



universitätsverlag
ilmenau

Prause, Isabel; Kurtenbach, Stefan; Weigel, Chantal; Hüsing, Mathias; Corves, Burkhard:

Vergleich von dynamisch-interaktiver Geometriesoftware für die Maßsynthese von ebenen Getrieben

URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2013100033-039-5

URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2013100033-039-5>

Erschienen in:

10. Kolloquium Getriebetechnik : Technische Universität Ilmenau, 11. - 13. September 2013. - Ilmenau : Univ.-Verl. Ilmenau, 2013. - S. 39-56.
(Berichte der Ilmenauer Mechanismentechnik ; 2)

ISSN: 2194-9476

ISBN: 978-3-86360-065-5 [Druckausgabe]

URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2013100033

URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2013100033>

VERGLEICH VON DYNAMISCH-INTERAKTIVER GEOMETRIESOFTWARE FÜR DIE MASSSYNTHESE VON EBENEN GETRIEBEN

Isabel Prause, Stefan Kurtenbach*, Chantal Weigel*,
Mathias Hüsing*, Burkhard Corves**

* Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen,
Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik (IGM)

Abstract

Die Nutzung von dynamisch-interaktiver Geometriesoftware im Rahmen der Getriebeentwicklung ist noch nicht fester Bestandteil der Konstruktors-Praxis, obwohl solche Programme bereits in einem sehr frühen Stadium der Entwicklung eingesetzt werden können. Da es eine Vielzahl von Geometrie-Programmen mit großen Unterschieden bezüglich der Verwendung von Syntheseverfahren, der grafischen Benutzeroberflächen oder auch der Benutzerfreundlichkeit gibt, wird in diesem Beitrag ein objektiver Vergleich von Getriebesoftware vorgestellt. Schlussendlich wird eine Empfehlung gegeben, welche Getriebesoftware effizient für die Lösung einer bestimmten Syntheseaufgabe im Rahmen der Getriebeentwicklung genutzt werden kann.

Using dynamic-interactive geometry software within the process of mechanism development has not become common practice, although this software can be applied in an early stage of mechanism development. Available nowadays is a huge number of software differing from the implementable dimensional synthesis procedure, the graphic user interface and the user-friendliness. Thus, an impartial comparison of dynamic-interactive geometry software can be carried out. Finally, a recommendation linking software with a certain synthesis procedure is published.

1 Einführung

Dynamische Geometriesoftware bietet vielfältige Möglichkeiten für die Synthese und Analyse von Getrieben und Mechanismen. Sie stellt eine effiziente Alternative zu analytischen und numerischen Berechnungsverfahren dar. Zudem eröffnen sich Möglichkeiten, die sich bei der Synthese auf Papier nicht ergeben. Dementsprechend verschieden sind auch die jeweils zur Verfügung stehenden Funktionen. Allen Programmen ist dabei gemein, dass sie einen hohen Abstraktionsgrad für Getriebe und Mechanismen aufweisen.

Im Stand der Technik (Kapitel 2) werden Programme in verschiedene Gruppen eingeteilt und vorgestellt. Die Unterschiede und Gemeinsamkeiten werden hier herausgearbeitet und gegenübergestellt. Berücksichtigung finden dabei auch verschiedene Getriebearten, welche mit Hilfe der jeweiligen Software synthetisiert werden können. Es werden spezifische Eigenschaften verschiedener Programme aufgezählt, welche sie von anderen Programmen unterscheiden.

Anhand des Vergleichs im Stand der Technik werden Programmgruppen ausgewählt, die sich besonders zur Synthese von Getrieben und Mechanismen eignen. Hierbei spielen die Anwenderfreundlichkeit und das Betriebssystem eine Rolle. Die Auswahlkriterien und die ausgewählten Programmgruppen werden vorgestellt und näher beschrieben. Zu Vergleichszwecken wird den Geometrieprogrammen ein Getriebeanalyseprogramm gegenüber gestellt

Anschließend werden verschiedene Syntheseverfahren [1, 2] vorgestellt und erläutert (Kapitel 3). Diese Verfahren werden im Folgenden zur Bewertung der Geometrieprogramme verwendet, so dass Möglichkeiten und Grenzen hinsichtlich der Getriebesynthese bestimmt werden können (Kapitel 4). Im Einzelnen werden gängige Syntheseverfahren der Getriebetechnik in dem ausgewählten Programm umgesetzt, um Vor- und Nachteile aufzeigen zu können. An dieser Stelle ergeben sich ebenfalls Erkenntnisse hinsichtlich der Verwendbarkeit der verschiedenen Software für unterschiedliche Getriebearten.

Abschließend wird ein Vergleich der untersuchten Programme durchgeführt (Kapitel 5), indem die Ergebnisse der Untersuchungen tabellarisch ausgewertet werden. Daraus ergeben sich Empfehlungen für die Nutzung von Programmen, um beispielsweise bisher schwierig oder nicht geometrisch-

dynamisch synthetisierbare Getriebearten mit Hilfe von Software für Studenten in der Lehre zugänglich zu machen.

Ziel dieses Beitrags ist daher die Analyse und Bewertung von Geometriesoftware zur Synthese von Mechanismen und Getrieben. Als eine Referenz wird hierzu die derzeit am IGM genutzte dynamische Geometriesoftware *Cinderella* genutzt. Momentan sind beispielsweise Kurven- und Rädergetriebe mit dynamischer Geometriesoftware nicht oder nur teilweise synthetisierbar. Auch sorgen manche Eigenheiten spezieller Programme für Probleme im Lösungsprozess. Es soll aufgezeigt werden, welche Programme weniger fehleranfällig sind bzw. ob es Programme gibt, bei denen anfängliche Fehler unter Umständen im Nachhinein korrigiert werden können, um den Lösungsprozess weniger zeitaufwändig gestalten zu können. Damit werden Optimierungspotentiale hinsichtlich Funktionalität, Benutzerfreundlichkeit und allgemeiner Anwendbarkeit herausgestellt.

