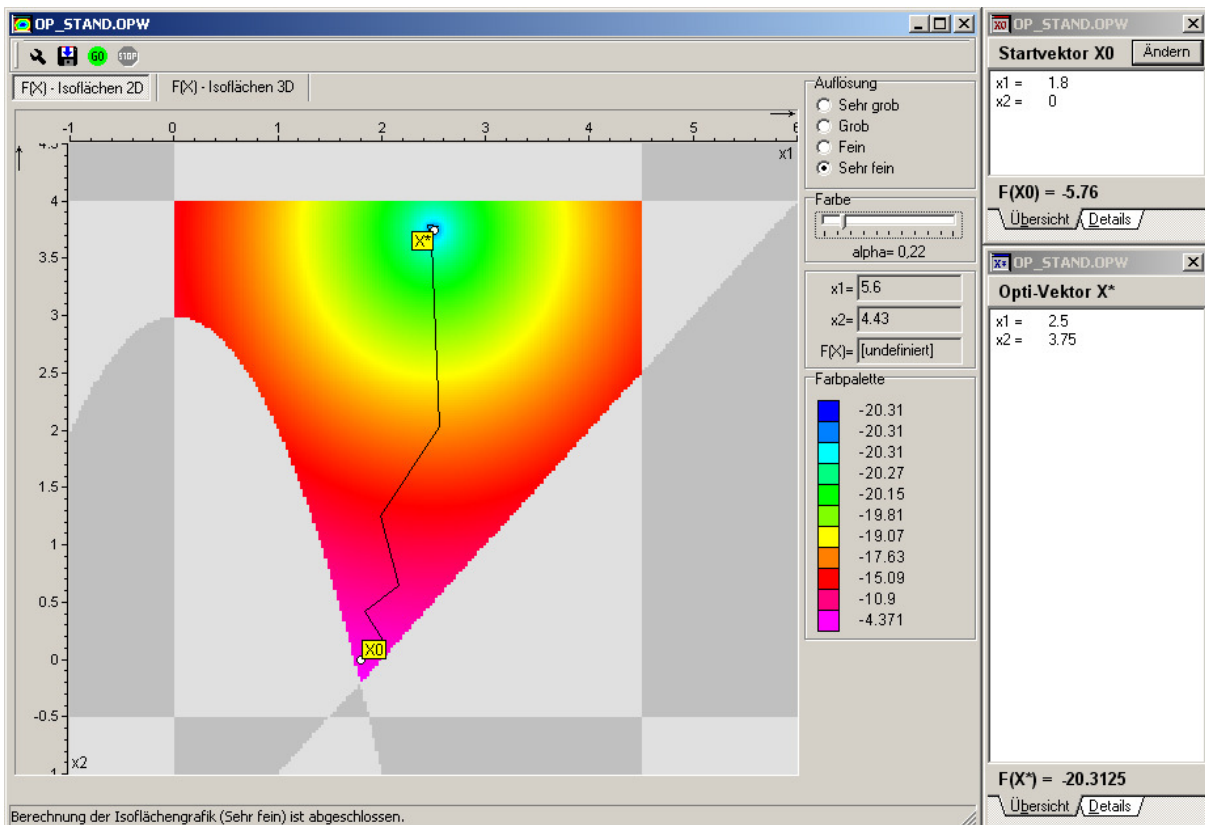
X	Variablenvektor
A	Suchgebiet
n	Anzahl der Variablen
m	Anzahl der Nebenbedingungen
R^n	n-dimensionaler Zahlenraum
$g_j(X)$	Restriktionsfunktionen in Gleichheits- und Ungleichheitsform

Im allgemeinen Fall der mathematischen Optimierung liegen mitunter umfangreiche Algorithmensysteme für Ziel- und Restriktionsfunktionen vor. Einzugeben sind dabei die Zielfunktion $F(X)$, auch über Hilfsfunktionen $h(X)$ möglich, obere und untere Schranken der Variablenwerte sowie Restriktionsfunktionen in Gleichheits- und Ungleichheitsform.

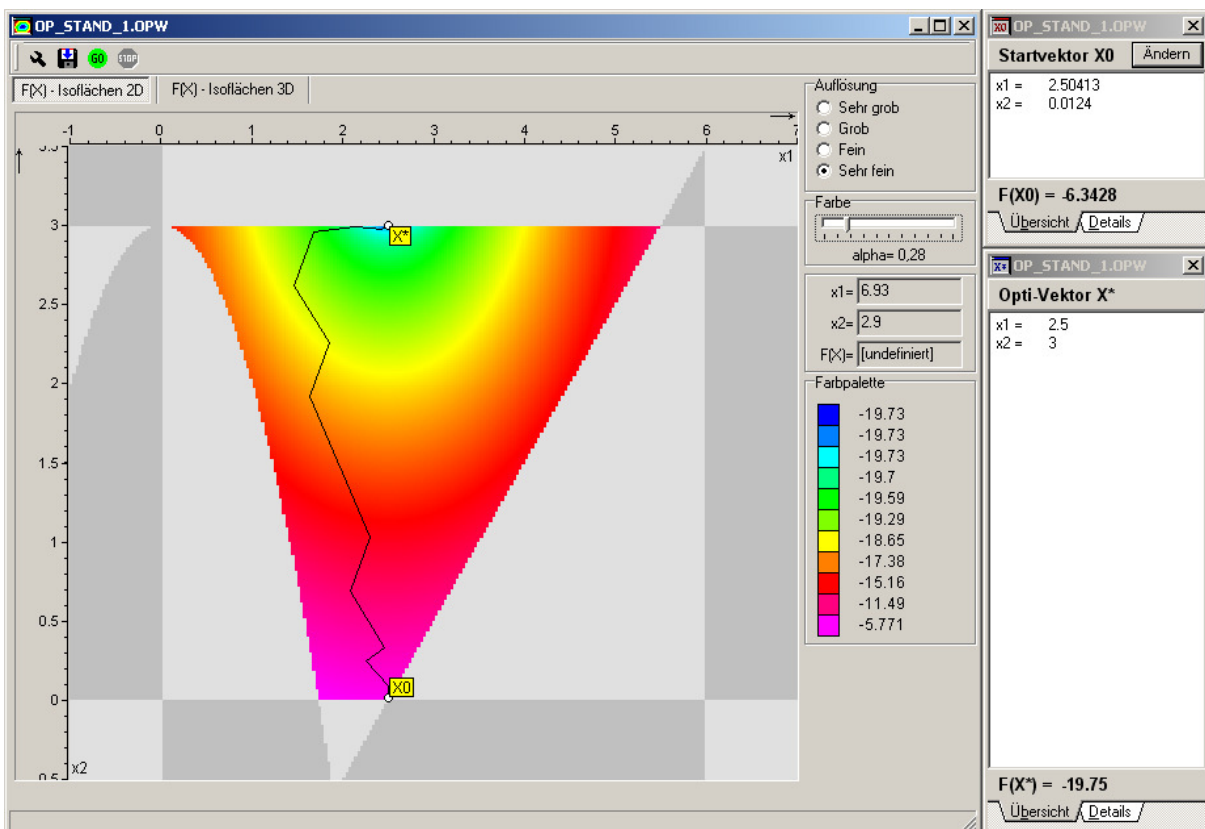
Die Bearbeitung von Maximierungsaufgaben jeglicher Art ist ebenso möglich wie die Lösung einfacher Polyoptimierungsaufgaben.

5.1.1 Grafische Interpretation der Standardaufgabe

$F(X)$ -Darstellung mit Minimum in der Mitte des Suchgebietes (verschwindende Tangenten)



$F(X)$ -Darstellung mit Minimum auf dem Rand des Suchgebietes (aktive Nebenbedingung)



5.1.2 Eingabe über Funktionsgleichungen

Die Bearbeitung erfolgt unter **Neue Optimierungsaufgabe** mit der Eingabe der Dimension des Optimierungsproblems. Danach sind die Algorithmen für Zielfunktion $F(X)$, Schranken und Restriktionsfunktionen in die entsprechenden Befehlszeilen einzutragen.

