

Parametrische Analyse kinematischer Kenngrößen als Basis eines effizienten Mechanismenentwurfs

M. Berger (TU Chemnitz)

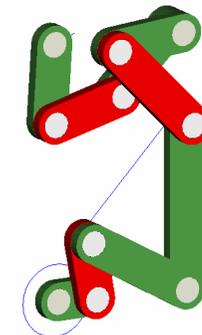
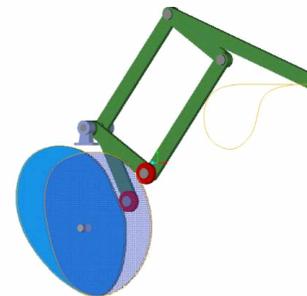
maik.berger@mb.tu-chemnitz.de

www.tu-chemnitz.de/mb/MechAntrTech

- 1 Aufgabenstellungen & Probleme beim Mechanismenentwurf
 - 2 Parametrische Analysen mit MathCad & ProEngineer
 - 3 BMX – Funktionalitäten im Skelettmodell
 - 4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen
 - Totlagenkonstruktion der Kurbelschwinge
 - Entwurf ebener Führungsgetriebe
- Zusammenfassung

Motivation

Kinematische und bewegungstechnische Aufgabenstellungen sind vielseitig und erfordern oft Sonder- bzw. Einzellösungen



**CAD / MKS / FEM (z.B. ProE)
Programme zur konstruktiven
Auslegung und Optimierung**



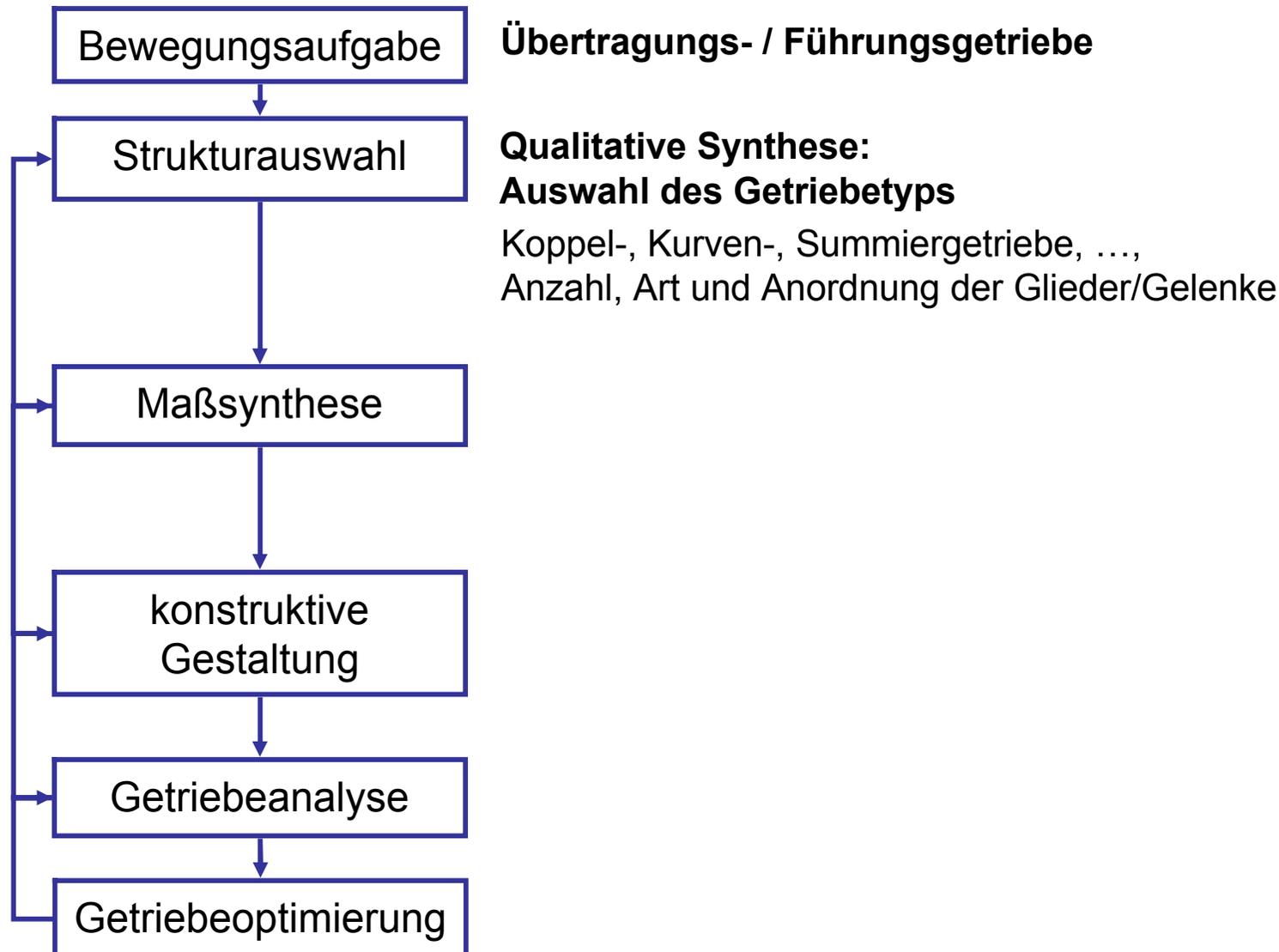
**Kommerzielle Berechnungs-
software (z.B. Mathcad) mit
effizienten Funktionsbausteinen**

**Welche Möglichkeiten bieten uns die Softwarelösungen für
Aufgabenstellungen der Getriebesynthese und Optimierung?**

Wie kann man die Funktionalitäten effizient anwenden und ausreizen?

Aktuelle Probleme beim Mechanismenentwurf:

- **Rückgang des Know-How beim Entwurf und der Auslegung von Mechanismen**
 - Konstrukteure wissen heute zuwenig über Kinematik,
 - Erfahrungsträger mit umfangreichem Wissen zur Getriebesynthese existieren oft nicht mehr,
 - Wissensvermittlung (Uni, FH, ...) bezüglich der Mechanismensynthese sehr lückenhaft,
 - Bewegungen mit gesteuerten Antrieben zu erzeugen erscheint i. A. als wesentlich einfacher
- **Flexibilitäts- und Leistungsanforderungen moderner Antriebs- und Bewegungssysteme**
 - sehr oft umfassende Flexibilität erwünscht, jedoch nicht unbedingt erforderlich,
 - Lösung immer komplexerer Problemstellungen zur Systemintegration und Kommunikation
(Nutzung standardisierter Feldbusse, Synchronisation von Bewegungsabläufen, Schnittstellen- und Echtzeitanforderungen, internetbasierte Systeminbetriebnahme und Wartung)
- **Einsatz geeigneter Synthesewerkzeuge**
 - Es gibt zuwenig effektive Hilfsmittel für die Beschreibung von Bewegungen sowie zur Lösungsfindung
(Synthese von Mechanismen) in der gewohnten (CAE-) Umgebung des Konstrukteurs.

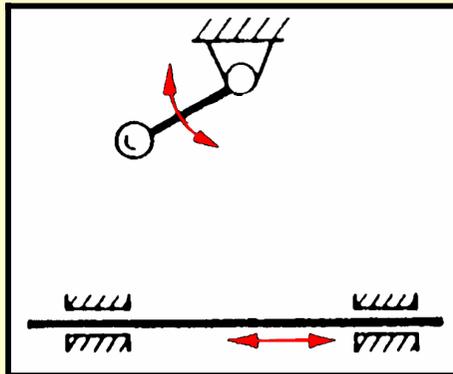


Bewegungsaufgabe

Übertragungs- / Führungsgetriebe

Strukturauswahl:

Umwandlung einer schwingenden Drehbewegung in eine schwingende Schubbewegung



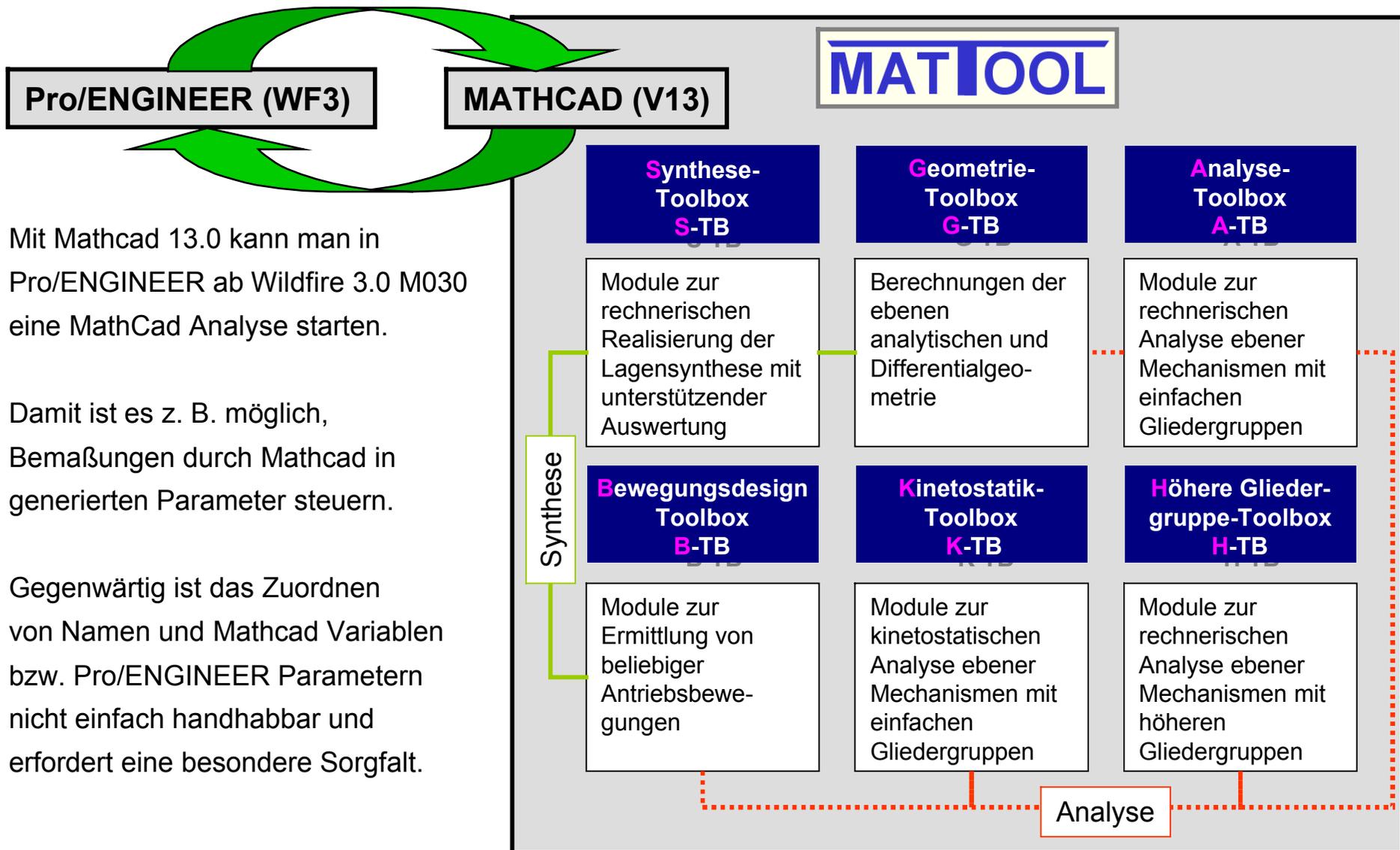
Lösungsschema und mögliche Getriebeformen (Beispiele)

	Drehgelenk	Schubgelenk	Wälzgelenk	Gleitwälzgelenk
GELENKE				
		Schwinge wird unbeweglich		



Parametrische Analyse kinematischer Kenngrößen

2 Parametrische Analysen mit MathCad & ProEngineer



Mit Mathcad 13.0 kann man in Pro/ENGINEER ab Wildfire 3.0 M030 eine MathCad Analyse starten.