2 Stand der Technik

In diesem Kapitel wird ein Überblick über derzeit verfügbare, dynamische Geometriesoftware gegeben. Die meisten Programme bieten eine interaktive Modellaktualisierung, mit deren Hilfe die Auswirkungen von Veränderungen einer Konstruktion analysiert werden können. So können die vorgestellten Programme bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung, insbesondere bei der Konzeptfindung, äußerst hilfreich sein. Hierzu wird eine Einteilung in verschiedene Gruppen, wie in Abb. 1 dargestellt, vorgenommen. Generell gibt es mittlerweile neben den 2D-Programmen bereits 3D-Programme sowie CAD-Systeme, mit denen ebenfalls Getriebe synthetisiert werden können [3, 4]. Dieses Paper beschränkt sich allerdings auf die Analyse von ebenen Getrieben mit Hilfe der 2D-Programme, die an unterschiedliche Zielgruppen gerichtet sind und zahlreiche Entwurfsmöglichkeiten bieten.

Gruppe A – Schulgeometriesoftware:

Eine recht große Anzahl der verfügbaren dynamischen Geometriesoftware wurde für den Gebrauch im Bereich der Schulmathematik entwickelt. Ziel dieser Software ist ursprünglich, Schülern und auch Studenten einen anderen Zugang zu Geometrie zu verschaffen als es der Umgang mit Papier, Zirkel und Lineal erlaubt. Parameter können verändert und deren Auswirkungen auf die Konstruktion direkt erfahren, Elemente einer Konstruktion mit

der Maus angefasst und bewegt, sowie Geometrieanimationen durchgeführt werden.

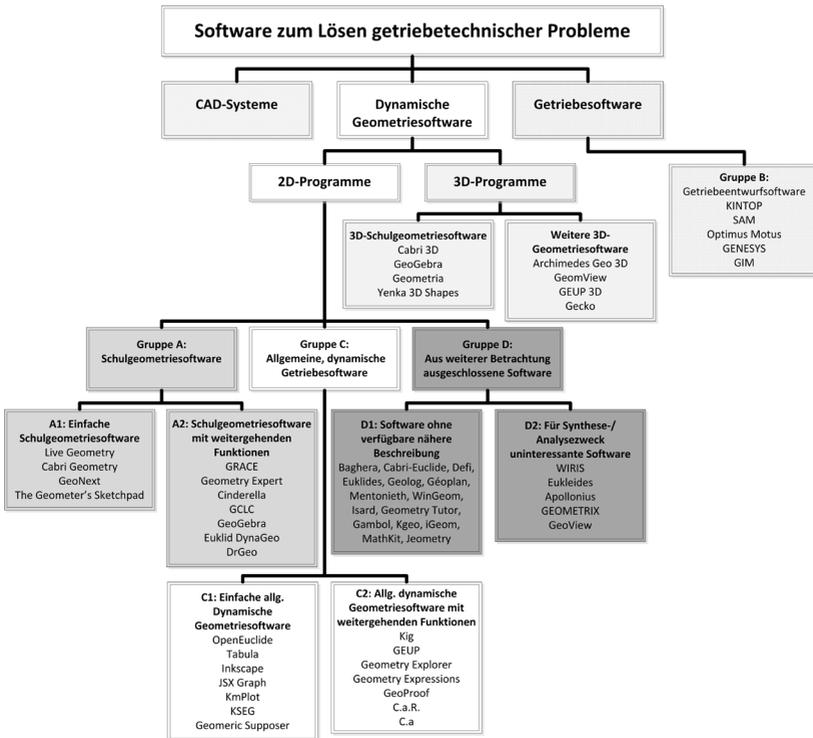


Abb. 1: Einteilung der Getriebesoftware in unterschiedliche Gruppen

Die verschiedenen Programme werden als Möglichkeit beworben, ein tiefergehendes Verständnis für Geometrie zu eröffnen. Die Benutzeroberfläche wird überwiegend als intuitiv und einfach zu bedienen beschrieben.

Gruppe A1 – Einfache Schulgeometriesoftware:

Diese Software bietet die Möglichkeit, interaktive und dynamische Zirkel- und Linealkonstruktionen zu erstellen und anschließend mit diesen zu experimentieren. Geometrische Figuren aktiv und interaktiv konstruieren und manipulieren zu können (zum Beispiel durch Transformationen und vielfältige nachträgliche Variation und dynamische Veränderung), ermöglicht es, geometrische Probleme zu visualisieren und zu lösen. Es wird ebenfalls

Wert auf eine intuitiv benutzbare Oberfläche gelegt. Abb. 2 zeigt das Beispielprogramm dieser Gruppe.

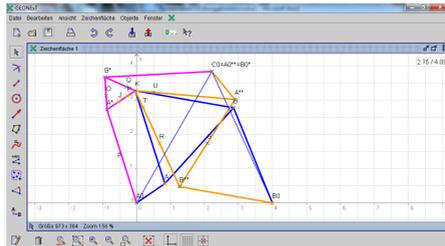


Abb. 2: Beispielprogramm der Gruppe A1 (GEONExT [5])

Gruppe A2 – Schulgeometriesoftware mit weitergehenden Funktionen:

Die an dieser Stelle vorgestellte Software besitzt Funktionen, welche über bloße Zirkel- und Linealkonstruktionen hinausgehen.