5.1.2.1 Zielfunktion

Eingabe Zielfunktion F(X)

Zielfunktion $f(X, h_1(X) \dots h_{10}(X), g_1(X) \dots g_{20}(X))$

$0.25 \cdot x_1 + (x_1^2 - 2 \cdot x_1 + x_2^2)^2$

Hilfsfunktionen $h_i(X); i=1 \dots 10$

	Funktionsgleichung
h1=	0
h2=	0
h3=	0
h4=	0

OK, Abbruch, Löschen, <<, >>

Zielfunktion / Schranken / Restriktionen / Beispiele

Bei einem umfangreichen Formelapparat für die Zielfunktion ist es zweckmäßig, die Hilfsfunktionen mit einzubeziehen.

5.1.2.2 Schranken

Eingabe Zielfunktion F(X)

Schranken (achsenparallele Restriktionen)

	untere Schranke	obere Schranke
x1	-1	3
x2	-2	2

☐ Darstellungsbereiche anpassen

OK, Abbruch, Löschen, <<, >>

Zielfunktion / Schranken / Restriktionen / Beispiele

Unter Schranken können die Begrenzungen des Variationsbereiches für die jeweiligen Variablen eingegeben werden. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine 2-dimensionale Optimierungsaufgabe. Bei Änderung der Schranken ist auf die Anpassung des Darstellungsbereiches zu achten.

5.1.2.3 Restriktionen

	Funktionsgleichung
g1=	cos(x1*sin(x2))
g2=	0
g3=	0
g4=	0

Unter Restriktionen können Algorithmen in der Form $g_j(X) \leq 0$ eingeben werden. Die Einbeziehung von Hilfsfunktionen kann dabei sinnvoll sein. Liegen Restriktionen als $g_j(X) > 0$ vor, sind die entsprechenden Algorithmen mit -1 zu multiplizieren.

5.1.2.4 Erweiterungsmöglichkeiten

Das Modul OPTIMA gestattet in einfacher Weise die Darstellung beliebiger Funktionen, Extremwert- und Nullstellenermittlungen sowie die Lösung von Gleichungssystemen.

5.1.2.4.1 Funktionsanalyse

Sie können beliebige Funktion darstellen, ihre Extremwerte und Nullstellen berechnen, aber auch Sonderaufgaben lösen. Zu ihnen gehören z.B. die Ermittlung der Durchstoßpunkte einer durch zwei Ebenen gebildeten Schnittgeraden durch eine Kugel (Technische Darstellungslehre) oder die Darstellung der Biegelinie eines einseitig eingespannten Balkens, belastet durch eine Kraft am Balkenende.

5.1.2.4.1.1 Funktionsdarstellung für Polynom 3. Grades

$$P(x_1) = x_1^3 - 3x_1^2 - x_1 + 3 = 0 \text{ mit } x_2 = P(x_1)$$

$$\text{abs}(x_1^3 - 3x_1^2 - x_1 + 3 - x_2) = 0$$

Betrag der Funktion in Befehlszeile für Zielfunktion F(X), Minimierung!

$$\text{Schranken: } -3,0 \leq x_1 \leq 4,0$$

$$-3,3 \leq x_2 \leq 3,3 \quad \text{Darstellungsbereich für } x_2$$

5.1.2.4.1.2 Extremwertermittlung für Polynom 3. Grades

$$P(x_1) = x_1^3 - 3x_1^2 - x_1 + 3 = 0 \quad \text{mit } x_2 = P(x_1)$$

$$x_1^3 - 3x_1^2 - x_1 + 3 - x_2 = 0$$

Funktion in Befehlszeile für F(X), Minimierung/ Maximierung!

$$\text{Schranken: } -2,0 \leq x_1 \leq 4,0$$

$$-0,001 \leq x_2 \leq 0,001 \quad \text{Darstellungsbereich für } x_2 \approx 0$$

Restriktionen: $x_2 - 0,00001 \leq 0$

$$-x_2 - 0,00001 \leq 0$$

5.1.2.4.1.3 Nullstellenbestimmung

$$x_1^6 - 4x_1^5 + 5x_1^4 - 13x_1^2 + 25x_1 - 14 - x_2 = 0$$

Betrag der Funktion in Befehlszeile für Zielfunktion F(X), Minimierung!

$$\text{abs}(x_1^6 - 4x_1^5 + 5x_1^4 - 13x_1^2 + 25x_1 - 14 - x_2) = 0$$

Schranken: $-1,0 \leq x_1 \leq 3,0$

$$-0,001 \leq x_2 \leq 0,001 \quad \text{Darstellungsbereich für } x_2 \approx 0$$

Restriktionen: $x_2 - 0,00001 \leq 0$

$$-x_2 - 0,00001 \leq 0$$

5.1.2.4.2 Lösung von Gleichungssystemen

Der strukturelle Aufbau der Systeme ist durch nichtlineare und/ oder lineare Gleichungen charakterisiert.

$$x_1 x_2 - x_3^3 + x_3 - 1 = 0 \quad \text{Hilfsfunktion } h_1$$

$$x_1^2 x_2 + x_2 x_3 - 5 = 0 \quad \text{Hilfsfunktion } h_2$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 0 \quad \text{Hilfsfunktion } h_3$$

Zielfunktionsbildung F(X) über

$$\text{abs}(h_1) + \text{abs}(h_2) + \text{abs}(h_3) = 0$$

oder über die Quadrate von h.

Beträge von h_1 bis h_3 in Befehlszeile für Zielfunktion F(X), Minimierung!

Schranken: $-2,5 \leq x_1 \leq 1,5$

$$2,0 \leq x_2 \leq 5,0$$

$$-2,5 \leq x_3 \leq -2,0$$

Eingabe Zielfunktion F(X)

