

Studiengänge, Konzepte, neue Medien – Gedanken zur Vermittlung getriebetechnischer Lehrinhalte an der TU Chemnitz

Maik Berger

TU Chemnitz, Institut für Füge- und Montagetechnik,
Professur Montage- und Handhabungstechnik

maik.berger@mb.tu-chemnitz.de

Kurzfassung

Seit dem Jahr 1995 treffen sich die an deutschen Universitäten, Hochschulen und Fachhochschulen auf dem Gebiet der Getriebetechnik lehrenden Professoren und Mitarbeiter zu einer gemeinsamen Arbeitstagung. Neben der Präsentation von Forschungsschwerpunkten und Applikationen stehen – im Gegensatz zu anderen Fachtagungen – auch aktuelle getriebetechnische Ausbildungsschwerpunkte und Lehrinhalte zur Vermittlung der getriebetechnischen Grundlagen im Focus der Diskussionen.

Der Beitrag widmet sich daher Fragestellungen

- zum Vergleich der historischen und aktuellen Lehrinhalte an der TUC,
- zu den Lehrschwerpunkten in unterschiedlichen Studiengängen,
- zur Problematik von Bachelor- und Masterlehrveranstaltungen,
- zur Wichtigkeit grafischer Lösungsverfahren für die heutige Ingenieurausbildung und dem damit verbundenen
- Einsatz neuer Lehrmethoden und Softwaretools.

1 Vergleich der getriebetechnischen Lehrinhalte

„Wie sieht die zukünftige Wissensvermittlung in der Getriebetechnik – insbesondere im Themengebiet der Mechanismentechnik (MT) - aus?“

Der Begriff „Mechanismus“ als Untergruppe der „Getriebe“ wird vorwiegend dann genutzt, wenn man von mechanischen Baugruppen zur Änderung der Bewegungsparameter oder -form mit vorwiegend nichtlinearer Bewegungscharakteristik spricht. Dies sei angemerkt, da man getriebetechnische Lehrinhalte i. d. R. umfassend in vielen Ausbildungsprofilen der Lehrveranstaltung „Maschinenelemente“ findet, hierbei jedoch i. A. Räder- oder Zugmittelgetriebe gemeint sind.

Die einleitende Frage steht dabei nun im Kontext zur Fragestellung: „Inwiefern haben sich Lehrinhalte, -umfänge und -formen in den letzten Jahrzehnten im Umfeld der Mechanismentechnik verändert?“

Die Beantwortung der Fragen wird natürlich jeder Lehrender etwas anders beantworten. Analysieren wir diese für die „Volmer'sche Chemnitz-er Getriebetechnik“ so lässt sich folgendes feststellen:

Im Rahmen der Diplomstudiengänge gab es bis vor ca. 10 Jahren schwerpunktmäßig 5 Lehrveranstaltungsreihen für Studierende des Studiengangs Maschinenbau (SG MB):

- Getriebetechnik I (Analyse),
- Getriebetechnik II (Synthese),
- Rechnergestützte Getriebeauslegung,
- Umlaufrädergetriebe,
- Industrierobotertechnik, später überführt in Bewegungstechnik.

Dabei waren die Lehrveranstaltungen (LV) zur MT, immer bezeichnet als Getriebetechnik (GT), im Pflichtteil der Schwerpunktrichtung Konstruktion/Antriebstechnik seit Jahrzehnten mit einem dem vielfältigen Themenschwerpunkten entsprechenden Stundenumfang verankert.

Durch Prof. Braune wurde für das GT Kolloquium in Hannover im Jahre 2003 eine Umfrage unter den Teilnehmern durchgeführt und in einem Kurzbericht zusammenfassend dargestellt [1]. Diese Fakten zeigen einen bis dato durchaus vergleichbaren Lehrumfang unter den universitären Ausbildungsprofilen der Diplomstudiengänge.

Durch den Wechsel zum Bachelor/Master System (B/M) gab es für diese Studienschwerpunkte jedoch umfangreiche Einschnitte – im Studiengang Maschinenbau (SG MB) der TU Chemnitz.