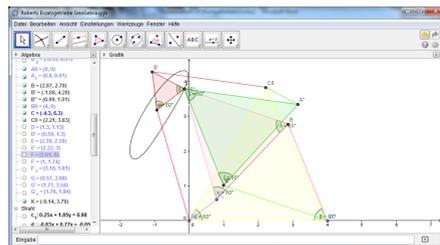


Abb. 3: Beispielprogramm der Gruppe A2 (GeoGebra [6])

Verschiedenste geometrische Konstruktionen wie z.B. **Ersatzgetriebe nach ROBERTS** und eine anschließende interaktive Manipulation können durchgeführt werden. Diese Möglichkeit des interaktiven Arbeitens lässt den Benutzer Experimente mit mathematischen Prinzipien der Schulgeometrie durchführen. Die Verwendung von Farben wird von den meisten Programmen ermöglicht, was eine höhere Übersichtlichkeit, insbesondere von komplexeren Konstruktionen, gewährleistet.

Gruppe B – Getriebeentwurfssoftware:

Getriebeentwurfssoftware wurde im Gegensatz zu den Geometrieprogrammen gezielt für den Getriebeentwurf entwickelt und bietet dementsprechend starke Analysefunktionen aber auch Synthesemöglichkeiten, wie beispielsweise den in Abb. 4 dargestellten Wizard zur Drei-Lagen-Synthese im Beispielprogramm SAM, welches im folgenden Programmvergleich aufgeführt

wird. Die Durchführung des Satzes von Roberts, wie beispielhaft in Abb. 2 und 3 für zwei Programme dargestellt, ist mit SAM nicht möglich. Eine besonders interessante und flexible Vorgehensweise bietet das Programm Genesis anhand der Methodik Bearbeitungsstrategie [7]. Da die Gruppe der Getriebeentwurfsoftware in Bezug auf die Synthese vergleichsweise speziell zugeschnittene Verfahren anbietet, wird diese Gruppe wie in Abb. 1 dargestellt gesondert betrachtet.

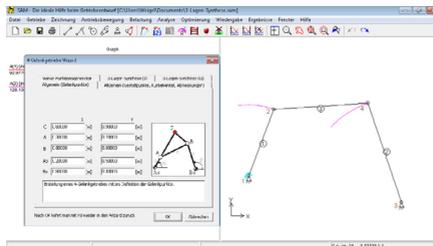


Abb. 4: Beispielprogramm der Gruppe B (SAM [8])

Im Vergleich zu der Software der vorangegangenen Gruppen gibt es keine Geometriewerkzeuge sondern Getriebegliedwerkzeuge oder Lagerwerkzeuge zur Auswahl von Festlagern oder Schiebern.

Gruppe C – Allgemeine dynamische Geometriesoftware:

In dieser Gruppe finden sich Programme, die - im Gegensatz zur Schulgeometriesoftware (Gruppe A) - keine spezifische Zielgruppe als Entwicklungshintergrund aufweisen. Dennoch lassen sich gewisse Parallelen zu Programmen der Gruppe A feststellen. Das Grundprinzip der dynamisch erlebaren Geometrie liegt allen Programmen zugrunde. Auch in dieser Gruppe ist die Einteilung in einfache Geometriesoftware und solche mit weitergehenden Funktionen sinnvoll.

Gruppe C1 – Einfache allgemeine dynamische Geometriesoftware:

Die dieser Gruppe zuzuordnende Software hat Ähnlichkeiten mit der Gruppe A1 und bietet Grundfunktionen zur Erstellung geometrischer Funktionen, welche jedoch grundlegender und zum Teil einfacher sind als die anderer Gruppen. Ein Screenshot der dieser Gruppe zugehörigen Beispielssoftware *OpenEuclide* ist in Abb. 5 dargestellt.

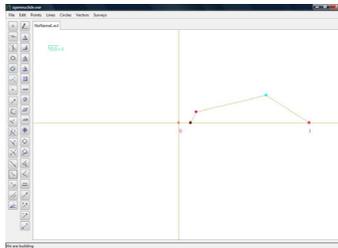


Abb. 5: Beispielprogramm der Gruppe C1 (*OpenEuclid* [9])

Gruppe C2 – Allgemeine dynamische Geometriesoftware mit weitergehenden Funktionen:

Die Grundfunktionen dieser Gruppe sind denen der Gruppe A2 ähnlich. Objektattribute wie Farbe, Stil, Breite oder Sichtbarkeit können beispielsweise zur Erhöhung der Übersichtlichkeit verändert werden. Die Zoomfunktion ermöglicht es, Details näher zu betrachten, während unbegrenztes Wiederholen bzw. Rückgängig machen zur Benutzerfreundlichkeit beiträgt. Auch die Verwendung von Makros kann komplexere Konstruktionen wesentlich vereinfachen. Die Möglichkeit der visuellen Modifizierung von Konstruktionen direkt auf dem Bildschirm bietet die gewünschte Interaktivität. Die Abb. 6 zeigt hierzu die Umsetzung des Verfahrens nach ROBERTS in dem dieser Gruppe zugehörigen Beispielprogramm *Zirkel und Lineal*.