Zielfunktion $f(X, h_1(X) \dots h_3(X), g_1(X) \dots g_4(X))$

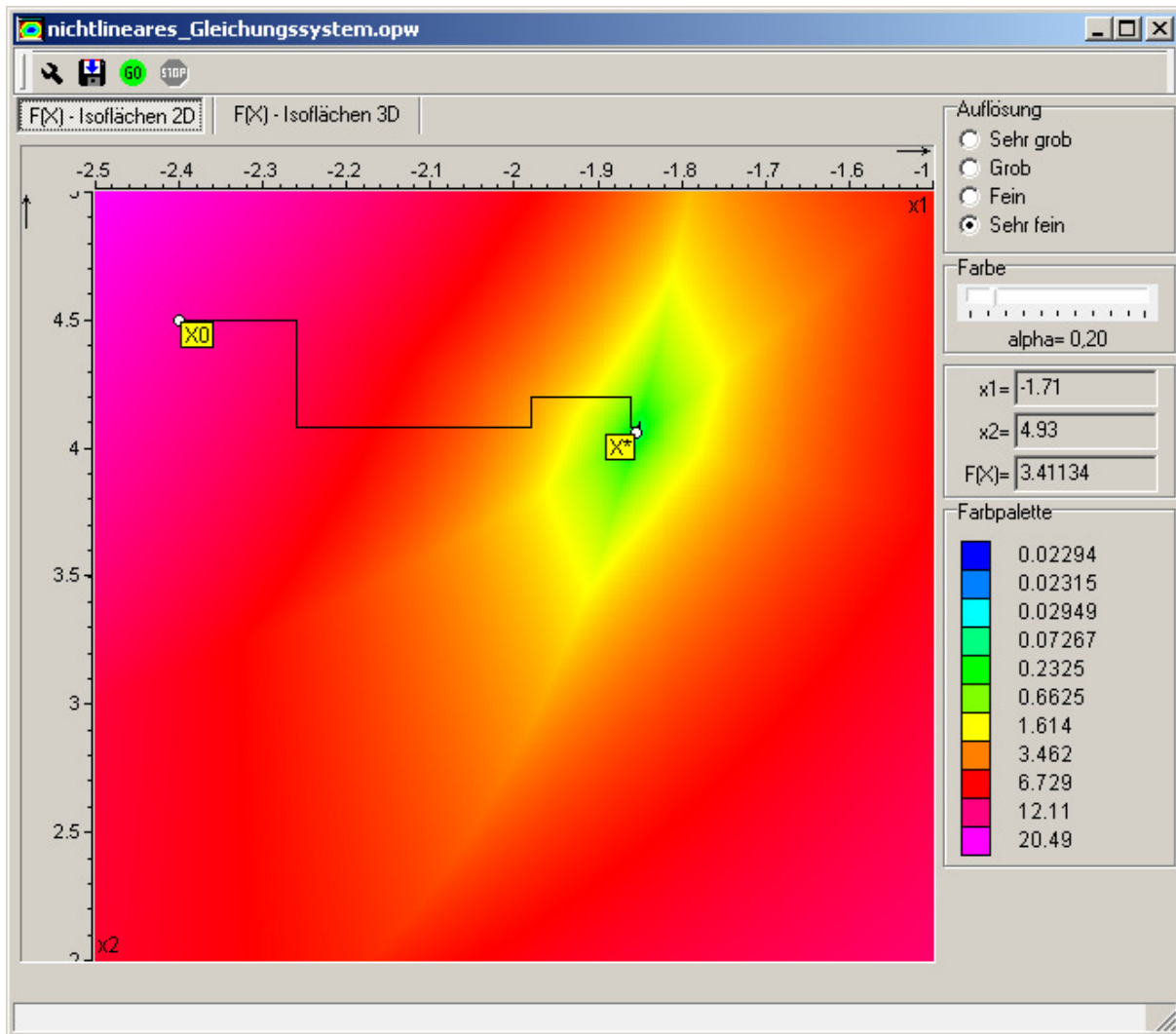
abs(h1)+abs(h2)+abs(h3)

Hilfsfunktionen $h_i(X); i=1 \dots 3$

	Funktionsgleichung
h1=	$x_1 x_2 - x_3^3 + x_3 - 1$
h2=	$x_1^2 x_2 + x_2 x_3 - 5$
h3=	$x_1 + x_2 + x_3$

Buttons: OK, Abbruch, Löschen, <<, >>

Navigation: Zielfunktion / Schranken / Restriktionen / Beispiele



Ergebnisse für $F(X^*) \approx 0$:

$$x_1^* = -1,85402$$

$$x_2^* = 4,05985$$

$$x_3^* = -2.20583$$

5.1.3 Sonderfälle der Optimierung

In den nachfolgenden Abschnitten werden einfache Beispiele zur so genannten Freien Optimierung und zur Polyoptimierung betrachtet.

5.1.3.1 Freie Optimierung

Minimierungsaufgabe
(Standardaufgabe)

$$F(X) = x_1^2 + x_2^2 := \text{Min} !$$

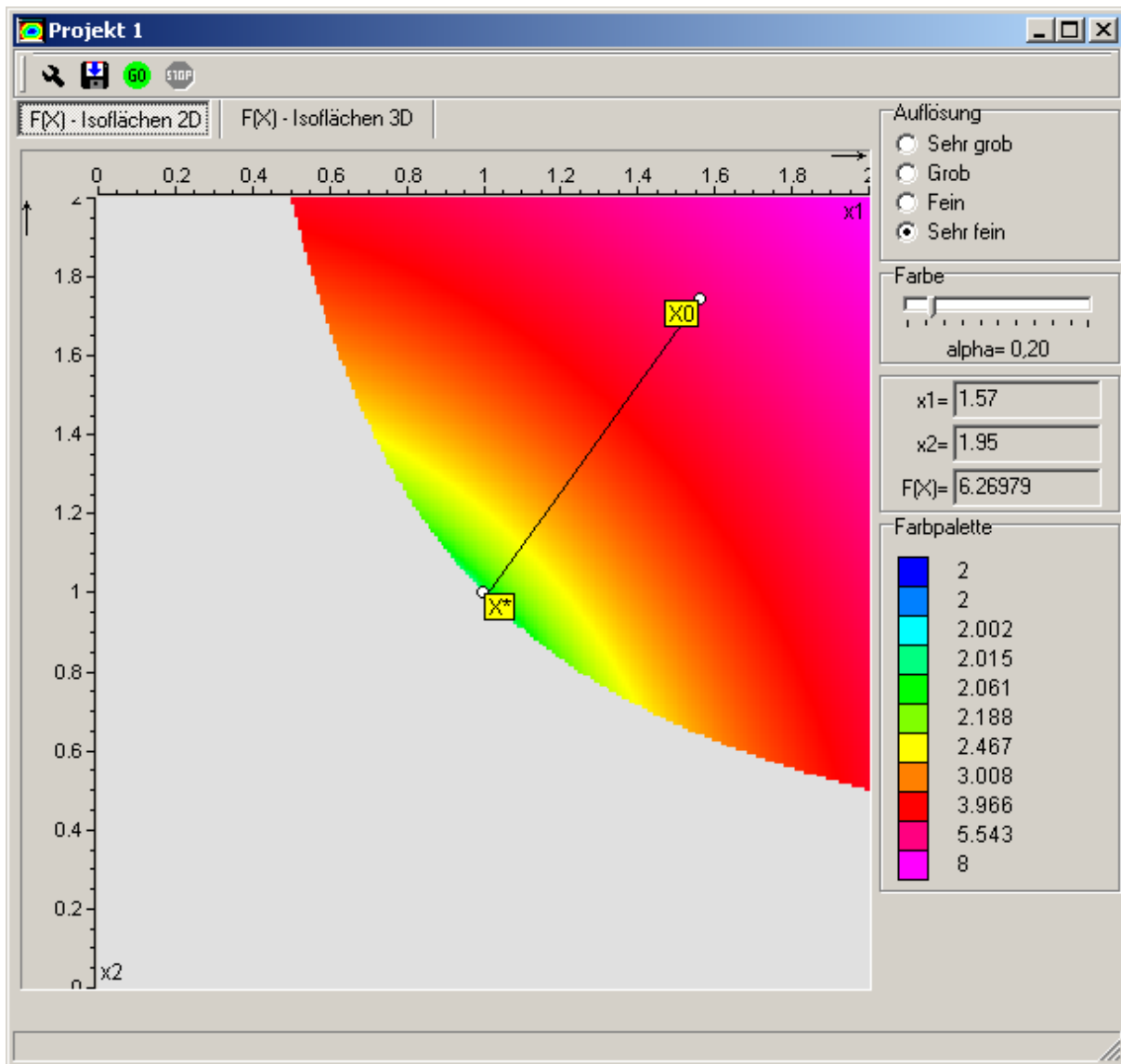
$$g(X) = -(x_1 x_2 - 1) \leq 0$$

Freie Optimierungsaufgabe (Ansatz mit
Straffunktion)