Damit ist es z. B. möglich, Bemaßungen durch Mathcad in generierten Parameter steuern.

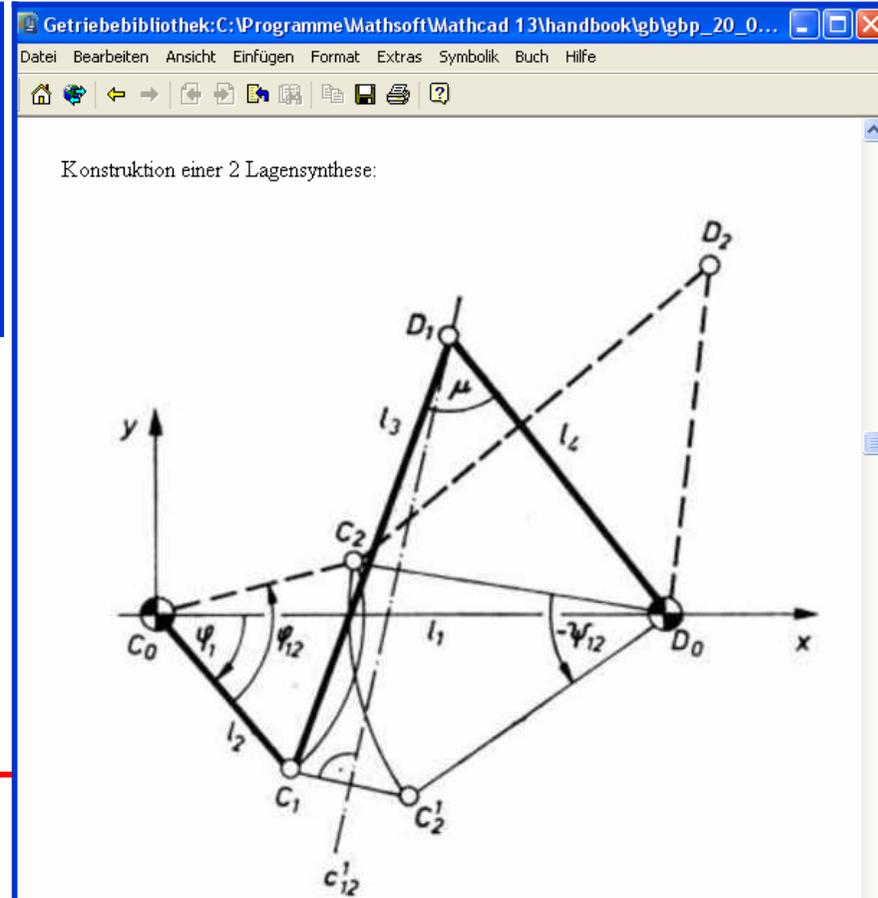
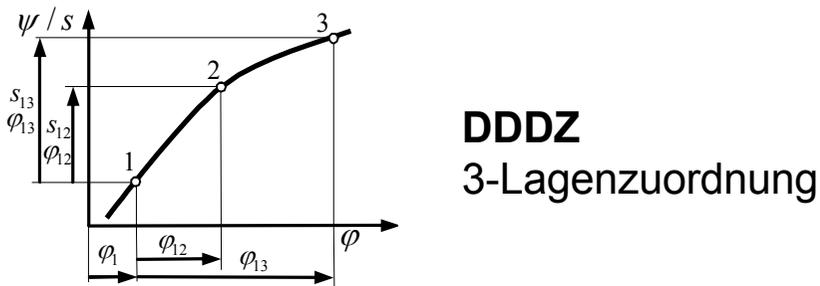
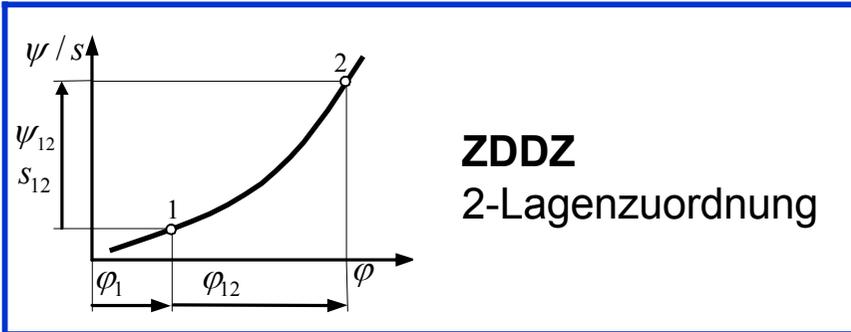
Gegenwärtig ist das Zuordnen von Namen und Mathcad Variablen bzw. Pro/ENGINEER Parametern nicht einfach handhabbar und erfordert eine besondere Sorgfalt.

Grundlegende Funktionalitäten und Vorteile eines E-Books:

- Das E-Book ist nach der Installation in der Mathcad - Arbeitsumgebung vorhanden.
- Jede Seite des E-Book ist ein dynamisches Arbeitsblatt.
- Die Inhalte können per Drag & Drop in das aktuelle Mathcad - Arbeitsblatt übernommen werden (analog zu den Quicksheets).
- Das Navigieren erfolgt seitenweise oder durch Klicken auf die gewählte Verknüpfung.
- Es existiert ein Indexverzeichnis.
- Die Suche nach Textelementen ist möglich.
- Änderungen können als Anmerkungen gespeichert werden.



Synthese – Aufgabenstellungen: Beispiele für Koppelgetriebe mit Drehgelenken



Parametrische Analyse kinematischer Kenngrößen

2 Parametrische Analysen mit MathCad & ProEngineer

Programm-Funktionalität am Beispiel des Grafik-Arbeitsblatts zur „Totlagen synthese“

The image displays a software interface with two main windows. The left window, titled "Getriebebibliothek: Kurventafeln-Konstruktionshinweise*", shows a table of contents with the following items:

- INHALT
- Kurventafeln & Konstruktionshinweise
- Totlagenkonstruktion der Kurbelschwinge nach Alt
- Kurventafel zur Totlagenkonstruktion der Kurbelschwinge
- Totlagenkonstruktion der Schubkurbel nach Alt
- Kurventafel zur Totlagenkonstruktion der Schubkurbel nach Alt
- Zweilagenzuordnung

The right window, titled "Getriebebibliothek: Kurventafel Kurbelschwinge*", displays a graph of a mechanism's kinematics. The graph shows the angular displacement of the crank and connecting rod over a range of angles. The vertical axis is labeled β and ranges from 90 to 360 degrees. The horizontal axis is labeled μ and ranges from 0 to 360 degrees. The graph includes several curves and lines, with labels such as $\max \mu_{min} = 0^\circ$ and $\max \mu_{min}$. A red circle highlights the parameter $-\phi/2$ in the top right corner of the interface.

3 BMX – Funktionalitäten im Skelettmodell



BMX: Behavioral Modeling Extension

Bei Änderungen an der Konstruktion werden die Analyse-KE's und alle abhängigen KEs automatisch aktualisiert.

Anhand von **Empfindlichkeitsstudien (Sensitivität)** ermitteln man die Auswirkungen änderbarer Konstruktionsvariablen auf die angestrebten Konstruktionsziele.

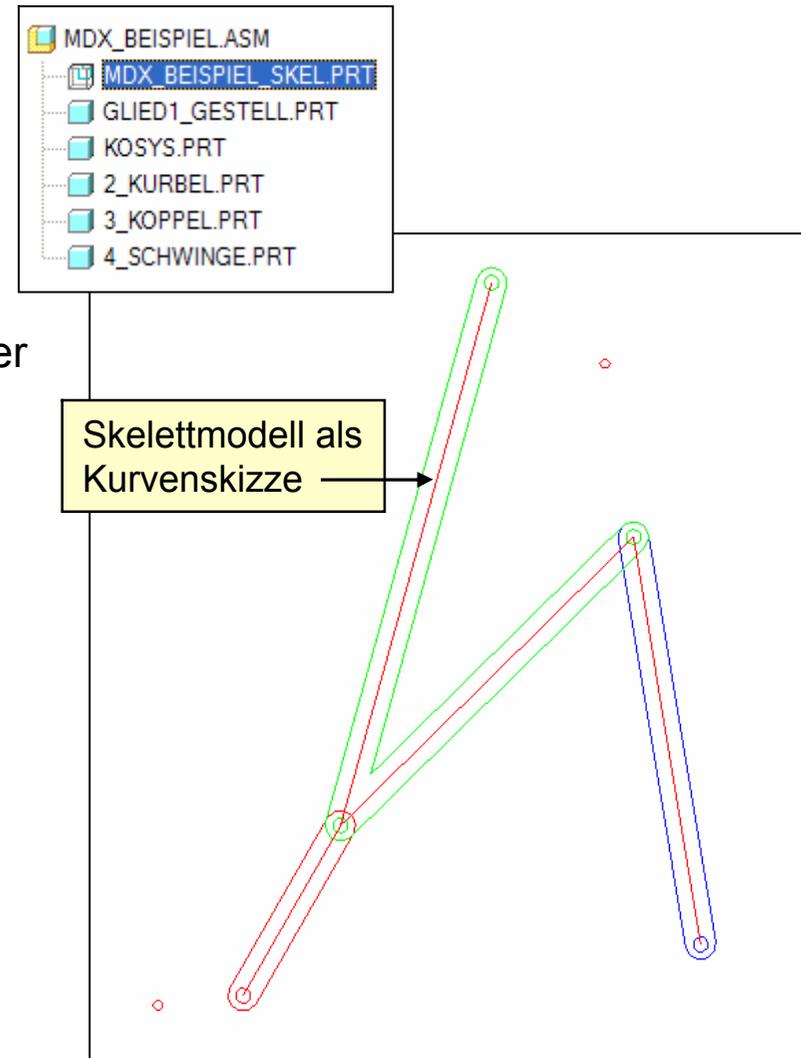
Die **Analyse-KEs** bilden außerdem die Grundlage für die automatische Auswahl von geeigneten Werten für die Konstruktionsvariablen, mit denen die Konstruktionsziele erreicht werden können.

Hierzu dienen dann **Durchführbarkeits- und Optimierungsstudien**.