Gruppe D – Aus weiterer Betrachtung ausgeschlossene Software:

In diesem Kapitel sind dynamische Geometrieprogramme zusammengestellt, welche für die weitere Betrachtung im Rahmen dieses Beitrags uninteressant sind. Die Gründe hierfür liegen zum einen darin, dass wenig bis gar keine Informationen zu diesen Programmen zur Verfügung stehen (Gruppe D1), zum anderen an der Ausrichtung der Programme (Gruppe D2, beispielsweise Rechenprogramm bzw. Formeleditor oder primär pädagogische Vorgehensweise), welche sie für die Benutzung zur Getriebe- und Mechanismenanalyse bzw. –synthese uninteressant macht.

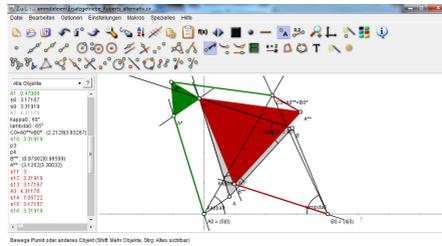


Abb. 6: Beispielprogramm der Gruppe C2 (Zirkel und Lineal [10])

Tab. 1 zeigt einen Vergleich der zur näheren Untersuchung ausgewählten Programme der Gruppen A, B und C. Dabei werden grundsätzliche Eigenschaften und Funktionen der Programme gegenübergestellt. Ein „-“ bedeutet, dass zu diesem Punkt keine Informationen vorliegen. Die Verfügbarkeit des Quellcodes für ein Programm macht dieses einfach erweiterbar und eröffnet so weitere Anwendungsmöglichkeiten.

Tab. 1: Vergleich der Referenzprogramme hinsichtlich der Funktionen

Programm	Zugmodus	Messungen	Koppelkurven	Animationen	Farbvariation	Beschriftungen	Inkl. Quellcode	Importmög.	Exportmög.	Betriebssystem
A1: GEONExT	+	+	+	+	+	+	k.A.	*.geo	*.html	Alle
A2: GeoGebra	+	+	+	+	+	+	+	*.ggb	*.html	Alle
B: SAM	+	+	+	+	+	+	k.A.	*.sam, *.dxf, *.txt	*.sam, *.dxf, *.txt	Windows
C1: OpenEuclide	-	-	-	-	-	-	k.A.	k.A.	*.png	Windows GNU
C2: Zirkel und Lineal	+	-	+	+	+	+	+	*.zir, *.job, *.zirz, *.jobz	*.html, *.png, *.eps, *.pdf, *.svg, *.fig	Java
Cinderella (A2) [11]	+	+	+	+	+	+	0	*.cdr	*.html, *.jpeg, *.png, *.pdf	Alle

3 Beschreibung relevanter Syntheseverfahren

Die Beschreibung der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Syntheseverfahren kann nach der Getriebeart in diejenigen für Kurbelgetriebe, für Kurvengetriebe und für Rädergetriebe unterteilt werden.

Kurbelgetriebe

Als erste Getriebeart wird hier das Kurbelgetriebe behandelt, für welches zugleich die größte Anzahl an Syntheseverfahren zur Verfügung steht.

In manchen Programmen ist es möglich, **Koppelkurven** oder **Krümmungsmittelpunkte** direkt anzeigen zu lassen. In anderen Programmen ist eine manuelle Konstruktion durchzuführen, deren Aufwand unterschiedlich hoch sein kann.

Die **Drei-Lagen-Synthese** ermöglicht es, Getriebe zu synthetisieren, welche drei definierte Lagen durchfahren sollen. Dies kann für verschiedene Anwendungen von Nöten sein. Daher muss überprüft werden, ob die verschiedenen Programme die für die Drei-Lagen-Synthese notwendigen Werkzeuge enthalten und wie hoch der mit der Durchführung der Synthese verbundene Aufwand ist.

Der **Satz von ROBERTS** ermöglicht die Konstruktion zweier Ersatzgetriebe für ein viergliedriges Kurbelgetriebe, welche die gleiche Koppelkurve zu erzeugen vermögen. Um die Synthese dieser ROBERTS'schen Ersatzgetriebe mit Hilfe dynamischer Geometriesoftware realisieren zu können, bedarf es einer Möglichkeit, Winkel zu übertragen sowie Parallelen zu ziehen.

Wenn ein Getriebe sich in einer Totlage befindet, kehrt sich die Bewegung des Abtriebsgliedes um, während sich das Antriebsglied stetig weiterbewegt. Die Ermittlung der kinematischen Parameter unter Beachtung gewisser Randbedingungen ist mit Hilfe der **klassischen Totlagensynthese** oder der **ALT'schen Totlagensynthese** möglich. Beide Verfahren eignen sich jeweils für bestimmte Kombinationen bekannter bzw. unbekannter Größen. Als benötigte Konstruktionselemente sind für die Totlagensynthese insbesondere Winkelwerkzeuge zum Abtragen fester Winkel nötig, außerdem muss die Möglichkeit zur Konstruktion von Mittelsenkrechten gegeben sein. Außerdem müssen Schnittpunkte erstellt und Kreise sowie Geraden durch Punkte erzeugt werden können.

Kurvengetriebe

Aus dem Bereich der Kurvengetriebe wird die Ermittlung der **Führungs- und Arbeitskurve** vorgestellt. Dieses Verfahren dient der Synthese der Kurvenscheibenkontur zur Realisierung der Übertragungsfunktion eines Kurvengetriebes.

Rädergetriebe

Die letzte an dieser Stelle behandelte Getriebeart ist das Rädergetriebe. Das hierzu zur Verfügung stehende Syntheseverfahren dient der Erzeugung von Ersatzrädergetrieben. Aus verschiedenen Gründen kann es erforderlich sein, dass zu einem vorhandenen Rädergetriebe ein **Ersatzrädergetriebe** benötigt wird, welches die Erzeugung der gleichen Zykloide ermöglicht. Hierzu gibt es die Möglichkeit, zwei verschiedene viergliedrige Ersatzrädergetriebe zu synthetisieren. Grundlage hierfür ist die Bestimmung von Relativpolen sowie die Erzeugung von Parallelen, Kreisen und Geraden durch bestimmte Punkte und Schnittpunkte.