$$F(X) = x_1^2 + x_2^2 + r(x_1 + x_2 - 1)^2 := \text{Min} !$$

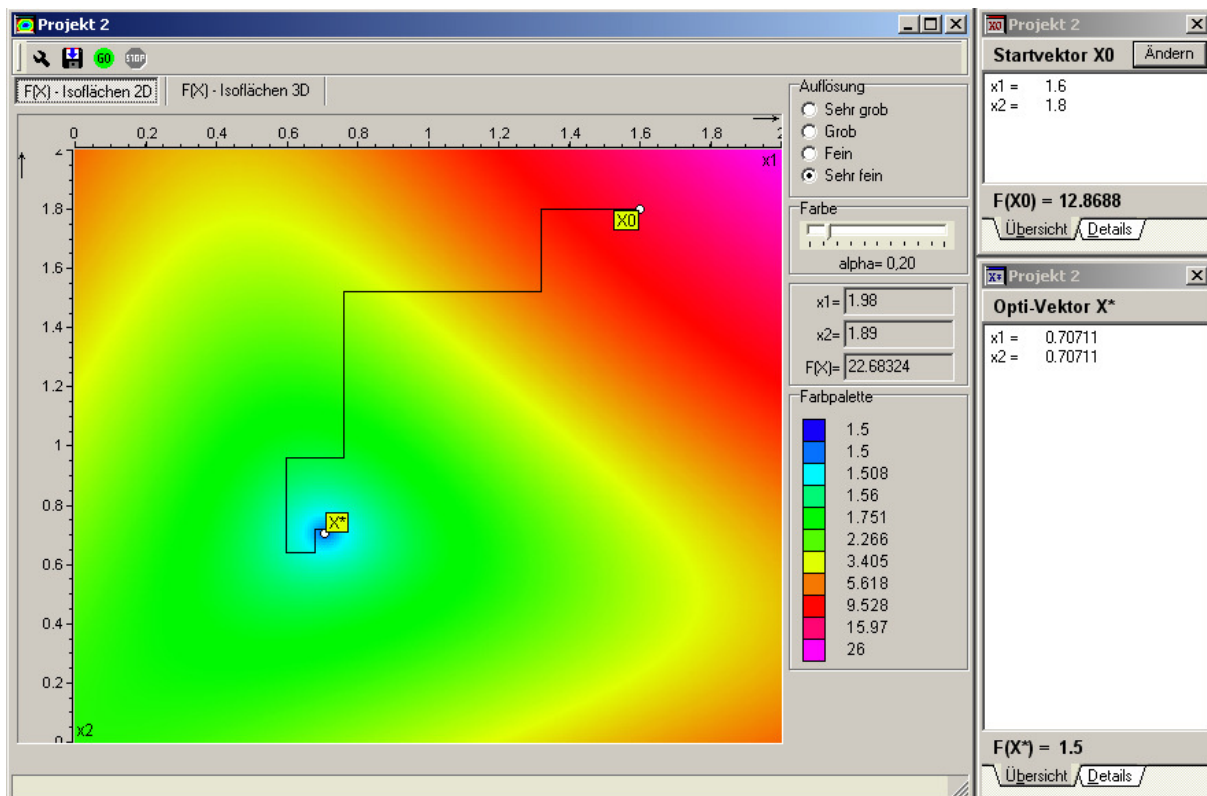
$$r = 1; 10; 100; 1000; \dots$$

Die Isoflächendarstellung für die Lösung als Standardaufgabe zeigt den durch die nichtlineare Nebenbedingung $g(X) \leq 0$ eingeschränkten Bereich zulässiger Lösungen und den Iterationsverlauf vom Startpunkt X_0 zum Optimalpunkt X^* mit minimalen Funktionswert für $F(X^*)$ am Rande des Suchgebietes.



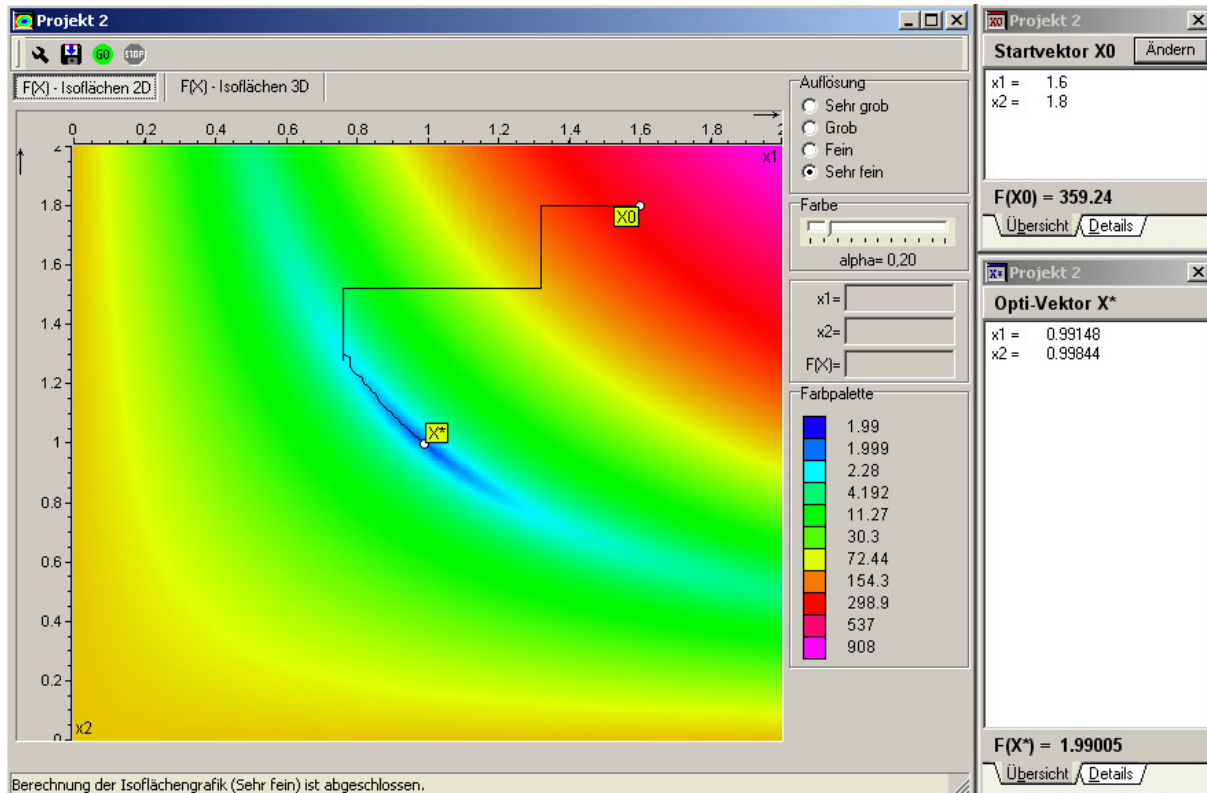
Als Ergebnis wurde $F(X^*) = 2$ mit $x_1^* = x_2^* = 1$ erreicht.

Bei der freien Optimierung werden die Restriktionsfunktionen im Allgemeinen über das Quadrat und den Multiplikator r in die Zielfunktion $F(X)$ eingebunden. Für gegen ∞ laufende r -Werte werden schrittweise solange Teilprobleme als Minimierungsaufgaben gelöst, bis Veränderungen der Zielfunktions- und Variablenwerte vorgegebene Abbruchschranken unterschreiten. Die Lösung der Teilprobleme mit $r = 2, 100, \dots, 1000000$ nähert sich so schrittweise der Lösung der Standardaufgabe der Optimierung.