3 BMX – Funktionalitäten im Skelettmodell

BMX – Funktionalitäten können sehr effizient in einem Skelettmodell zur Anwendung kommen:

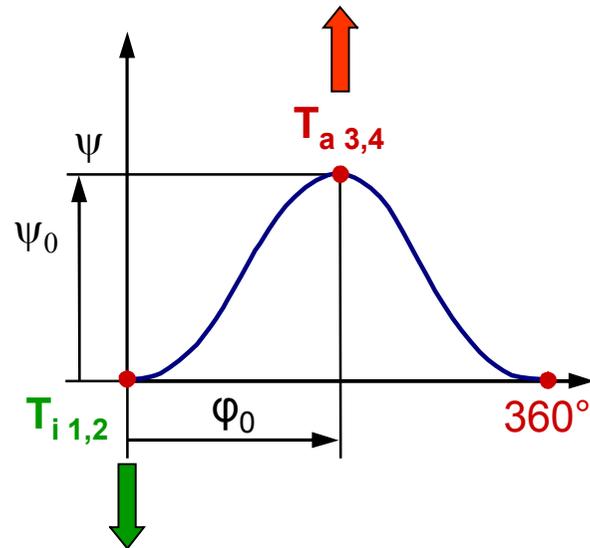
- skizzenorientierter Aufbau
(Punkte, Kurven, Flächen, ...)
- schneller Zugriff auf einzelne Konstruktionsparameter
(Bemaßungen, ...)
- überschaubare Definition der erforderlichen Analyse
KE's (Messungen, Beziehungen, ...)
- dient unmittelbar als Referenz für spätere zu
gestaltende Volumenkörper



4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

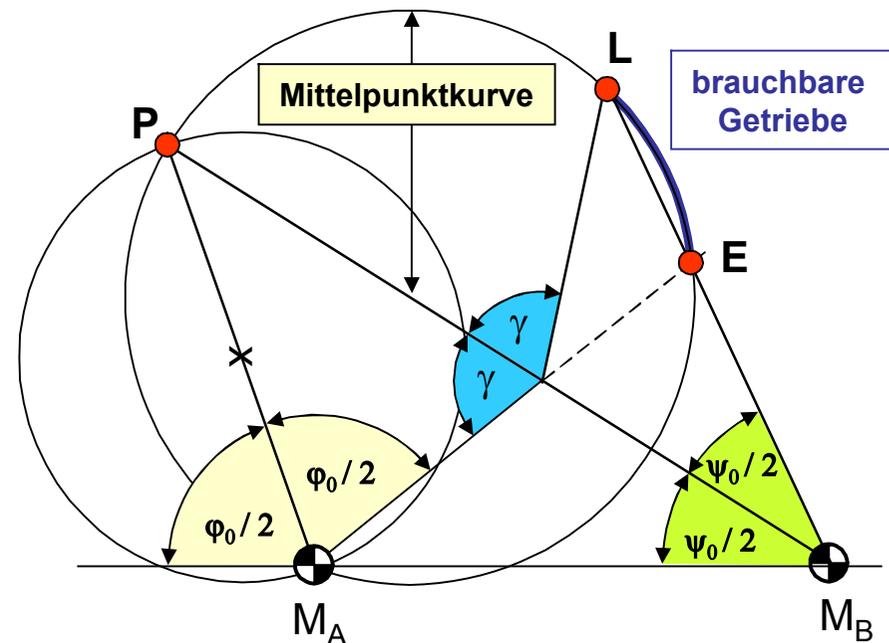
- Totlagenkonstruktion der Kurbelschwinge

Die äußere TL wird auch als „harte TL“ bezeichnet, da bei konstantem Umlauf der Kurbel größere Beschleunigungen als in der inneren TL auftreten.



Die innere TL wird auch als „weiche TL“ bezeichnet, da bei konstantem Umlauf der Kurbel kleinere Beschleunigungen als in der äußeren TL auftreten.

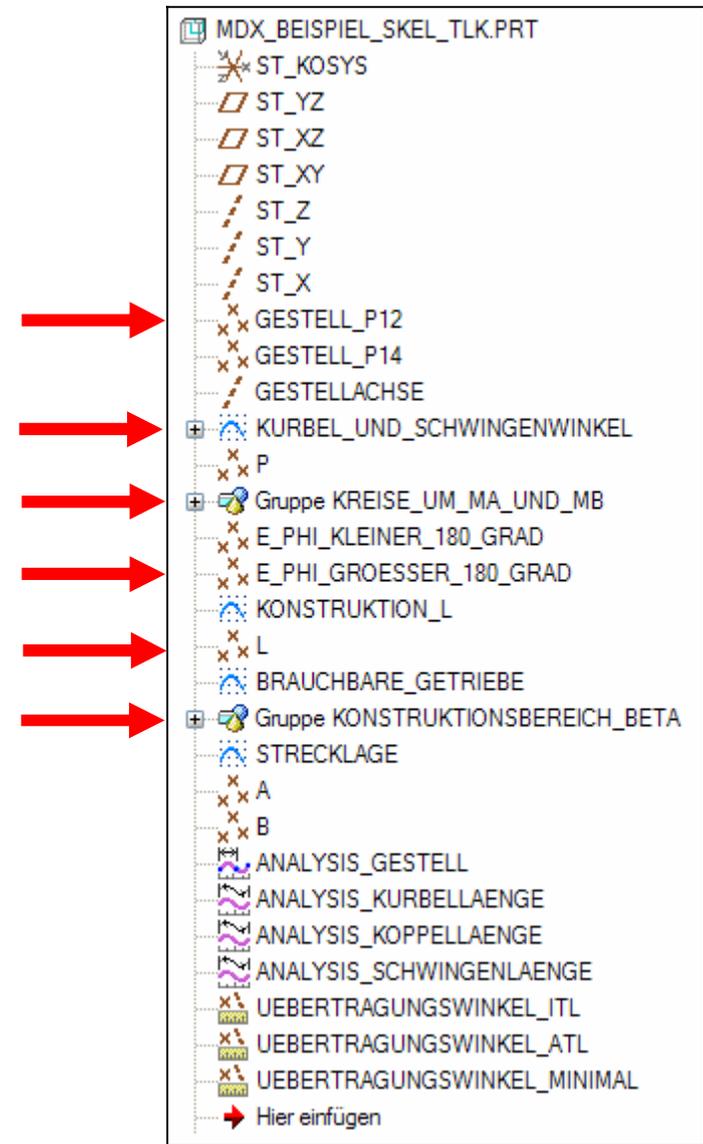
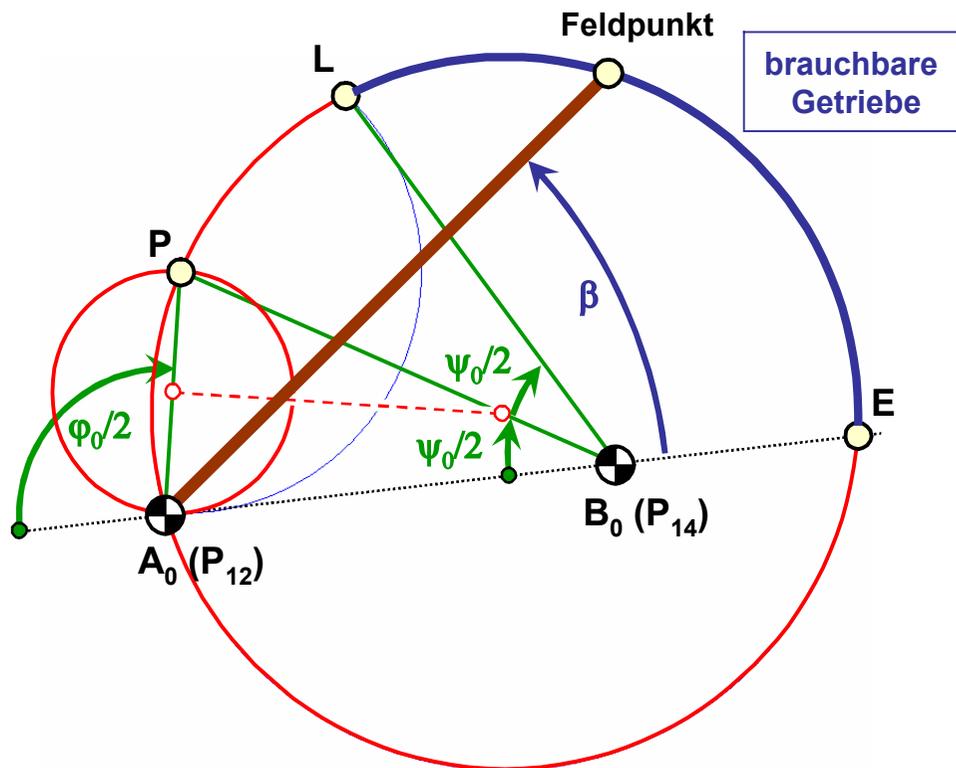
Die Winkeldefinitionen für die TL Stellungen haben eine Häufung der Relativpole zur Folge und bedingen den Zerfall der Mittelpunktkurve in Kreis und Gerade.



- Totlagenkonstruktion der Kurbelschwinge

Beispiel: $\varphi_0 = 200^\circ$ $\psi_0 = 60^\circ$

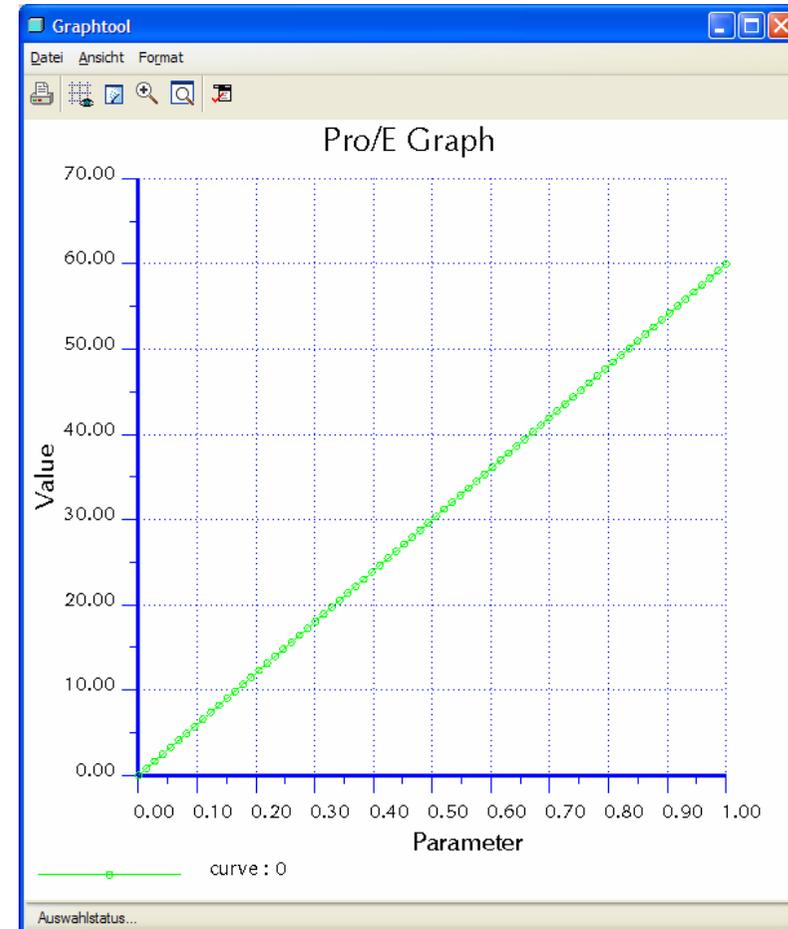
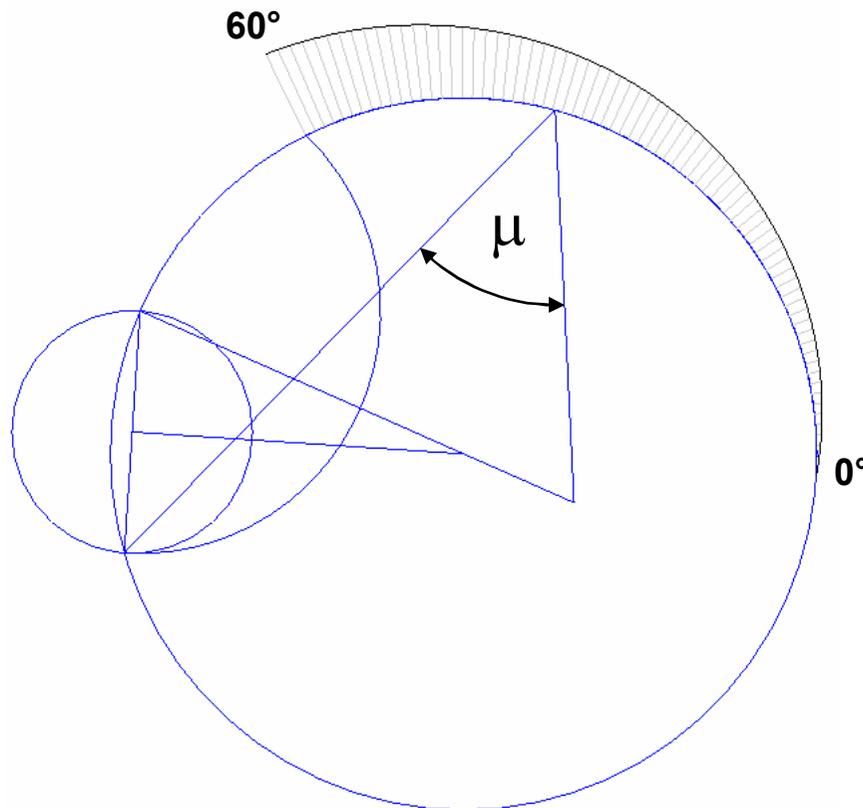
➔ Aufbau eines Skelettmodells