So gelang es nicht, die GT-Lehrveranstaltungen in ähnlicher Art und Weise als Pflichtveranstaltungen (P) im Bachelor (B) weiterhin zu platzieren. Für den SG B_MB gab es nur die Option, „Grundlagen der Getriebelehre“ (GTG) im Rahmen der LV „Konstruktionslehre“ im 4. Semester mit zu vermitteln. Bis zum Studienjahr 2013 war der Stundenumfang auf 1 Semesterwochenstunde (1 SWS = 45 min LV) begrenzt, so dass nur eine Vorlesung (90 min) 14-tägig stattfand und in diesem Rahmen auch Hörsaalübungen, teilweise unterstützt durch fakultative Tutorien, durchgeführt wurden. Die Wissensvermittlung war dementsprechend sehr stark eingeschränkt und die Prüfungsergebnisse im Rahmen der Prüfung „Konstruktionslehre“ dementsprechend nicht zufriedenstellend.

Mit der letzten Anpassung der Studienordnung 2014 gelang es für den SG B_MB den Lehrumfang nun auf 2 SWS (2 LP) zu erhöhen, damit 14-tägig zukünftig eine Vorlesung und eine Übung (Gruppen bis zu 30 Studierende) durchzuführen. Mehr MT-Pflichtumfang für MB-Studierende (2014: ca. 85 Immatrikulationen) wird es auch zukünftig nicht geben, zumal ab 2015 ein neu konzipiertes Ausbildungskonzept der Fakultät MB gilt, welches sich durch eine Harmonisierung von Pflichtlehrveranstaltung für fast alle Fakultätsstudiengänge im Umfang von 90 LP auszeichnet.

Im Gegensatz hierzu erhalten Studierende der Studiengänge Sports und Medical Engineering die neu gestaltete LV „Mechanismentechnik“ (MET) im 4. Semester (Pflicht) mit einem Umfang von 4 SWS (5 LP). Das vermittelbare Themenspektrum ist damit wesentlich umfassender als für angehende Maschinenbauer.

Im MB-Masterprogramm werden seit der Neuausrichtung der Professur im Jahre 2004 folgende und inhaltlich neu konzipierte LV als Wahlfächer mit Themenschwerpunkt MT angeboten:

- Mechanismen und Bewegungstechnik (MBT, 6 LP),
- Kurvengetriebe und Bewegungsdesign (KUB, 3 LP),
- Umlaufrädergetriebe und Sonderbauformen (URG, 3 LP),
- Bewegungsmodellierung und MKS (BMS, 3 LP).

Darüber hinaus gibt es noch zwei weitere LV im Umfeld der Montage- und Handhabungstechnik/Robotik

- Grundlagen der Montage- und Handhabungstechnik (GMH, 4 LP)
- Montage- und Handhabungstechnik / Robotik (MHR, 4 LP)

sowie der Fügetechnik und der Ausbildung von Grundschullehrern, auf welche aber im Weiteren nicht näher eingegangen wird.

Welche Probleme ergeben sich nun aus diesem LV-Kanon?

Der entscheidende und im Vergleich zum historischen Ausbildungskonzept als sehr nachteilig zu benennende Aspekt ist das unterschiedliche Ausbildungsniveau der Studierenden. So ist es kaum noch möglich, Master-Lehrveranstaltungen zielgerichtet mit aufbauenden oder weiterführenden MT-Inhalten auszugestalten, da es nur wenige durchgängig konsekutiv Studierende gibt, die Vorkenntnisse stark schwanken oder die Hörer einer Vorlesungsreihe in unterschiedlichen Studiengängen immatrikuliert sind. Der vermittelbare Lehrumfang – verglichen mit dem früheren Diplom-Lehrkonzept – nimmt somit ab. Bild 1 gibt einen vereinfachten Überblick zum LV-Konzept und den SWS.