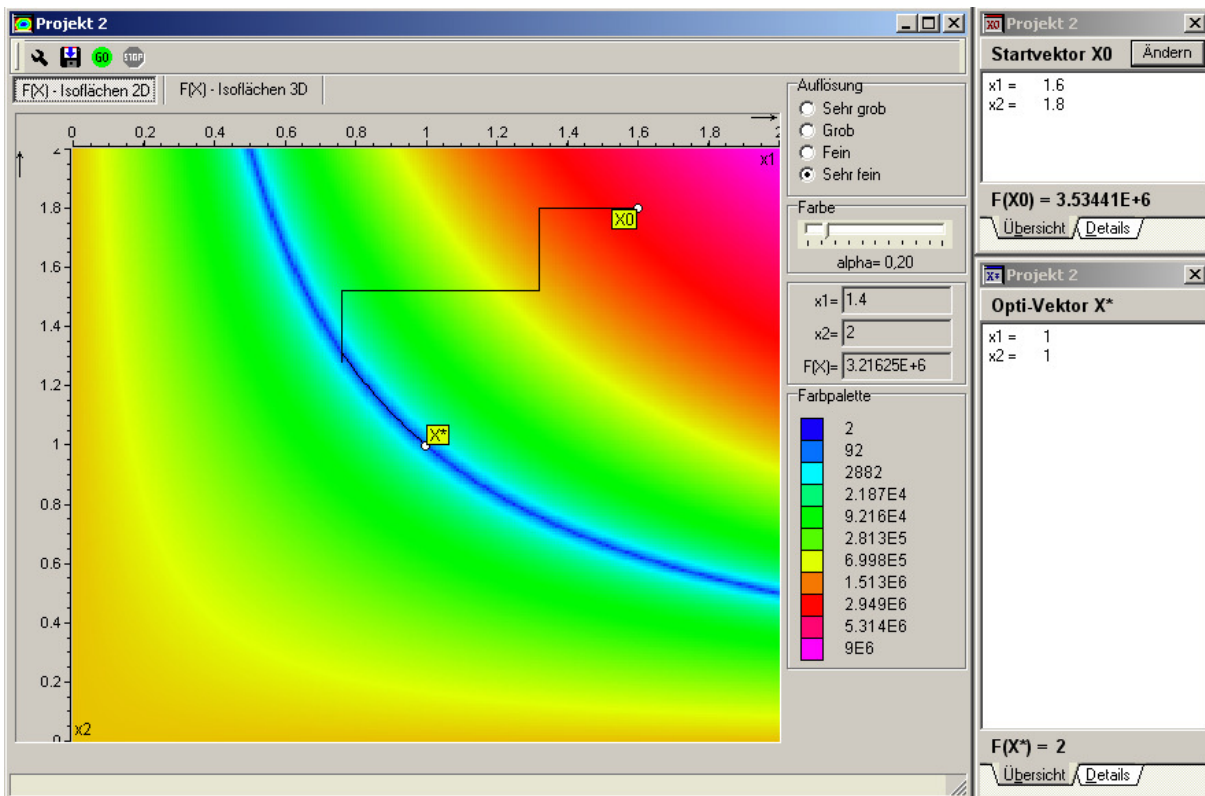
Lösung des ersten Teilproblems mit $r=2$:

$$F(X) = 1,5 \text{ und } x_1 = x_2 = 0,70711$$



Lösung des zweiten Teilproblems mit $r=100$:

$$F(X) = 1,99 \text{ und } x_1 = 0,99148 \text{ } x_2 = 0,99844$$



Lösung des dritten Teilproblems mit $r = 1000000$:

$F(X^*) = 2$ und $x_1^* = x_2^* = 1$

5.1.3.2 2-kriterielle Polyoptimierung

Mit der vorliegenden Version von APPROX für Windows können im Sinne der Ermittlung einer Kompromissmenge (Pareto-) nur 2-kriterielle Aufgabenstellungen bearbeitet werden. Für den Fall, dass eine größere Anzahl von Gütekriterien vorliegt, wird die Bearbeitung über die (monetarische) Optimierung mit einem Hauptgütekriterium als Zielfunktion $F(X)$ empfohlen. Dabei werden die nicht ausgewählten Gütekriterien in den Rang von Restriktionsfunktionen überführt. Die Ermittlung einer Kompromissmenge als Ziel der Optimierung ist damit nicht mehr möglich. Das erreichte Ergebnis stellt dann eine singuläre Lösung (Maximum oder Minimum) der Funktion $F(X)$ dar.

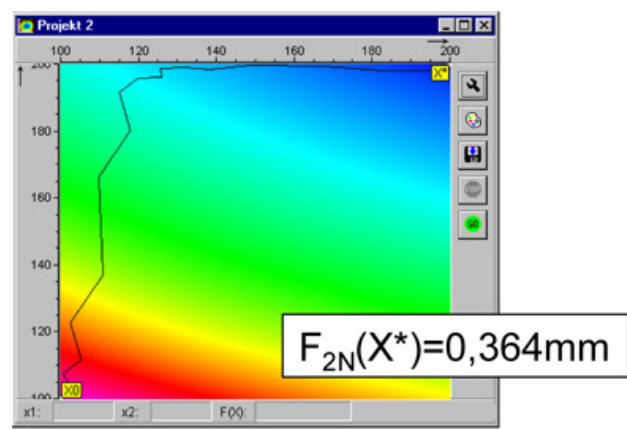
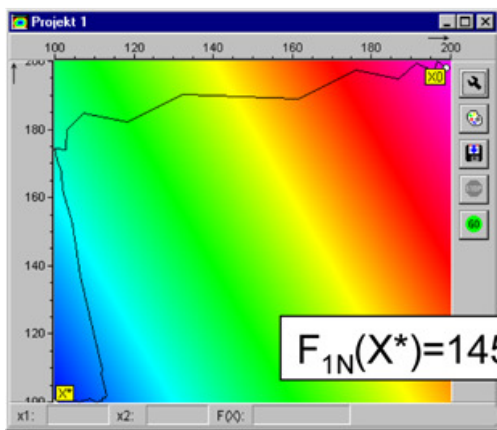
Eine erfolgreiche Variante ist die Lösung über die Formulierung einer Ersatzzielfunktion $F_E(X)$, die über das Verfahren des linearen Kompromisses mit zwei Gütekriterien $Q_1(X)$ und $Q_2(X)$ realisiert wird. Die Funktionen $F_{1N}(X)$ bzw. $F_{2N}(X)$ sind die so genannten eigennützigen **Minima** von $Q_1(X)$ bzw. $Q_2(X)$.

Im vorliegenden Fall handelt es sich um die optimale Gestaltung eines Doppel-T-Profiles für Minima der Querschnittsfläche (1. Gütekriterium) und der maximalen Durchbiegung (2. Gütekriterium) bei Belastung durch eine Einzelkraft am Ende des einseitig eingespannten Trägersystems.

$$F_E(X) = \lambda \frac{F_1(X)}{F_{1N}} + (1 - \lambda) \frac{F_2(X)}{F_{2N}}$$

$F_1(X) = Q_1(X)$: Fläche

$F_2(X) = Q_2(X)$: maximale Durchbiegung



Die Werte für F_{1N} bzw. F_{2N} erhält man durch Minimierung der Ersatzzielfunktion mit $\lambda = 1$ bzw. $\lambda = 0$. Die hier angegebenen Zahlenwerte sind nicht reproduzierbar, da entsprechende Vorgaben fehlen.

Ersatzzielfunktion $F(X) = F_E(X)$

$$F(X) = \frac{\lambda}{1450} \cdot (x_1 \cdot d + a \cdot (x_2 - d)) + \frac{1-\lambda}{0,364} \cdot \left(\frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I(X)} \right) := \text{Min!}$$

Das Ergebnis der Polyoptimierung besteht aus der Kompromissmenge. Eine optimale Lösung wird nach einer Ergebnisinterpretation zur Verfügung gestellt.

5.2 Darstellung der Zielfunktion

Nach dem Zeichnen der Isoflächen der Zielfunktion $F(X)$ legt der Nutzer den Startpunkt X_0 (z.B. per Mausklick) fest. Die Farbverteilung für die Isoflächen ist so definiert, dass Minima im Bereich blauer Färbung zu erwarten sind. Bei einem mehr als 2-dimensionalen Optimierungsproblem passt sich die Farbverteilung erst nach der jeweils erfolgten Iteration den Gegebenheiten der Zielfunktion an. Bei mehrdimensionalen Optimierungsaufgaben ergeben sich dann keine Änderungen in den Schnittebenen der Isoflächen mehr, wenn sich der Wert der Zielfunktion einem Endwert nähert.