4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

- Totlagenkonstruktion der Kurbelschwinge

Beispiel: $\varphi_0 = 200^\circ$ $\psi_0 = 60^\circ$

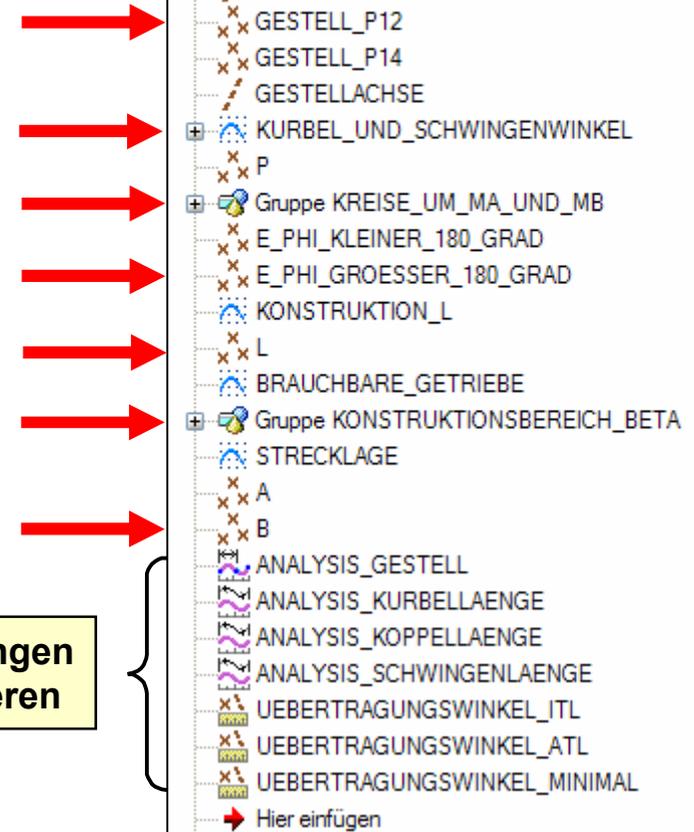
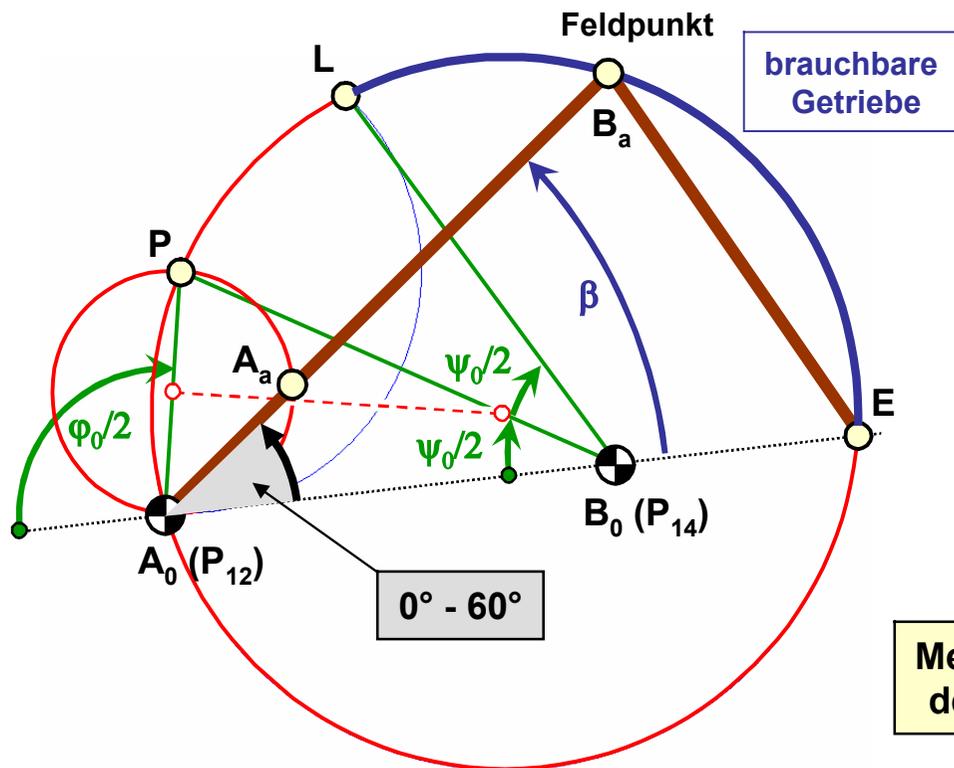


Welche Abmessungen hat das Getriebe mit dem Günstigsten Übertragungswinkel μ ($\max \mu_{\min}$) ?

- Totlagenkonstruktion der Kurbelschwinge

Beispiel: $\varphi_0 = 200^\circ$ $\psi_0 = 60^\circ$

➔ Aufbau eines Skelettmodells



4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

Kurventafel zur Totlagenkonstruktion von Kurbelschwingen

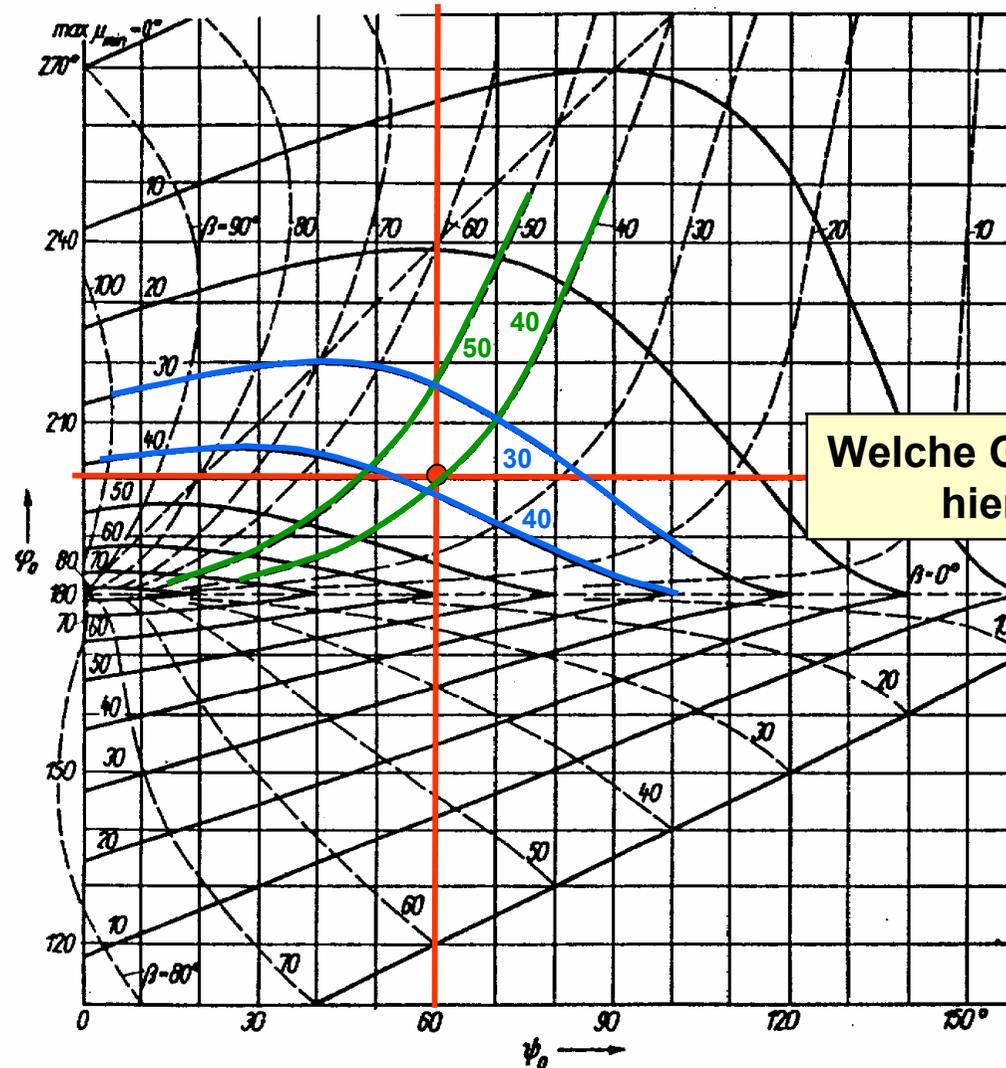
Beispiel:

$$\varphi_0 = 200^\circ$$

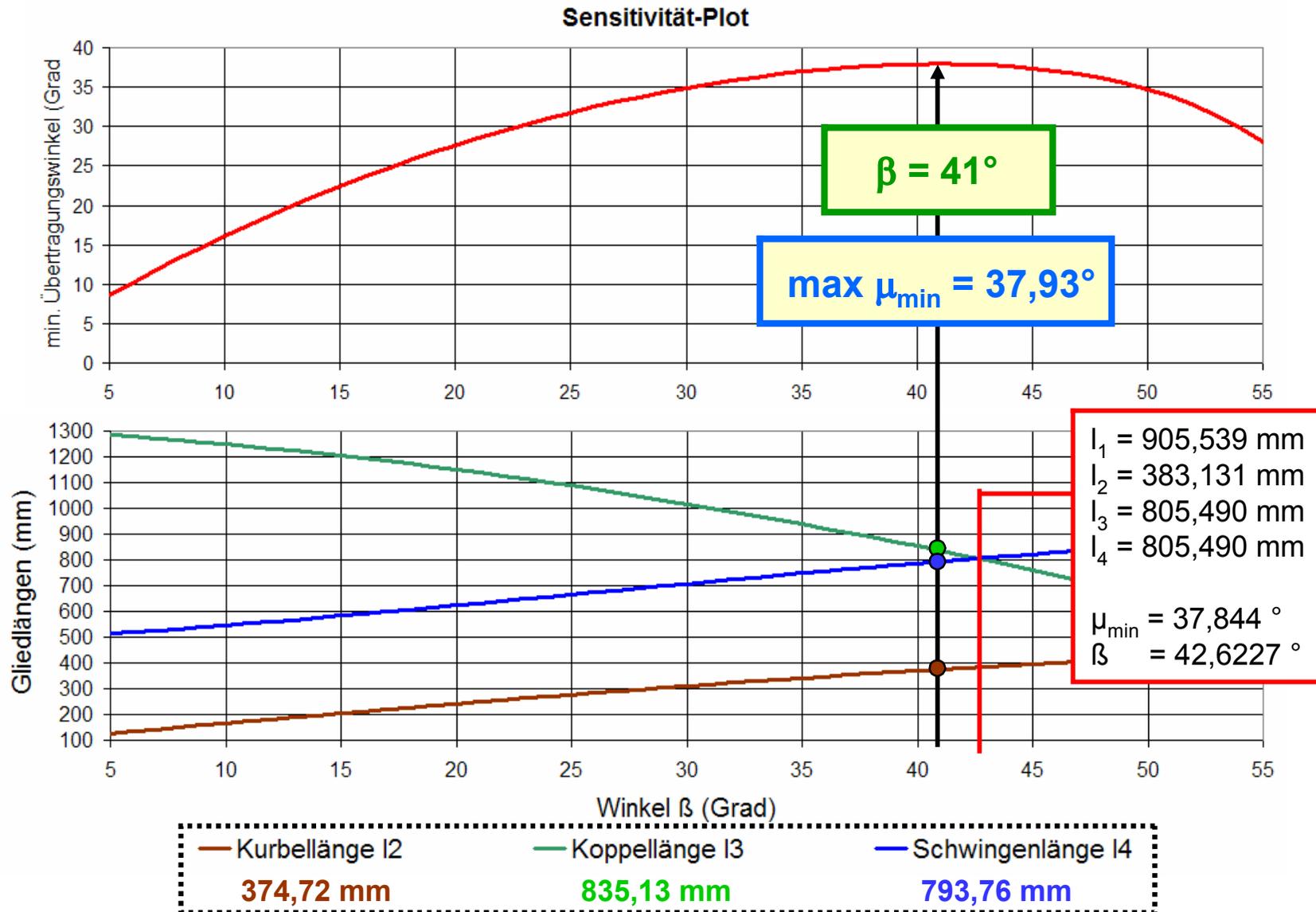
$$\psi_0 = 60^\circ$$

$$\beta = 41^\circ$$

$$\max \mu_{\min} = 38^\circ$$



Welche Gliedlängen sind hierfür gültig?