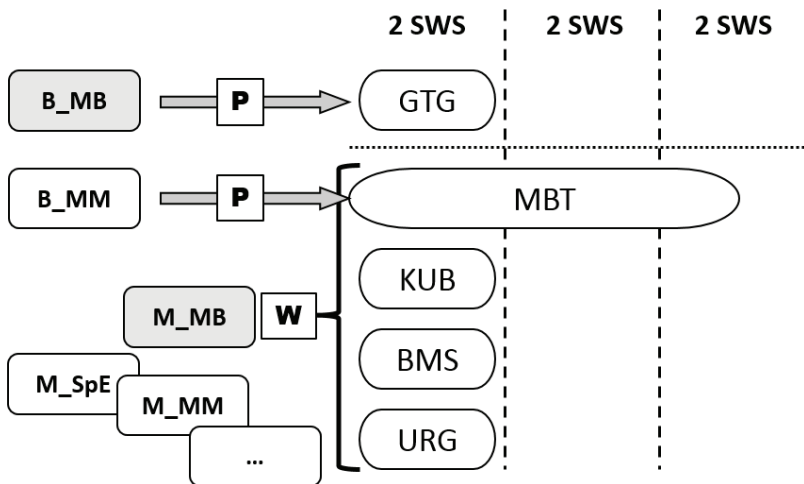


Bild 1: Lehrveranstaltungen und Umfänge (SWS) im B/M-SG MB

2 Lehrschwerpunkte in unterschiedlichen Studiengängen

Durch die sehr heterogene Hörerzusammensetzung und die unterschiedlichen Schwerpunkte in den verschiedenen Studiengängen war es erforderlich, die Themeninhalte der MT in den letzten Jahren zu überarbeiten und auch studiengangspezifisch auszurichten. Dies geschah insbesondere vor dem Hintergrund, MT-LV bei der Planung neuer Studiengänge, wie z. B. Sports und Medical Engineering, einzubringen.

So hören alle Studierende der beiden genannten Studiengänge heute die LV „Mechanismentechnik“ (MET, 4 SWS / 5 LP) im Pflichtteil (2014 ca. 100 Studierende, s. Bild 2), welche sich bzgl. der Vorlesungsinhalte mit der umfangreichsten MB-Wahl-LV „Mechanismen und Bewegungstechnik“ (MBT, 5 SWS / 6 LP) zu ca. 80 % deckt. Um das Interesse dieser Studierenden am Themengebiet zu wecken, wurden hierzu die MET-Übungsaufgaben stark überarbeitet, wobei Übungsbeispiele aus den Bereichen der Reha- und Sportgeräte, Medizintechnik (mechanisch) sowie Prüf- und Versuchstechnik zur Verdeutlichung der theoretischen Lehrinhalte verstärkt dienen, siehe Bild 3.

Die „Mechanismen und Bewegungstechnik“ (MBT) ist die stofflich umfassendste MB-LV. Sie wird im SG M_MB als Wahlfach angeboten. Mit Einführung des B/M Systems war es geplant, hier – aufbauend auf der B-LV „Grundlagen der Getriebelehre“ (GTG) mit dem Schwerpunkt „Analyse“ – verstärkt die Themengebiete der Syntheseverfahren, des Bewegungsdesigns, der Kurvengetriebe sowie die Kinetostatik/Dynamik zu vermitteln. Durch Entscheidungen, diese LV aber auch im SG B_MM (Mikrotechnik/Mechatronik) und ganz neu im SG M_TT (Textile Strukturen und Technologien) als Pflichtfach anzubieten, ohne dass diese Studierenden die LV GTG hörten, war und ist diese Ansatz nicht umsetzbar. Leider bedeutet dies für die MB Studierenden eine teilweise Dopplung von Lehrinhalten, was die Attraktivität und Teilnahmefreude mindert, so dass es im letzten Zyklus (WS 14/15) lediglich gelang, 12 MB-Studierende dafür zu begeistern, vgl. Bild 2.

Prinzipiell kann es sein, dass diese aufgeführten Problemstellungen ein hausgemachtes Problem der Fakultät für Maschinenbau an der TU Chemnitz sind. Der Autor regt daher für das GT Kolloquium und darüber hinaus eine verstärkte Diskussion zur Lehrgestaltung und Abfolge unter den Kollegen und Fachverantwortlichen an, vor allem um von ggf. positiveren Lösungsansätzen und Ideen zur Vermittlung der MT-Lehrinhalte

im B/M Programm und bei der Planung neuer SG von anderen Professuren und Einrichtungen zu lernen bzw. Erfahrungen auszutauschen.