5.2.1 Vektoren der Zielfunktion

In den beiden rechten Fenstern werden der Startvektor und der optimierte Vektor angezeigt. Ist ein Variablenwert rot eingefärbt, so ist die vorgegebene obere oder untere Schranke des Variationsbereiches erreicht. Weitere Informationen können sowohl in einer Übersicht als auch im Detail abgefragt werden.

5.2.1.1 Startvektor X_0



Vom Startvektor X_0 aus, der auf den Isoflächen angezeigt wird, beginnt der Iterationsprozess (Optimierung). Eine Änderung seiner Komponentenwerte ist über die unten angezeigten Fenster möglich. Im Falle einer apx-Datei (getriebetechnisches Beispiel) wird stets eine Zuordnung der konstruktiven und/oder Antriebsgrößen zu den jeweiligen Komponenten angezeigt. Durch Anklicken einer ausgewählten Komponente öffnet sich ein Fenster, in dem der Variationsbereich über die Schranken geändert werden kann.

5.2.1.2 Optimierter Vektor X^*



Am Ende des Iterationsprozesses werden der erreichte Zielfunktionswert $F(X^*)$ und die optimalen Komponenten des Variablenvektors ausgegeben.

5.2.1.3 Übersicht

Die Karteikarte Übersicht zeigt die Optimierungsergebnisse an.

5.2.1.4 Details

In der Karteikarte Details werden Informationen zum Wert der Restriktionen (negativer Wert bei Zulässigkeit, positiver bei Verletzung), zu den Hilfsfunktionen sowie den Fehler- und Straffunktionen angezeigt.

5.2.2 Isoflächen

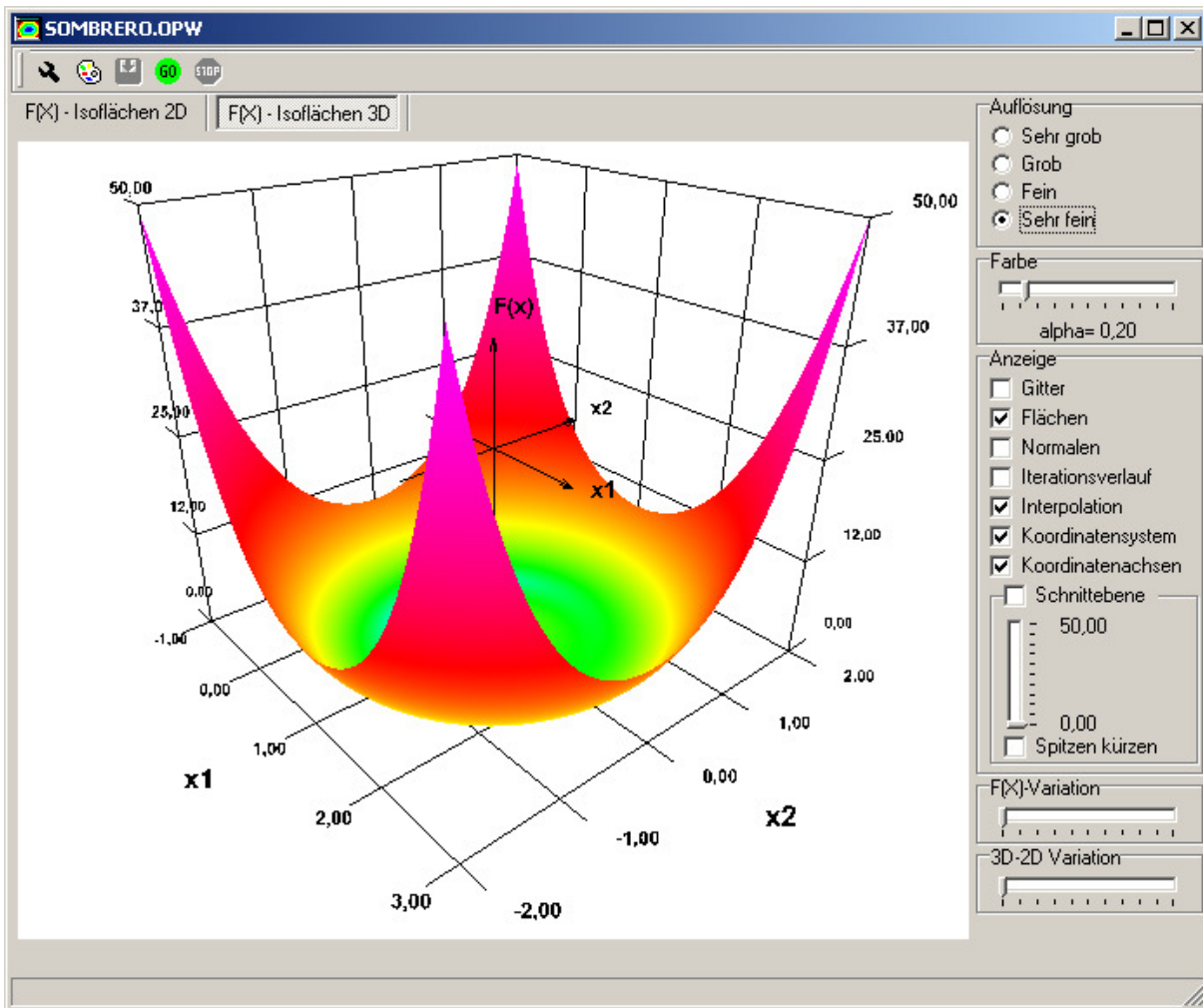
5.2.2.1 Auflösung

Im Feld Auflösung können Sie die Punktdichte für die Isoflächen-Darstellung von Sehr grob über Grob, Fein bis hin zu Sehr fein variieren.

5.2.2.2 Farbe

Mit Hilfe des Schiebereglers Farbe ist es möglich, den Farbverlauf für eine übersichtliche Darstellung einzustellen.

5.2.2.3 3D-Darstellung

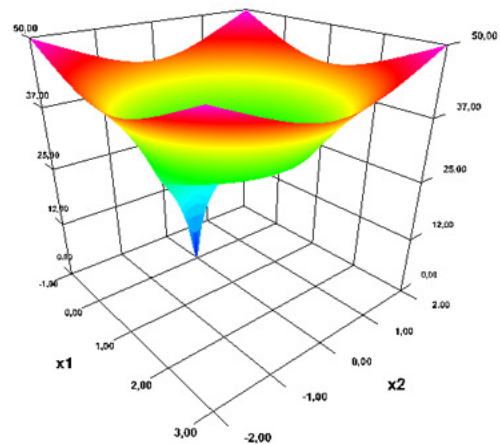
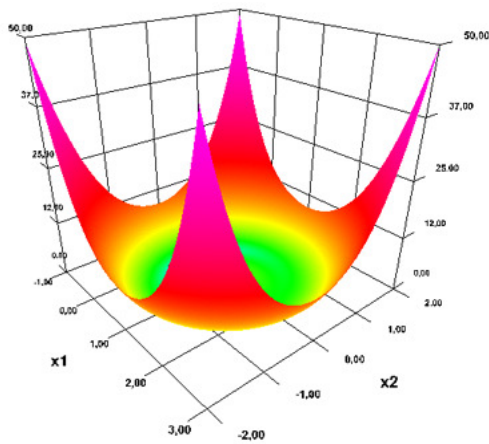


In dieser Darstellung wird in übersichtlicher Form und mit Möglichkeiten der Vergrößerung/Verkleinerung sowie der Animation die räumliche Gestalt der $F(X)$ -Isoflächendarstellung in Abhängigkeit von der voreingestellten Zuordnung der Variablen zur x- und y-Achse angezeigt.