4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

Weitere Fragen zum ermittelten Getriebe:

Schwingwinkel am Abtriebsglied?
(oder einem anderen Getriebeglied)

Geschwindigkeit / Beschleunigung
am Abtriebsglied?
(oder einem anderen Getriebeglied)

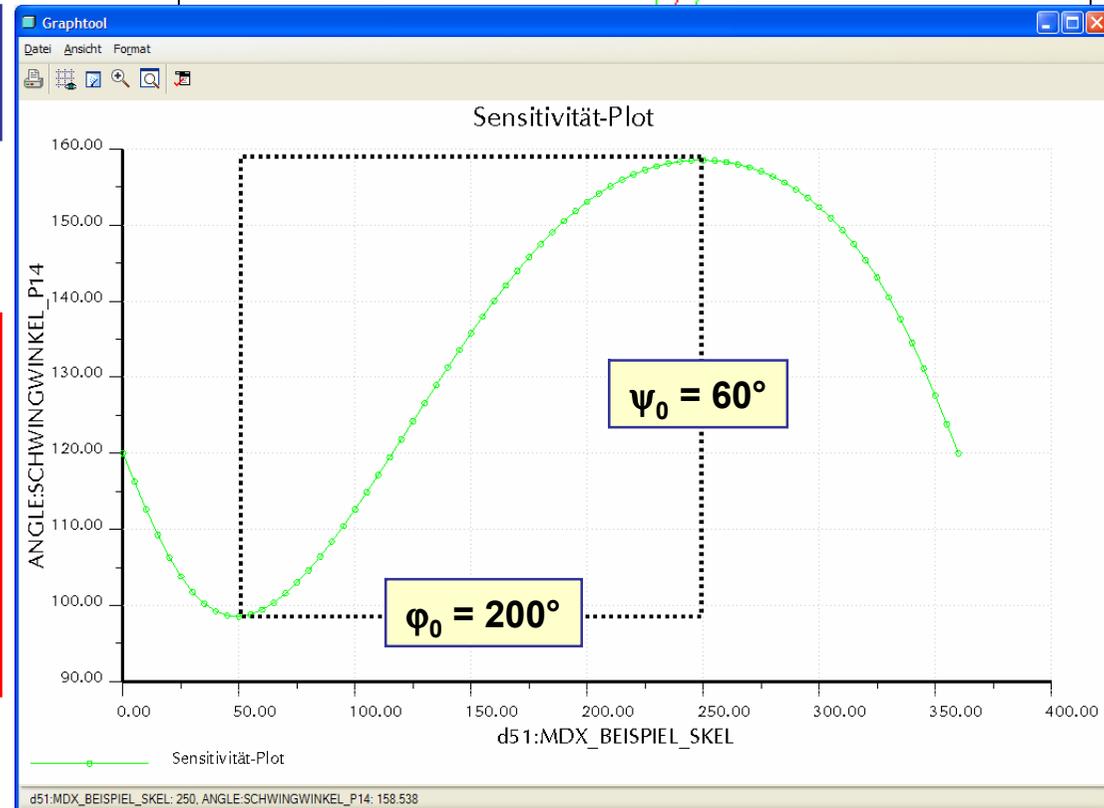
Übersetzung vom An- zum Abtrieb?

Aussagen bezüglich des Antriebs-
momentes unter Beachtung des
Leistungssatzes?
(Gleichgewichtszustand für
eingeprägte Kräfte)



Bahnverlauf der Koppelkurve ?

...



4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

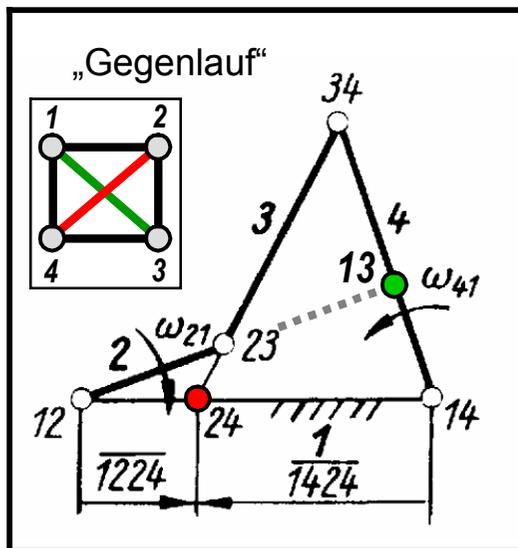
Die einfache **Übersetzung** ist gleich dem **Verhältnis der beiden Polstrecken**. Diese reichen von den Polen mit ins Verhältnis zu setzenden Winkelgeschwindigkeiten bis zu dem dritten Pol, der mit den ersten beiden Polen auf einer Geraden liegt.

$$i_{41-21} = \frac{\omega_{41}}{\omega_{21}} = -\frac{M_{21}}{M_{41}} = \frac{12\ 24}{14\ 24}$$

$$M_{21} \cdot \omega_{21} + M_{41} \cdot \omega_{41} = 0$$

Sind die Polstrecken gleich gerichtet, so ist die Übersetzung **positiv „Gleichlauf“**.

Sind die Polstrecken entgegengesetzt gerichtet, so ist die Übersetzung **negativ „Gegenlauf“**.



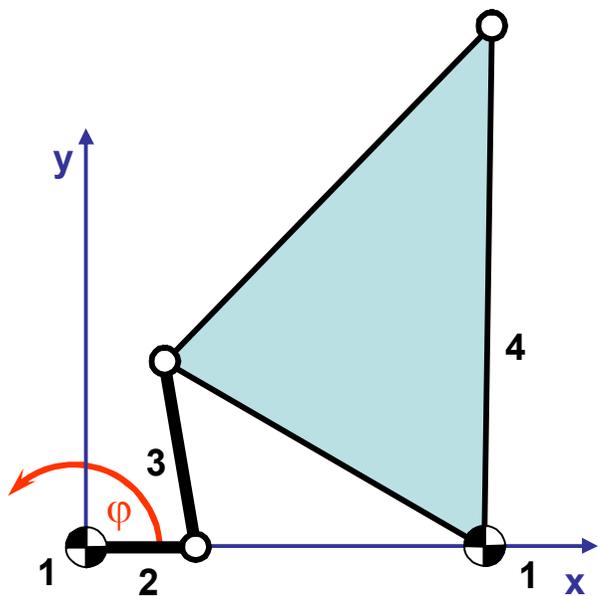
Das Auffinden der Pole erfolgt auf der Grundlage des Satzes von den 3 Momentanpolen (Theorem von Aronhold – Kennedy)

Die bei der Bewegung dreier Ebenen auftretenden **3 Momentanpole liegen auf einer Geraden**.

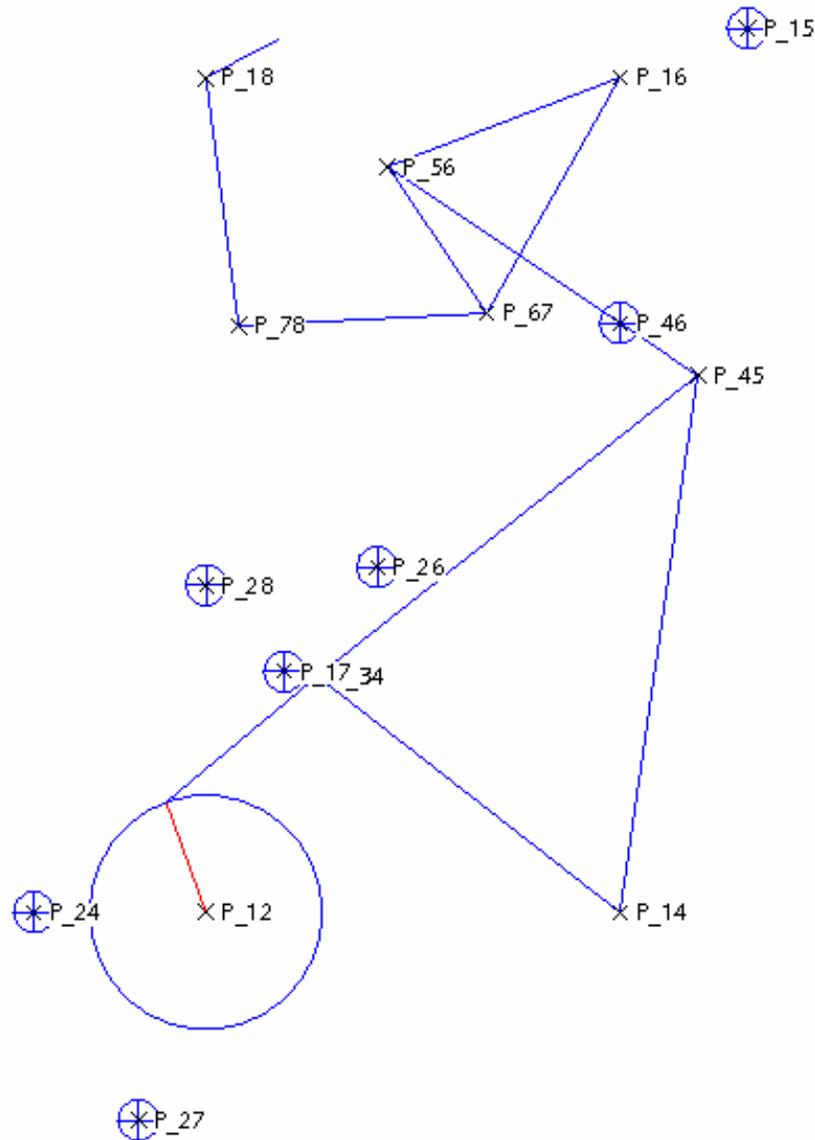
Die Anzahl der Pole in einem n-gliedrigen Getriebe wird bestimmt aus:

$$z = \binom{n}{2} = \frac{n}{2}(n-1)$$

Ein gesuchter Pol, der nicht als Gelenk ausgebildet ist, lässt sich als Schnittpunkt zweier Polgeraden, einer Polgeraden und einer Kurvengelenknormalen oder zweier Kurvengelenknormalen konstruieren.