4 Analyse der Referenzprogramme

Die Anwendbarkeit verschiedener Syntheseverfahren der Getriebetechnik mit Hilfe der ausgewählten dynamischen Geometriesoftware (siehe Tab. 1) sowie des Programms SAM soll nun analysiert werden. Die zuvor erwähnten Syntheseverfahren werden beispielhaft anhand von *GeoGebra* dargestellt. Dabei wird jeweils ein Vergleich zu den anderen Programmen gezogen.

Krümmungsmittelpunkte lassen sich in *GeoGebra* nicht automatisch erzeugen. Allerdings kann die Konstruktion mit Hilfe des **Satzes von BOBILLIER** zügig und problemlos, wie in Abb. 7 dargestellt, durchgeführt werden.

Als klassisches Getriebeanalyseprogramm bietet das Programm SAM die automatische Berechnung von Krümmungsmittelpunkten bzw. Krümmungsmittelpunktbahnen. Die Konstruktion von Krümmungsmittelpunkten ist in *GEONExT* und *Cinderella* aufwändiger als in *GeoGebra*, in *Zirkel und Lineal* etwa gleich gut durchführbar wie in *GeoGebra* und in *OpenEuclide* nicht umsetzbar. Als Gründe dafür sind eine fehlende Maus-integrierte Zoom und Pan-Funktion, sowie eine aufwändigere Winkelübertragung zu nennen (insbesondere bei *Cinderella*, *GEONExT*).

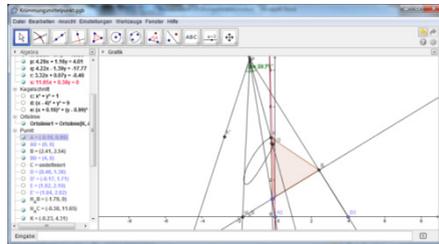


Abb. 7: Krümmungsmittelpunktkonstruktion in *GeoGebra*

Die **Drei-Lagen-Synthese** (hier beispielhaft für drei Punkte einer Übertragungsfunktion) lässt sich in *GeoGebra* schnell und einfach umsetzen. Einmal ausgemessene Winkel können unter Angabe des Winkelnamens erneut abgetragen werden. Dies verringert die Fehleranfälligkeit und beschleunigt die Arbeit. Außerdem gibt es ein Werkzeug zur Erstellung von Mittelsenkrechten, sodass die Konstruktionsschritte der Verbindung zweier Punkte und der Bestimmung des Mittelpunktes vor der Erstellung der Senkrechten im Mittelpunkt entfallen. Dadurch sind weniger Konstruktionselemente nötig, wie in Abb. 8 zu sehen, wodurch die Übersichtlichkeit verbessert wird.

In *GEONExT*, *Zirkel und Lineal* sowie *Cinderella* ist die Drei-Lagen-Synthese mit mehr Aufwand verbunden als in *GeoGebra*, da dort hilfreiche Konstruktionswerkzeuge nicht zur Verfügung stehen (in *GEONExT* und *Cinderella* existiert keine in die Maus integrierte Zoom und Pan-Funktion, in *Zirkel und Lineal* ist die Winkelübertragung aufwendig). Je nach Aufgabenstellung bietet *SAM* eine automatische Drei-Lagen-Synthese. In einigen Fällen können Probleme der Drei-Lagen-Synthese in *SAM* jedoch leider nicht gelöst werden. Lösbar sind alle Probleme, bei denen für drei Lagen die exakten Koordinaten gegeben sind (entweder Gestell- oder Koppelgelenke). Sind allerdings nur Winkelvorgaben für die Lagen eines der Glieder vorhanden, so kann die Aufgabe mit *SAM* nicht gelöst werden. *OpenEuclide* bietet keine sinnvolle Möglichkeit zur Drei-Lagen-Synthese.

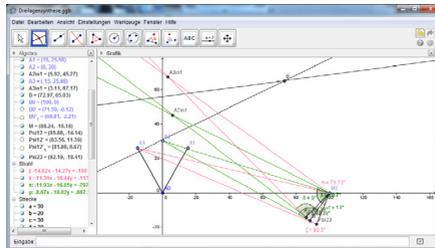


Abb. 8: Drei-Lagen-Synthese für drei Punkte einer Übertragungsfunktion in *GeoGebra*

Die Konstruktion beider **Ersatzgetriebe nach ROBERTS** lässt sich in *GeoGebra* im Vergleich zu *GEONExT* zügiger umsetzen und ist ebenso vollständig möglich. Auch die Variation von Farben und Liniendicken ist hier möglich.

Im linken Teil der Benutzeroberfläche von *GeoGebra*, siehe Abb. 3, sind sämtliche für die Konstruktion benutzten geometrischen Elemente, sortiert nach ihrer Art, aufgeführt. In dieser Aufzählung sind auch die abgetragenen Winkel κ und λ inklusive ihrer zahlenmäßigen Werte in Grad dargestellt, sodass sich ein Nachmessen der Winkel erübrigt. Dies beschleunigt die Konstruktion der Ersatzgetriebe und vermindert die Fehleranfälligkeit gegenüber manuellem Übertragen der jeweiligen Winkelgrößen.