5.2.2.3.1 Anzeige

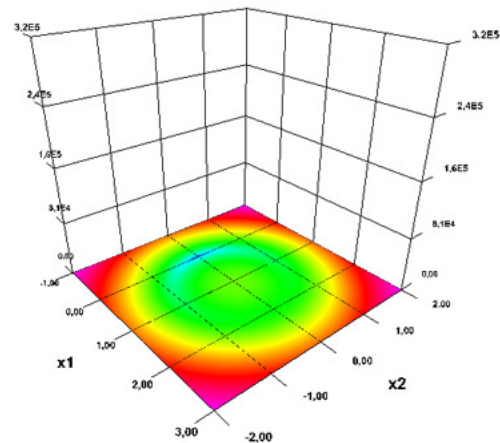
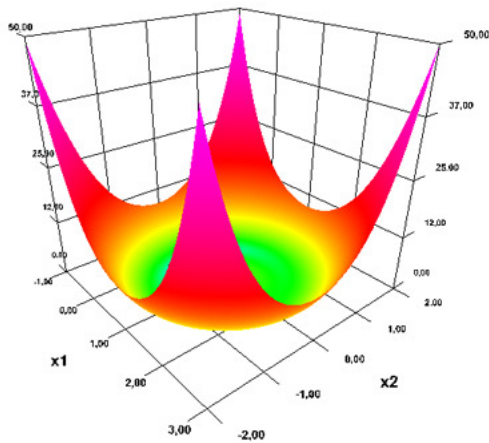
Im Feld Anzeige ist es möglich, Flächen, Gitter, Normalen, das Koordinatensystem, die Koordinatenachsen sowie den Iterationsverlauf und die Interpolation in den Isoflächen darzustellen. Des Weiteren haben Sie die Möglichkeit, mit Hilfe des Schnittebenen-Schiebereglers eine Glättung des Isoflächenverlaufes am Darstellungsrand durch Kürzen der Spitzen vorzunehmen.

5.2.2.3.2 F(X)-Variation



Über den Regler zur F(X)-Variation können Sie die Skalierung der z-Achse verändern und damit die Umgebung des Zielfunktionsverlaufes in der Nähe z.B. eines Minimums ausdrucksstärker darstellen.

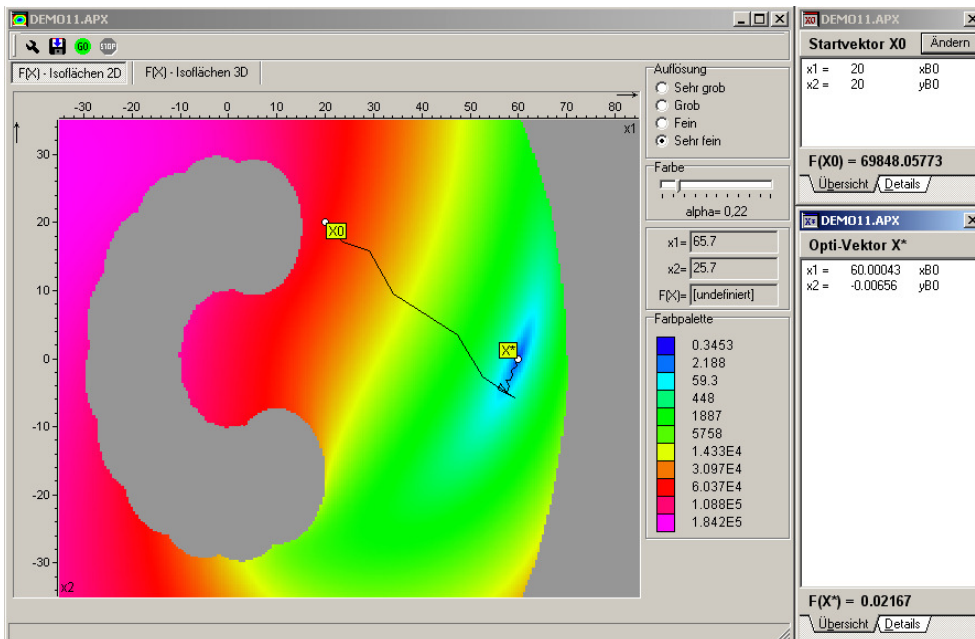
5.2.2.3.3 3D-2D-Variation



Mit diesem Regler können Sie eine Verebnung (2D-Darstellung) der F(X)-Isoflächen realisieren.

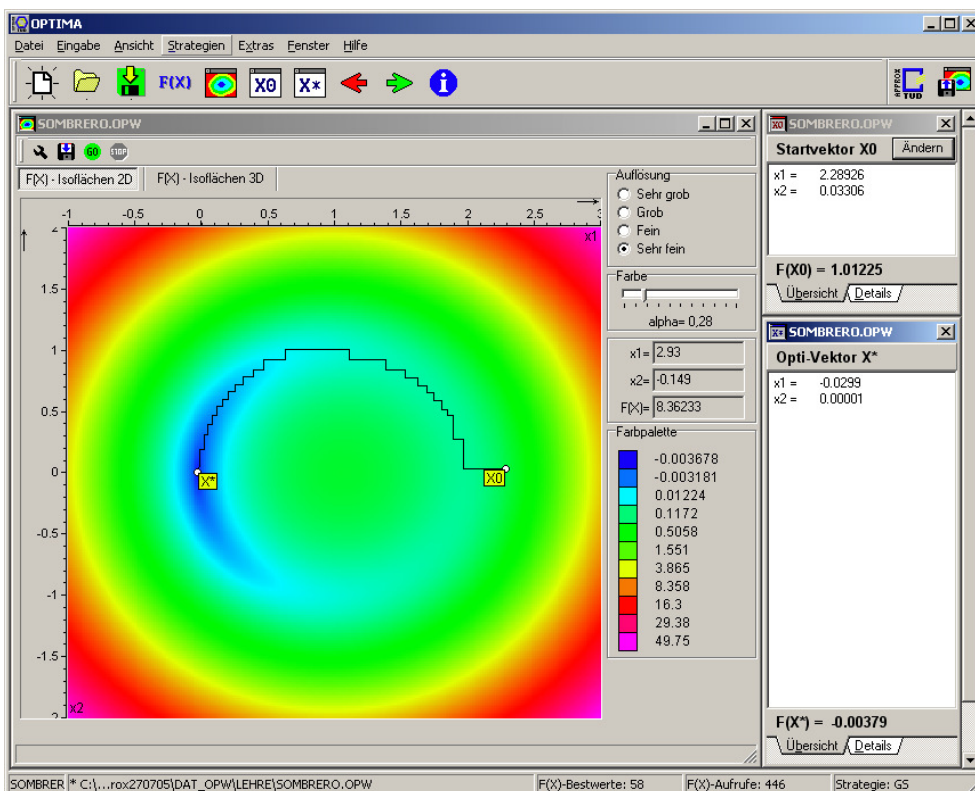
5.2.2.4 2D-Darstellung

5.2.2.4.1 Isoflächen von apx-Dateien



Diese Darstellung zeigt die $F(X)$ -Isoflächen eines Beispiels zur angenäherten Getriebesynthese in höchster Auflösung. Neben dem Startvektor X_0 sind darin der Iterationsverlauf zum Optimalpunkt X^* (Minimum) und der Verlauf der durch $\mu_{\min} = 0$ bestimmten nichtlinearen Restriktion enthalten.

5.2.2.4.2 Isoflächen von opw-Dateien



Diese Darstellung zeigt die $F(X)$ -Isoflächen der so genannten Sombbrero-Funktion in höchster Auflösung. Gut zu erkennen ist dabei der geschwungene Iterationsverlauf (Gauß-Seidel Strategie) zum Optimalpunkt X^* (Minimum) um das Maximum herum (Spitze des Sombberos).