Kurbelschwinge als Grundgetriebe
eines Textilmaschinenantriebes



4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

bekannte Pole

- P_67
- P_56
- P_45
- P_16
- P_34
- P_14
- P_12
- P_78

konstruierte Pole

- Skizze 9
- P_24
- Skizze 8
- P_46
- DTM1
- Skizze 10
- P_15
- Skizze 11
- P_17
- Skizze 13
- P_26
- Skizze 14
- P_27
- Skizze 15
- P_28
- DTM2

Pole mit singulären Polkurven

- Skizze 12
- P_47
- Skizze 6
- P_68

Messung des Polabstandes

Sensitivitätsstudie

Sensitivität

Studenname
Name: SENS1

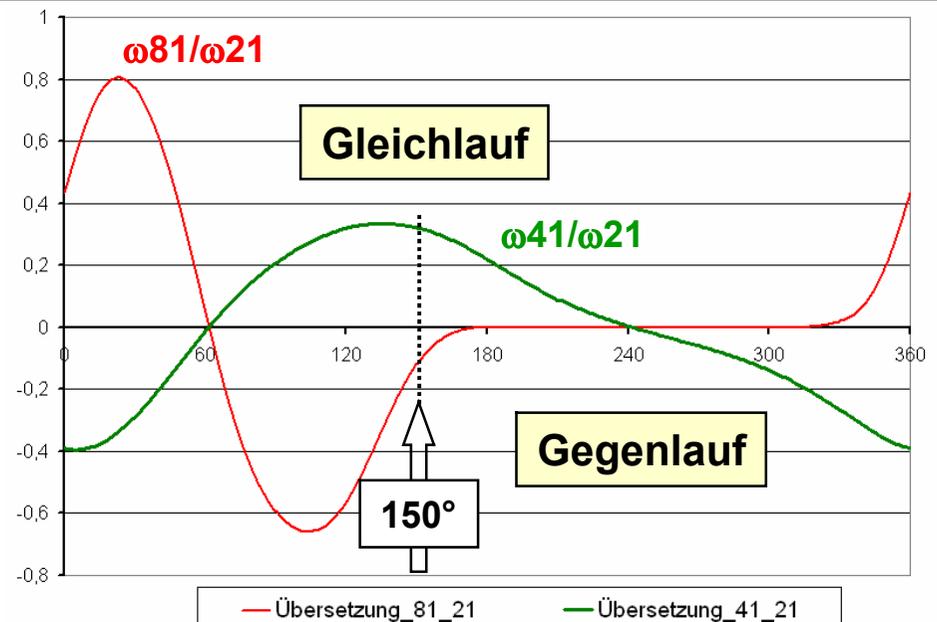
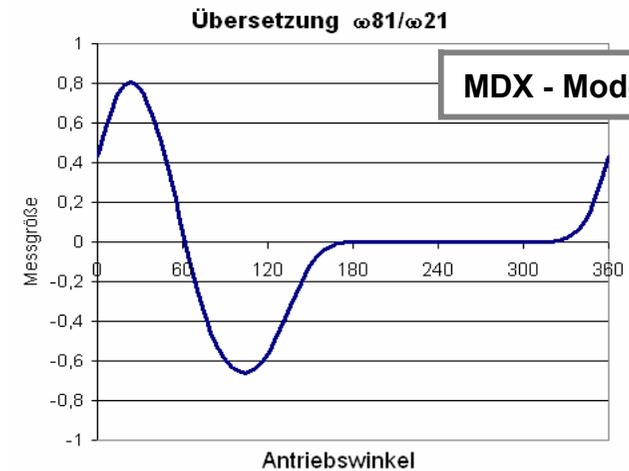
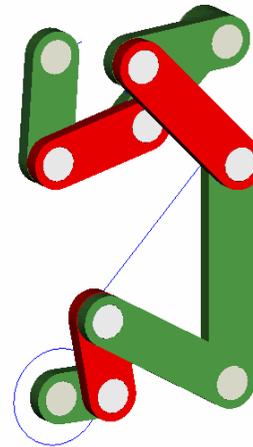
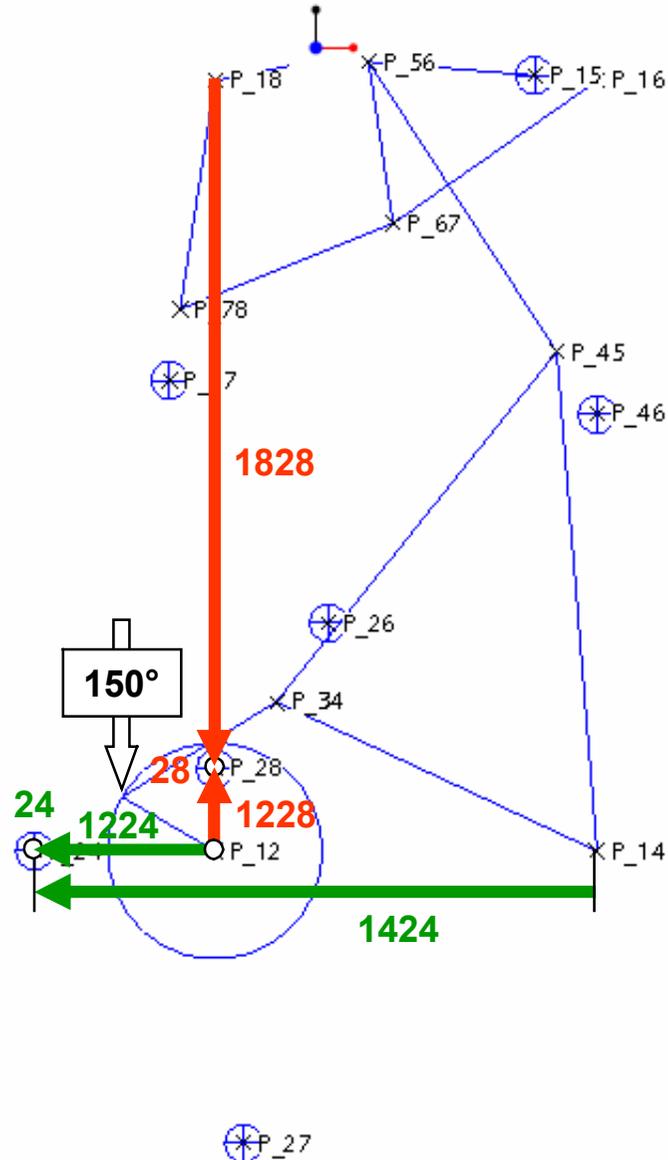
Variablenauswahl
Bemaßung Parameter
I59:RAST_8_KURVE_BMX_TEST

Variablenbereich
Minimum: 0.000000
Maximum: 360.000000

Zu plottende Parameter
DISTANCE:ANALYSIS1

Schritte: 360

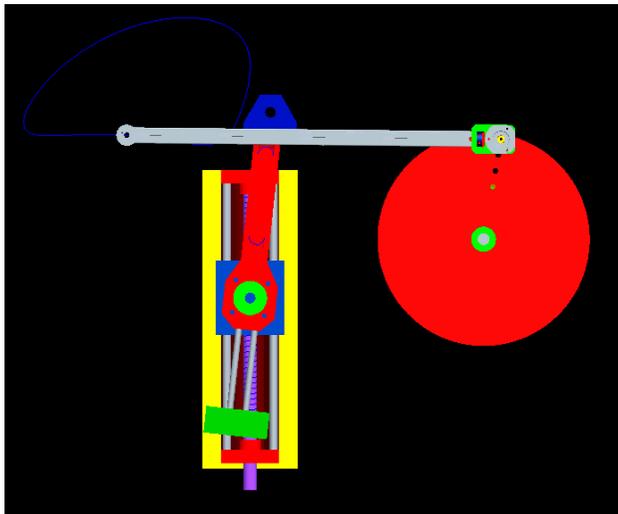
Berechnen Schließen



4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

- Entwurf ebener
Punktführungsgetriebe

Suche nach einer Startlösung:



CAD – Programm bietet hierbei keine
brauchbaren Funktionalitäten an.

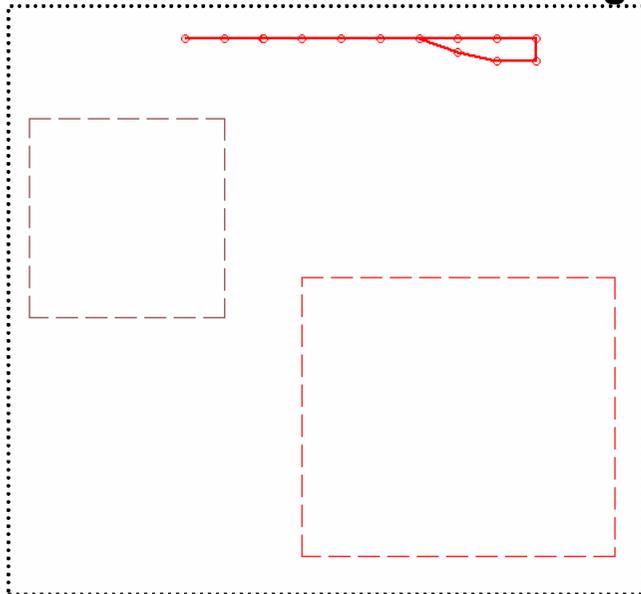


Digitaler **Koppelkurven** – **Atlas** der
Kurbelschwinge (Kopak)

4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

- Entwurf ebener Punktführungsgetriebe

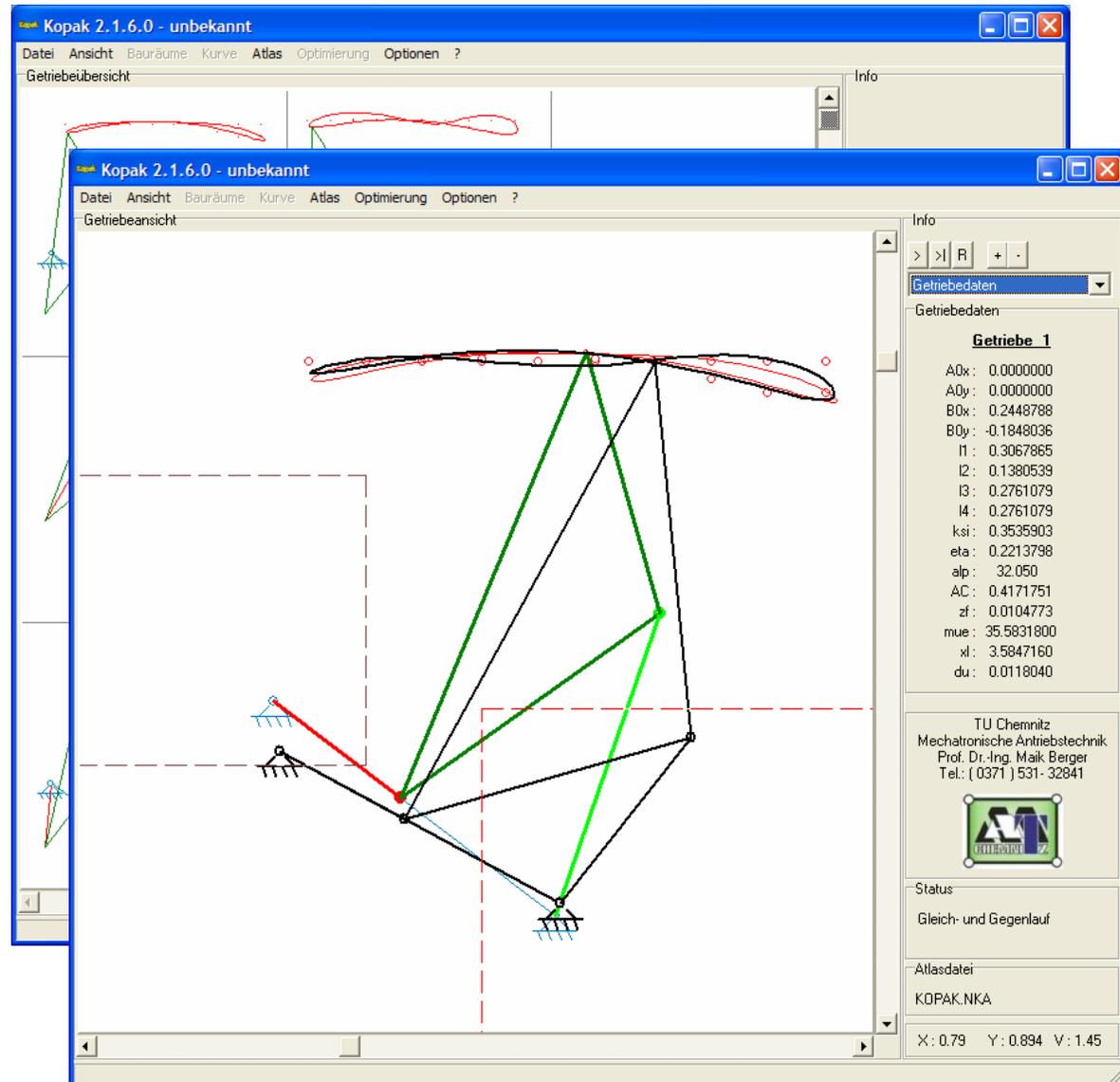
Suche nach einer Startlösung:

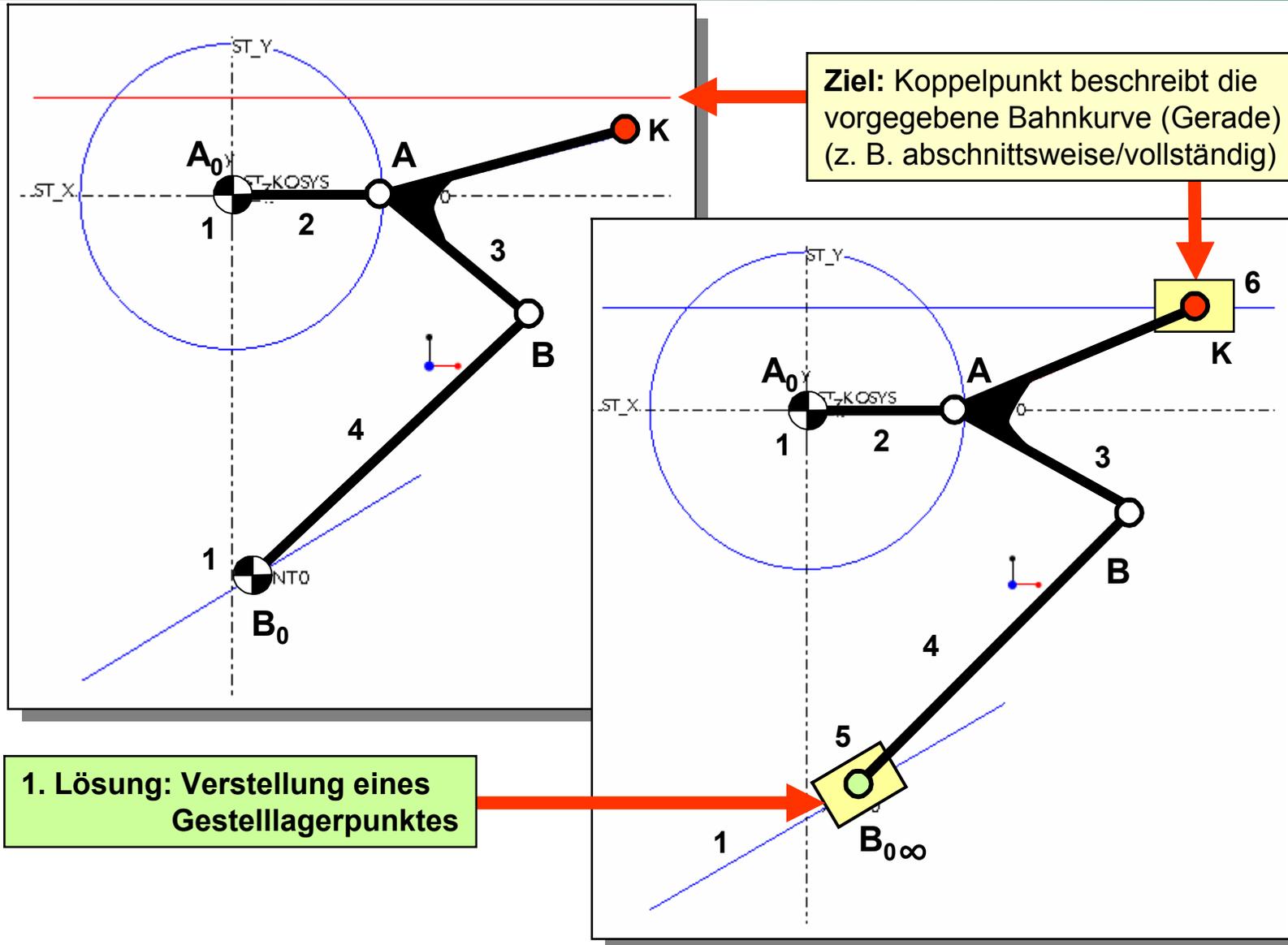


CAD – Programm bietet hierbei keine brauchbaren Funktionalitäten an.

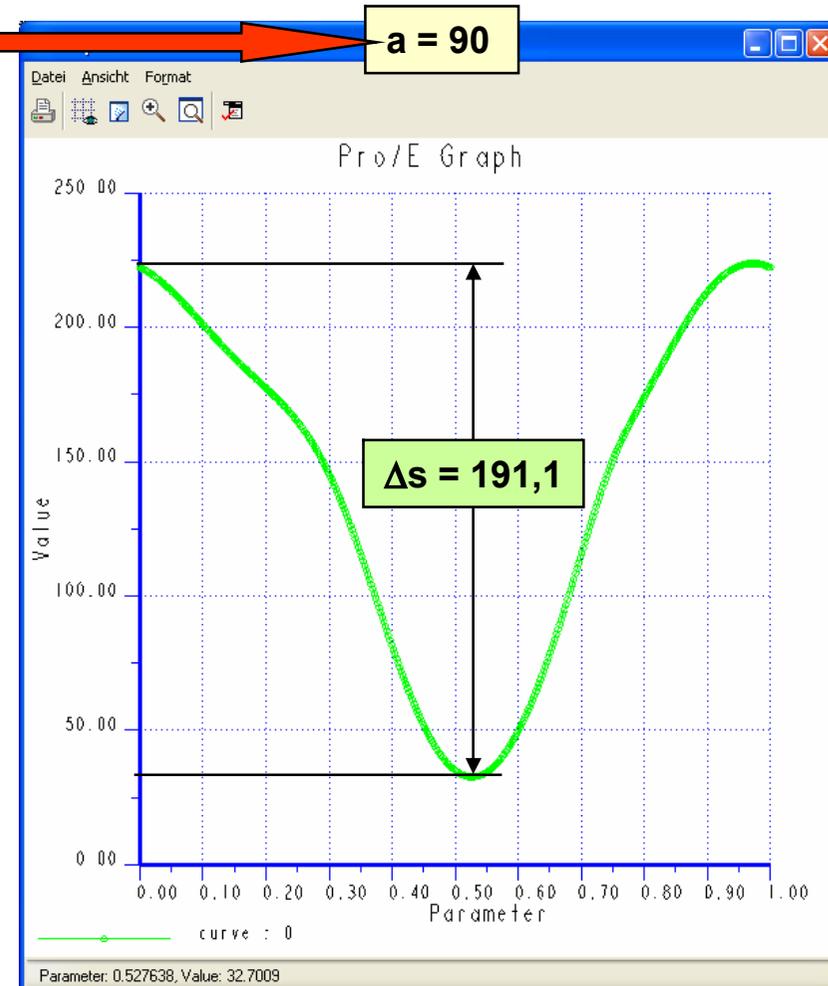
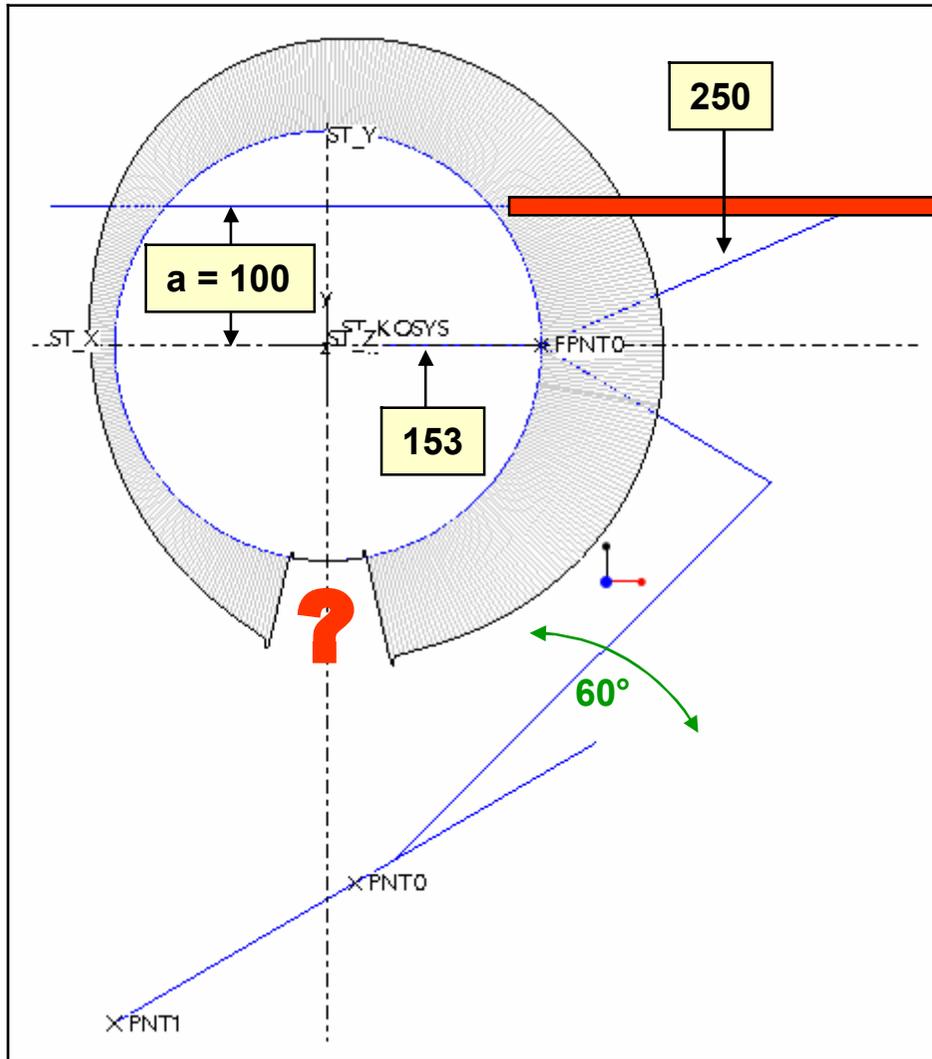


Digitaler **Koppelkurven** – **Atlas** der
Kurbelschwinge (Kopak)