GEONExT liegt in der Konstruktion der Ersatzgetriebe nach ROBERTS gleichauf mit *GeoGebra*, in *Zirkel und Lineal* ist die Konstruktion mit etwas mehr Aufwand (hinsichtlich Winkelübertragung, Abmessung der Winkel) als bei den vorherigen Programmen verbunden. *SAM*, *OpenEuclide* und *Cinderella* bieten keine oder nur sehr mäßige Eignung für dieses Verfahren, da hilfreiche Konstruktionselemente fehlen.

Die **ALT'sche Totlagensynthese**, wie das Beispiel in Abb. 9 zeigt, lässt sich in *GeoGebra* recht schnell und einfach durchführen. Die Winkel können als φ_H bzw. ψ_H bezeichnet werden, jedoch ohne den benötigten Faktor $\frac{1}{2}$ davor, die Winkelbezeichnungen können also keine Zahlen enthalten. Dieses Problem kann durch Ausschreiben der nötigen Zahlen gelöst werden, jedoch werden dadurch Winkelbezeichnungen in der Zeichnung sehr groß. Sämtliche andere Konstruktionselemente können frei so bezeichnet werden, wie es dem Benutzer beliebt.

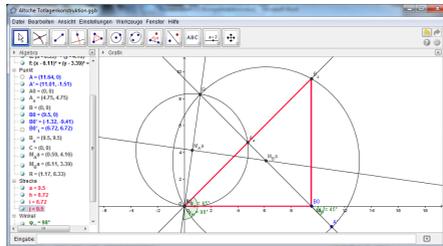


Abb. 9: Alt'sche Totlagenkonstruktion in GeoGebra

Die **klassische Totlagensynthese**, wie beispielhaft in Abb. 10 dargestellt, kann in *GeoGebra* ebenfalls ohne Probleme durchgeführt werden. Auch die Möglichkeit des schnellen Ein- und Ausblendens von Konstruktionselementen mit Hilfe der linken Spalte des Fensters gestaltet die Konstruktion übersichtlicher.

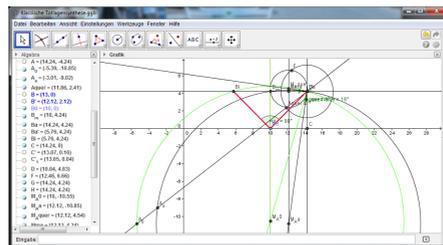


Abb. 10: Klassische Totlagenkonstruktion in GeoGebra

In der Durchführung der Totlagensynthese lassen sich sowohl *GeoGebra*, als auch *Zirkel und Lineal* als besonders gut geeignet nennen. Prinzipiell möglich, aber mit etwas mehr Aufwand verbunden ist die Durchführung der Verfahren in *GEONExT* und *Cinderella* (keine Mausfunktion für Zoom/Pan), während *SAM* und *OpenEuclide* vollkommen ungeeignet sind, da zum einen derartige Konstruktionen nicht vorgesehen sind und zum anderen auch die entsprechenden Konstruktionswerkzeuge fehlen.

Die Erstellung der **Führungs- und Arbeitskurve** bereitet den meisten Programmen Probleme, da keines der Programme speziell für die Entwicklung von Kurvengetrieben ausgelegt ist. Lediglich in *GeoGebra* ist eine solche Konstruktion auf Basis der Definition der Übertragungsfunktion möglich.

GeoGebra ermöglicht eine zügige und problemlose Konstruktion beider **Ersatzrädernetze**, wie das Beispiel in Abb. 11 zeigt. Dabei wird bei der

Konstruktion der Ersatzrädergetriebe zunächst von einer variablen Übersetzung ausgegangen.

Zirkel und Lineal sowie *GeoGebra* bieten eine zügige und einfache Konstruktion der Ersatzrädergetriebe, jedoch ist nur bei *GeoGebra* ein variables Übersetzungsverhältnis realisierbar. Mit Mehraufwand ist diese in *GEONExT*, *SAM* und *Cinderella* aufgrund der bereits erwähnten Schwachstellen bei der Bedienung verbunden. Lediglich *OpenEuclide* bietet keinerlei Möglichkeit zur Konstruktion von Ersatzradergetrieben, da die notwendigen Konstruktionselemente fehlen (z.B. Kreis mit festem Radius, Vektorpfeile).

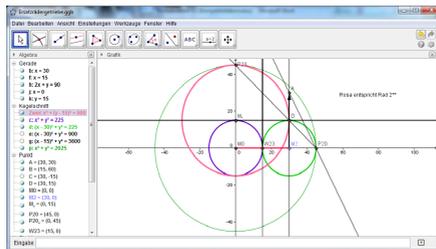


Abb. 11: Ersatzrädergetriebe in GeoGebra

5 Auswertung

Insgesamt zeigt sich, dass für die Anwendung getriebetechnischer Syntheseverfahren mit dynamischer Geometriesoftware einige Funktionen Voraussetzung für die grundsätzliche Eignung sind, während weitere eine herausragend gute Eignung oder Benutzerfreundlichkeit mit sich bringen.

So ist es beispielsweise sinnvoll, wenn Koordinaten bestimmter Punkte bzw. Strecken zwischen Punkten möglichst einfach ausgelesen bzw. ausgemessen werden können. Selbstverständlich werden auch Geraden- und Kreiswerkzeuge, sowie Werkzeuge zur Erstellung von Parallelen und Senkrechten benötigt. Beispielsweise ist es zur Totlagensynthese nötig, definierte Winkel ausmessen und abtragen bzw. übertragen zu können.