5.2.2.5 Einstellungen

Einstellungen F(X)-Isoflächen

Variablen-Achsen-Zuweisung

x-Achse
Variable: $x_1 = X[1]$
Untere Schranke: -1
Obere Schranke: 3

y-Achse
Variable: $x_2 = X[2]$
Untere Schranke: -2
Obere Schranke: 2

Achsen vertauschen

Bildausschnitt

☒ Schranken der Variablen als Grenzen verwenden
☐ Veränderte Grenzen:

x-Achse
Minimalwert: -1
Maximalwert: 3

y-Achse
Minimalwert: -2
Maximalwert: 2

Maximale Isoflächenauflösung

APPROX: Grob
OPTIMA: Sehr fein

Farbeinstellung

0.01 0.2 5
1 = lineare Abbildung
☐ Graustufen

OK Abbruch

Über **Variation-Achsen-Zuordnung** können Sie verschiedene Zuordnungen der Variablen zur x-/ y-Achse der Isoflächendarstellung vornehmen. Angezeigt werden dazu auch die voreingestellten Schrankenbereiche. Ebenfalls möglich ist das Vertauschen der eingestellten Variablenzuordnungen.

Über **Bildausschnitt** können veränderte Grenzen eingegeben werden, die allerdings im voreingestellten Schrankenbereich liegen müssen.

Die F(X)-Isoflächen für apx-Dateien sollten **Grob** dargestellt werden. Eine Verfeinerung führt zu einem vergrößerten Zeitaufwand für das Zeichnen.

Der Regler zur **Farbeinstellung** sollte betätigt werden, wenn Bereiche um die Optimalpunkte farblich besonders zu kennzeichnen sind.

5.2.2.6 Farbpalette

Die Farbpalette zeigt die Zuordnung der Zielfunktionswerte zu den voreingestellten Farben an. Für Minima wurde die Farbe blau, für Maxima rot ausgewählt.

5.3 Optimierungsstrategien

Zur Lösung getriebetechnischer Synthesaufgaben haben sich die unten aufgeführten ableitungsfreien Strategien bewährt. Sie werden auch zur Bearbeitung der opw-Dateien eingesetzt, da auch hier keine Nachteile auftraten.

5.3.1 Nelder-Mead

Das Verfahren führt durch Verschiebung, Kontraktion oder Expansion eines Polyeders (Simplex) den Iterationsprozess zu einem lokalen Optimum.

Es ist ein leistungsfähiges und universell einsetzbares Verfahren mit hoher Genauigkeit. Probleme können bei nichtkonvexen Suchgebieten auftreten. Ein Mehrfachstart vom jeweils erreichten Optimalpunkt ist deshalb anzustreben. Bei Aufgaben mit zahlreichen Variablen (z.B. bei apx-Dateien) und umfangreichen sowie kompliziert strukturierten Algorithmensystemen (opw-Dateien) ist das Vorschalten einer stochastischen Optimierungsstrategie empfehlenswert.

5.3.2 Monte-Carlo

Bei diesem stochastischen Verfahren führt eine raffinierte Steuerung den Iterationsprozess durch Verschiebung, Kontraktion oder Expansion eines Quaders mit hoher Wahrscheinlichkeit in die Nähe des globalen Optimums. Für die Veränderung des Quaders werden alle ausgelosten Variablenwerte herangezogen. Die Wertebelegung der Komponenten der Vektoren erfolgt durch gleichverteilte Zufallszahlen von Rotenberg.

Das Verfahren bewährt sich besonders bei nicht zusammenhängenden und nichtkonvexen Suchgebieten. Bei Zielfunktionen mit höherdimensionalen Vektoren und großer Modellierungszahl je Quader (intensive Suche) muss mit einer verlängerten Dauer des Iterationsprozesses gerechnet werden.

5.3.3 Gauß-Seidel

Das Verfahren führt durch eine achsenparallele Suche in Kombination mit der Goldenen Teilung (Strahlminimierung) zu einem lokalen Optimum.

Das Verfahren ist leistungsstark im Startbereich, offenbart aber Schwächen bei höherdimensionalen Optimierungsproblemen mit kompliziert strukturierter Zielfunktion und zahlreichen Restriktionen.

5.3.4 Hooke-Jeeves

Der Tatalgorithmus führt den Iterationsprozess durch Extrapolation (bei Erfolg) und Rückzug (bei Misserfolg) zu einem lokalen Optimum.

Das Verfahren ist leistungsstark, weist aber Probleme bei nichtkonvexen Suchgebieten auf. Mehrdimensionale Optimierungsaufgaben werden gut bewältigt.

5.3.5 Monte-Carlo-Quick

Bei diesem Verfahren werden zur Veränderung des Quaders neben den unzulässigen vor allem die jeweils besten Punkte (Vektoren) im Sinne des Zielfunktionswertes herangezogen. Es erfolgt bereits eine Halbierung der Quaderabmessungen, wenn der Abstand einer Komponente des Variablenvektors zu der des nachfolgenden positiven Vektors kleiner als 80% ist.

Der Iterationsprozess führt zügig und mit hoher Wahrscheinlichkeit in die Nähe des globalen Optimums, wobei allerdings die Intensität der Suche je Quader geringer ausfällt als beim Standardverfahren.

5.4 Optimierungssteuerung

Der Optimierungsprozess wird gestartet, indem Sie im Menü **Strategien** auf **Optimierung starten** (F7) oder auf den Button **Iterationsprozess starten** (grüner Pfeil) klicken.

5.4.1 Maximierung/Minimierung

Im Menü **Strategien** ist die Einstellmöglichkeit für die Bearbeitung von Maximierungsaufgaben vorgesehen. Standardmäßig ist jedoch die Minimierung voreingestellt.

5.4.2 Einstellungen

Im Menü **Strategien** wird bei **Animation an** der Iterationsprozess über den jeweils besseren Punkt X bis hin zum Optimalpunkt X^* angezeigt. Bei **Aus** wird nach Erreichen von X^* der gesamte Iterationsverlauf komplett angezeigt.

Bei **Jumbo-Quader Ein** wird sichergestellt, dass mit X_0 als Mittelpunkt eines Groß-Quaders eine effektive Suche des globalen Optimums erfolgt (Standardeinstellung).

Die Einstellung **Modellierungszahl ...** gestattet die Festlegung von M_0 über eine Berechnungsvorschrift oder eine Zahl, die bis maximal 100000 ausgewählt werden kann. Die Modellierungszahl bezieht sich auf die maximal zur Verfügung stehenden Zufallszahlen pro Quader.

Unter **Strategieeinstellungen** können Sie Werteänderungen für charakteristische Steuer- und Abbruchgrößen des jeweiligen Verfahrens vornehmen. Das Weiterbenutzen der Standardwerte wird in jedem der vier Möglichkeiten (NM, MC, HJ und GS) gewährleistet.

5.5 Extras

Unter Menü **Extras** kann für opw-Dateien ein Leistungstest vorgenommen werden. Für einen zufällig gewählten oder vorgegebenen Startvektor X_0 wird die Anzahl der Zielfunktionsaufrufe mit Hilfe der **Leistungstest-Funktion** pro Sekunde berechnet.

6 Eingabe- und Ergebnisdruck zur Analyse und Optimierung

Über **Datei -> Drucken** können alle Werte zur Eingabe und Analyse des Getriebes sowie zur Optimierung gedruckt werden. Eine Vorschau und das Eintragen von Kommentaren sind möglich.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, über **Datei -> Daten für Excel** die entsprechenden Daten nach Microsoft Excel (xls-Dateien) zu exportieren.

7 Abschließende Bemerkungen

Die vorliegende Nutzerinformation, die auch als Hilfe im Programmpaket APPROX für Windows enthalten ist, ermöglicht durch Betätigen der F1-Taste den direkten Einstieg in das jeweils aktuelle Hilfefenster.

Verbesserungen und Erweiterungen des Programmpaketes sowie attraktive Aufgabenstellungen mit Lösungen aus Lehre und Praxis werden auch weiterhin zur Verfügung gestellt.

Weitere Informationen zur Nutzung des Programmpaketes, zurzeit kann die Vollversion 6.4 kostenlos heruntergeladen werden, sind auch über

<http://wwwm.htwk-leipzig.de/~hstrauch/>

abrufbar.