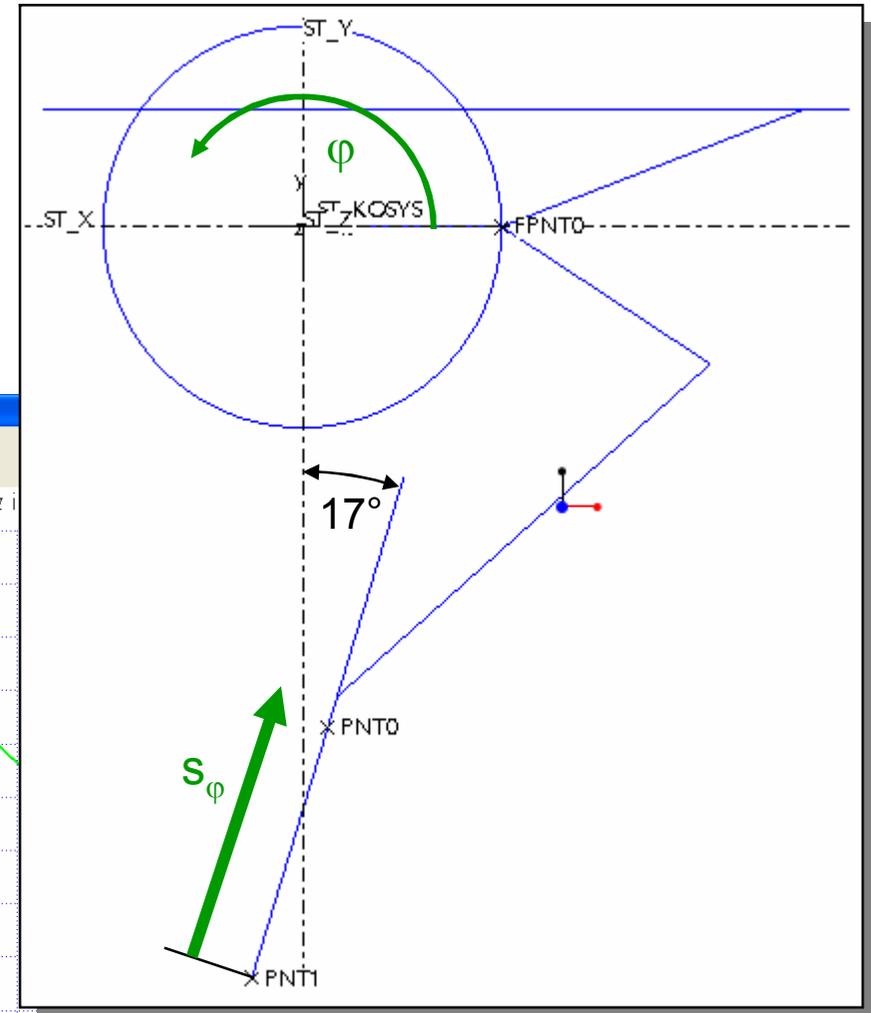
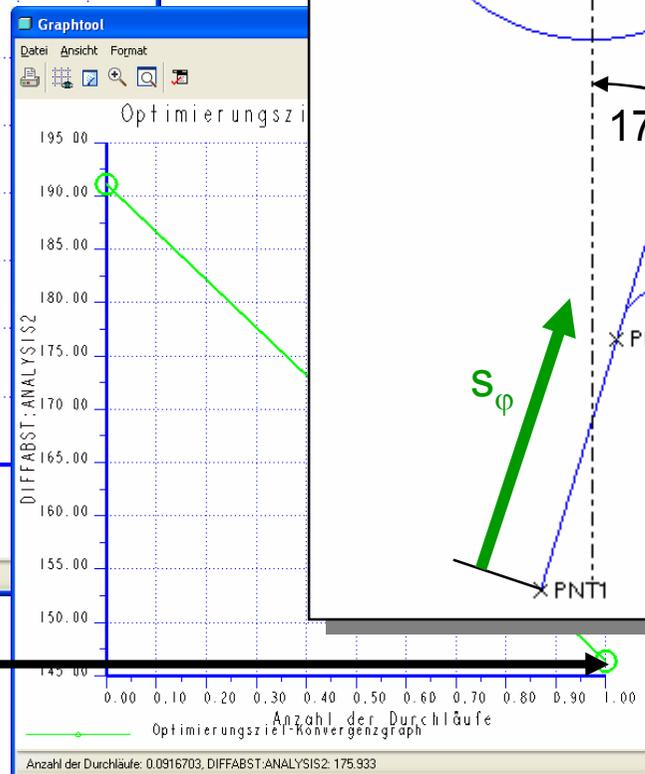
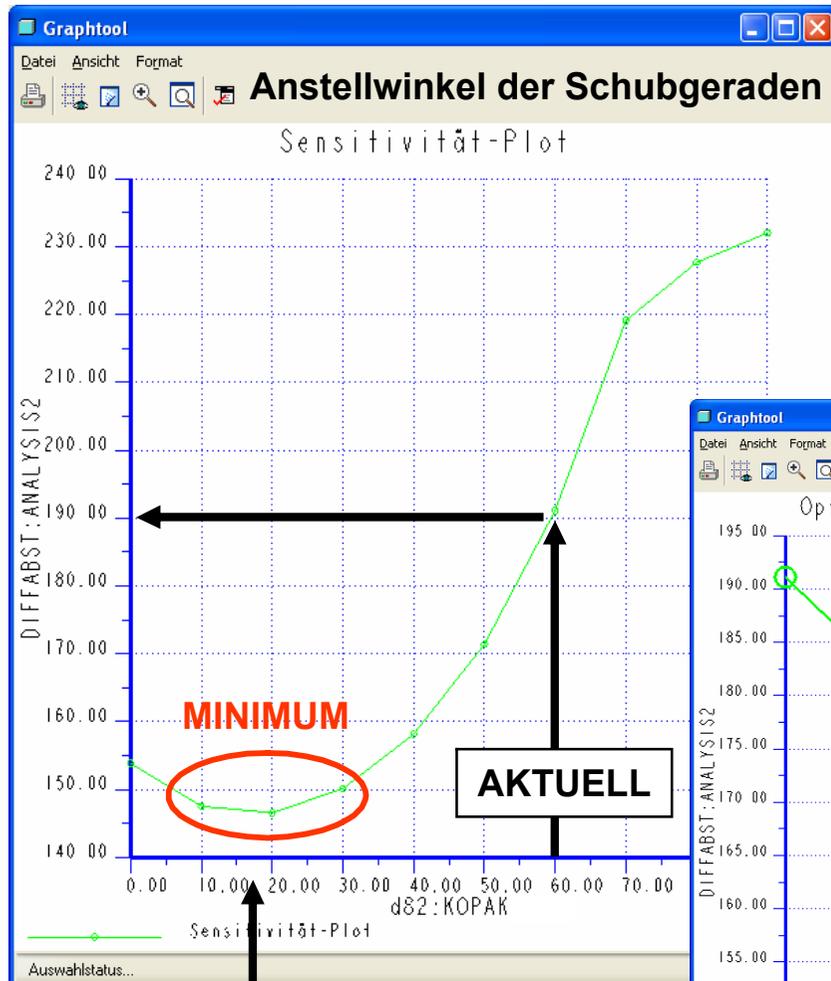


4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen

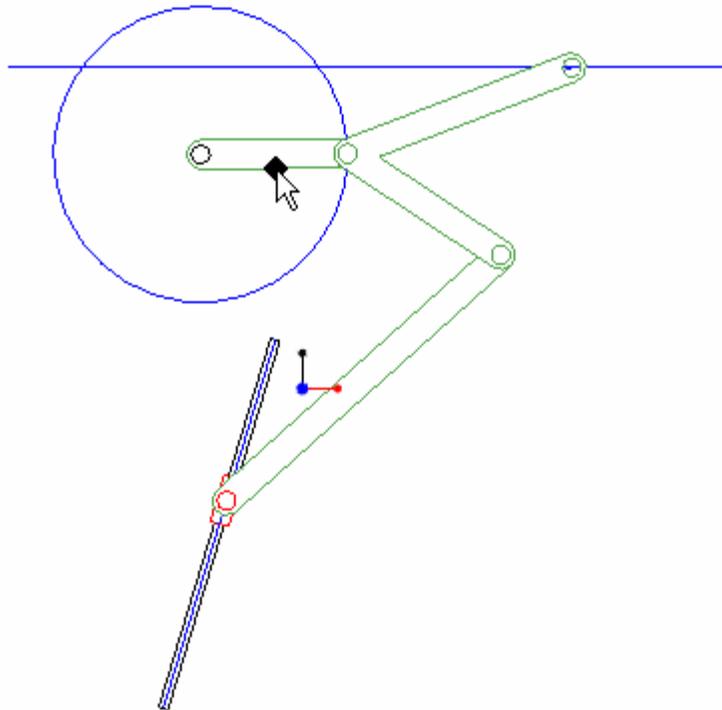


Parametrische Analyse kinematischer Kenngrößen

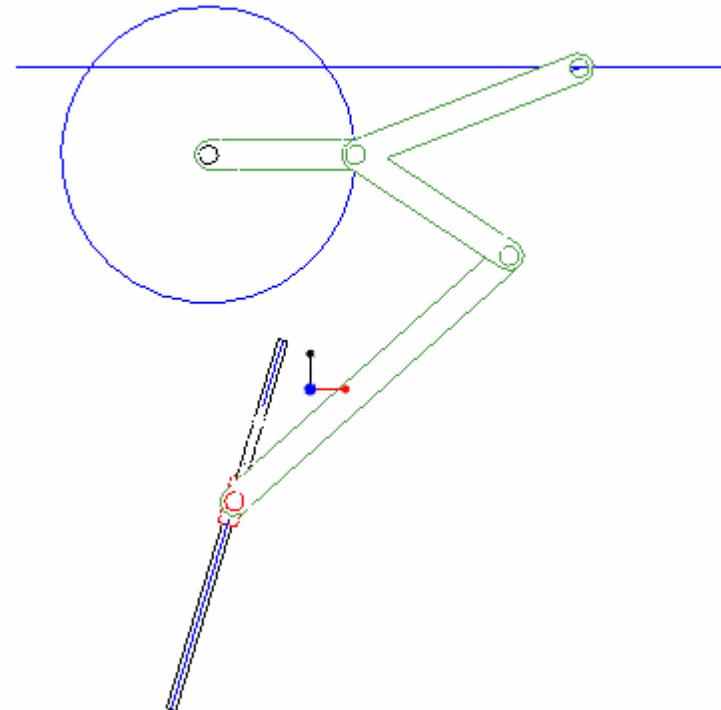
4 Beispiele für kinematische Aufgabenstellungen



Animation - Grundgetriebe



Animation - Verstellgetriebe



- Zur Auslegung **bewegungsoptimaler Mechanismen** ist i. A. ein
 - ▶ höherer Aufwand zur Ermittlung der kinematischen Abmessungen und
 - ▶ **getriebetechnisches Wissen / Einsatz spezieller Software** erforderlich.
- Die **ProE-Funktionalitäten „Benutzerdefinierte Analyse“, „Sensitivitätsanalyse“** und **„Optimierung“** sind sehr brauchbare Werkzeuge zur einfachen Synthese und Analyse von Mechanismen ohne Gelenkdefinitionen.
- Zur deren umfassenden Anwendung sind jedoch **Grundkenntnisse** zur Anwendung der **grafischen Lösungsverfahren** erforderlich. Dann können mittels **einfacher Kurvenskizzen** neben den Informationen zu kinematischen Parametern auch die auf dem Leistungssatz basierenden Aussagen zu Kraft- und Momentenverläufen gewonnen werden.
- Durch die neuen **Möglichkeiten des Datenaustauschs mit Mathcad** können umfangreiche Berechnungen mit mathematischer Software erfolgen.
- Die Parameterdefinitionen und Austauschmöglichkeiten sind jedoch noch nicht effizient nutzbar und für kleinere Projekte u. U. sehr zeitintensiv.



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**