Das Ausblenden zur weiteren Konstruktion nicht mehr benötigter Konstruktionselemente trägt zur Übersichtlichkeit während der Konstruktion bei, ebenso wie eine möglichst freie Benennung der Konstruktionselemente. Neben dem Ausblenden nicht benötigter geometrischer Elemente hilft auch die Auswahl verschiedener Farben und Liniendicken bei der Übersichtlichkeit von Konstruktionen. Besonders angenehm wird die Benutzung von dynamischen

scher Geometriesoftware, wenn sowohl Zoom- als auch Pan-Funktionen direkt mit der Maus durchgeführt werden können. Von Vorteil ist ebenfalls eine Rückgängig-Funktion, mit deren Hilfe Fehler schnell revidiert werden können.

Zusammenfassend sind die beschriebenen und für die Getriebesynthese wichtigen Programmfunktionen in Tab. 2 aufgelistet.

Tab. 2: Wichtige Programmfunktionen

Programm	Auslesen von Koordinaten	Geraden-/Kreiswerkzeug	Parall. + Senkr.	Ausblendungsfunktion	Variation von Farben	Beschriftungen	Variation von Linienstärken	Zoomfunktion (mit Maus)	Panfunktion (mit Maus)	Rückgängigfunktion	Winkelübertragung ⁴⁾	Mittelsenkrechtenkonstr	Erstellung von Ortskurven
A1: GEONExT	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+
A2: GeoGebra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
B: SAM	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+
C1: OpenEuclide	+ ¹⁾	+	+ ¹⁾	-	-	-	+	- ²⁾	- ²⁾	- ³⁾	-	-	-
C2: Z.u.L.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
Cinderella (A2)	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+

1) nach Extrakonstruktion

2) überhaupt keine Zoom- oder Panfunktion vorhanden

3) theoretisch ja, aber es funktioniert nicht

4) direktes Abtragen von einmal erstellten Winkeln unter Benutzung des Winkelnamens

Im Folgenden soll nun ein Vergleich der Programme der verschiedenen Gruppen gezogen werden. Zur Veranschaulichung dient die Tab. 3, in welcher die jeweiligen Beispielprogramme der verschiedenen Gruppen aufgeführt sind, sowie die mit dem jeweiligen Programm möglichen Synthese- und Analyseverfahren. Dabei bedeutet „+“ eine besonders gute Eignung, „0“ steht dafür, dass das Verfahren möglich ist, aber nicht besonders einfach und „-“ steht für keine bzw. äußerst schlechte Eignung.

Die erste **Gruppe A1** (GEONExT) eignet sich prinzipiell für beinahe alle Verfahren, jedoch ausschließlich für die Ersatzgetriebe nach ROBERTS besonders gut. Die Eignung ist bei den übrigen Verfahren nicht außerordentlich gut, sondern eher normal bzw. mit erhöhtem Aufwand verbunden. Im Ver-

gleich zu *Cinderella* können die Programme als in etwa gleich gut geeignet bezeichnet werden.

Tab. 3: Vergleich dynamischer Geometrieprogramme und SAM

Programm	DREI-LAGEN-SYNTHESE	Ersatzgetriebe nach ROBERTS	Klassische/ALT'sche Totlagensynthese	Ermittlung der Führungs- und Arbeitskurve	Ersatzrädernetriebe
A1: <i>GEONExT</i>	0	+	0/0	-	0
A2: <i>GeoGebra</i>	+	+	+/+	+	+
B: <i>SAM</i>	+	-	-/-	-	0
C1: <i>OpenEuclide</i>	-	-	-/-	-	-
C2: <i>Zirkel und Lineal</i>	0	0	+/+	-	0
<i>Cinderella</i> (A2)	0	-	0/0	-	0

Gruppe A2 (*GeoGebra*) zeigt eine besonders gute Eignung für die beschriebenen Syntheseverfahren. Im Vergleich zu *Cinderella* ist *GeoGebra* sogar besser für getriebetechnische Zwecke geeignet.

Gruppe B (*SAM*) zeigt bei gewissen Verfahren starke Vorteile, während es bei anderen Verfahren nicht zum Einsatz kommen kann. Die Drei-Lagen-Synthese ist im Programm implementiert und lässt sich äußerst zügig und einfach umsetzen. Dem gegenüber sind die Synthese von Ersatzgetrieben nach ROBERTS, die klassische sowie die ALT'sche Totlagensynthese, sowie das Verfahren nach FLOCKE mit Hilfe dieser Software nicht umsetzbar, da nicht programmiert. Auch die Synthese von Ersatzrädernetrieben ist zwar teilweise einfach, jedoch nicht vollständig möglich. Alles in allem lässt sich zusammenfassend sagen, dass diese Gruppe sinnvolle Programme zur Analyse und weniger zur Synthese bereitstellt. Dementsprechend übertrifft diese Programmgruppe *Cinderella* in allen hier behandelten Analyseverfahren, während einige Syntheseverfahren wiederum mit Hilfe von *Cinderella* besser bzw. überhaupt erst durchgeführt werden können.

Die mit Abstand am schlechtesten abschneidende Gruppe ist **Gruppe C1** (*OpenEuclide*). Sämtliche Syntheseverfahren sind nicht innerhalb sinnvoller Zeit durchzuführen. Daher ist diese Gruppe für getriebetechnische Zwecke vollkommen ungeeignet. Sie schneidet also wesentlich schlechter als *Cinderella* ab.

Ein besonderer Vorteil der **Gruppe C2** (*Zirkel und Lineal*) ist die besonders intuitive Bedienbarkeit. Die klassische sowie ALT'sche Totlagensynthese,

das Verfahren nach FLOCKE und die Konstruktion von Ersatzradergetrieben lassen sich besonders gut umsetzen. Mit mittelmäßigem Aufwand sind die DREI-LAGEN-SYNTHESE und die Ersatzgetriebe nach ROBERTS umzusetzen. Der Vergleich mit *Cinderella* zeigt auf beiden Seiten Stärken und Schwächen. So bietet *Zirkel und Lineal* eine einfachere und intuitivere Oberfläche, während *Cinderella* ein umfassenderes Spektrum an Synthesemöglichkeiten bereitstellt. Je nach Anwendungsfall wäre also *Zirkel und Lineal* vorzuziehen.

Cinderella sticht nicht als besonders geeignetes Programm heraus, obgleich es der empfehlenswerten **Gruppe A2** angehört. Abgesehen von wenigen Ausnahmen sind andere Programme für die Umsetzung der verschiedenen Verfahren besser geeignet. DREI-LAGEN-SYNTHESE, klassische und ALT'sche Totlagensynthese, sowie die Synthese von Ersatzradergetrieben sind umsetzbar, jedoch nicht besonders einfach durchzuführen. Ersatzgetriebe nach ROBERTS stechen in *Cinderella* als besonders schwer umzusetzen heraus, da die Winkelübertragung recht aufwendig ist. Es wäre dementsprechend sinnvoll, *Cinderella* in der Lehre durch andere kostenlose Programme zu ergänzen oder teilweise zu ersetzen.

Zusammenfassend kann also die **Gruppe A2** als besonders empfehlenswert eingestuft werden. Hierbei fällt auf, dass ein Großteil der Programme der **Gruppe A2** kostenlos ist.

6 Zusammenfassung

Der vorgestellte Beitrag zeigt einen Vergleich von dynamischer Geometrie-Software auf Basis umgesetzter Syntheseverfahren aus der Getriebetechnik. Dabei wurden zunächst relevante Programme identifiziert, voruntersucht und anschließend in Gruppen gleicher Funktionalitäten und Eigenschaften zusammengefasst. Jeweils ein Programm als Stellvertreter jeder Gruppe wurde ausgewählt, um im Detail verschiedene Syntheseverfahren (Lagensynthese, Totlagensynthese, etc.) zur Eignungsanalyse durchzuführen. Die Betrachtung weiterer Programme aus den jeweiligen Gruppen wird die allgemeinen Tendenzen nicht ändern, im spezifischen Anwendungsfall kann die Beurteilung jedoch anders ausfallen.

In der vorliegenden Untersuchung werden bei einfachen Aufgabenstellungen deutliche Zeitunterschiede in der Bearbeitung einer Aufgabe sowie große

Diskrepanzen in Fehleranfälligkeit und Benutzerfreundlichkeit bei der Anwendung von unterschiedlichen Geometrieprogrammen festgestellt.

Ergebnis der Untersuchung ist die Feststellung der besonderen Eignung insbesondere einer Gruppe, deren Stellvertreter das Geometrieprogramm GeoGebra ist. Diese Gruppe hat sämtliche Anforderungen erfüllt und kann daher ohne Einschränkungen für die Synthese von Koppel-, Kurven- und Rädergetriebe empfohlen werden.

Literatur

- [1] Luck, K.; Modler, K.-H.: Getriebetechnik: Analyse, Synthese, Optimierung, 2. Aufl.; Springer, Berlin; ISBN: 9783540570011
- [2] Kerle, H., Corves, B. Hüsing, M.: " Getriebetechnik: Grundlagen, Entwicklung und Anwendung ungleichmäßig übersetzender Getriebe" Teubner Verlag, 4., bearb. und erg. Aufl. 2011
- [3] Lonij, Guido; Hüsing, Mathias; Choi, Sung-Won; Corves, Burkhard: Development of a spherical linkage mechanism with the aid of the dynamic spatial geometry program GECKO, In: Proceedings of the 2nd European Conference on Mechanism Science / Hrsg. Marco G. Ceccarelli. -Berlin: Springer, 2009.- ISBN: 978-1-4020-8914-5, 978-1-4020-8915-2.
- [4] Lonij, Guido; Choi, Sung-Won; Corves, Burkhard: Interactive design of a robotic gripper system with the geometry program GECKO, In: Computational kinematics: Proceedings of the 5th International Workshop on Computational Kinematics / Andrés Kecskeméthy and Andreas Müller (ed.). [IFTtoMM]. -Berlin [u.a.]: Springer, 2009.- ISBN: 978-3-642-01946-3., S./Art.: 225-232
- [5] <http://geonext.uni-bayreuth.de/index.php?id=2394>, Zugriff am 22.06.2013
- [6] <http://www.geogebra.org/cms/de/info>, Zugriff am 22.06.2013
- [7] Braune, R.: Maßsynthese von Koppelgetrieben mit interaktiv gesteuerten Funktionsabfolgen - Ein Beispiel zur rechnerunterstützten Umsetzung des Konzeptes "Bearbeitungsstrategie" im Programmsystem GENESYS. Vortrag zum Fachkolloquium Getriebetechnik, Hannover 2003. Universität Hannover, Institut für Getriebetechnik, 2003.
- [8] <http://www.artas.nl/de/sam/sam-fur-spezialisten>, Zugriff am 22.06.2013
- [9] <http://coulon.publi.free.fr/openeuclide/>, Zugriff am 22.06.2013
- [10] http://zirkel.sourceforge.net/doc_de/Informationen.html, Zugriff am 22.06.2013
- [11] <http://www.cinderella.de/tiki-index.php>, Zugriff am 22.06.2013