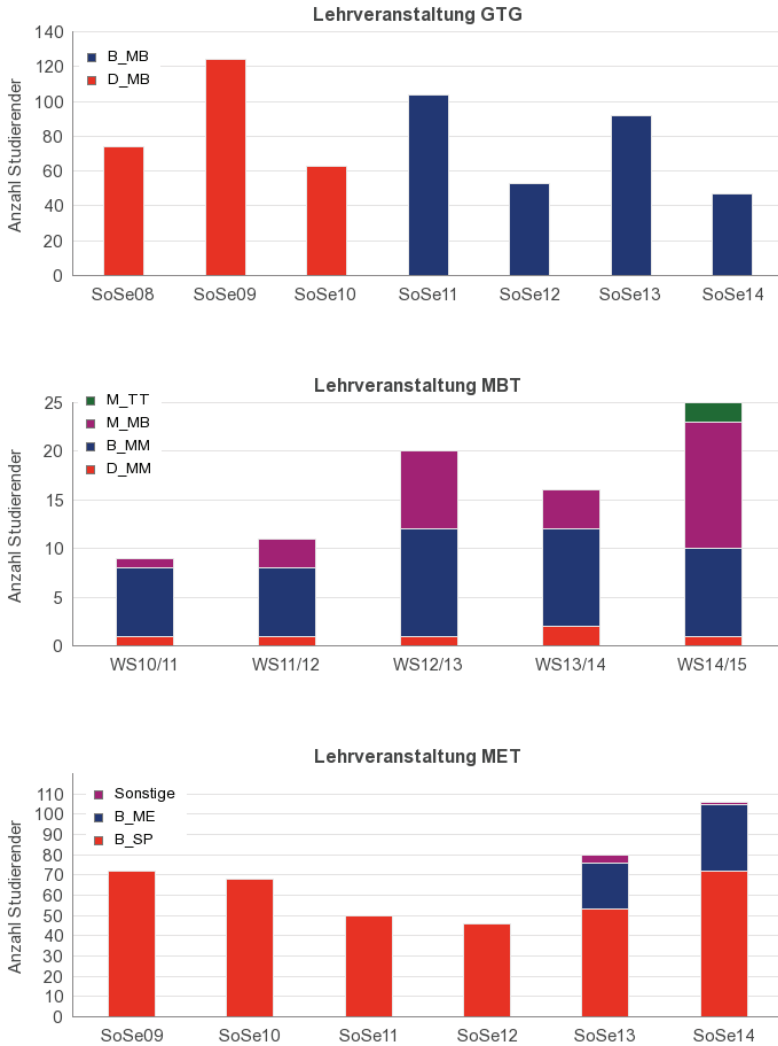


Bild 2: LV-Übersicht zu Prüfungsteilnahmen und SG-Zuordnungen

Berufsperspektiven für Absolventen und Studienziele:

- Entwicklung von **Gerätetechnik für Freizeit, Prävention und Fitness**,
- Betreuung und **Entwicklung von Geräten für Diagnostik und Rehabilitation**,
- Bedienung und **Wartung technischer Ausrüstungen**
- Mitarbeit in Prüfinstituten und versuchs-technische Kenntnisse,
- Durchführung von **Forschungs- und Entwicklungsprojekten**

Mechanismen
Getriebe
Bewegungen
Kinematik
Kinetostatik
Dynamik

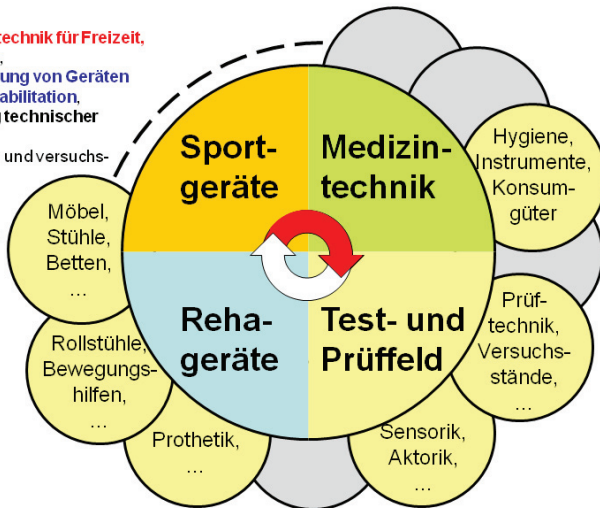


Bild 3: Motivationsfolie zur Einführung in die LV MET

Prinzipiell kann aber eingeschätzt werden, dass es in den letzten Jahren gelang, die Teilnehmerzahlen in unseren neuen „Speziallehrveranstaltungen“, wie KUB (Bild 4) und BMS, trotz Wahlfreiheit und insgesamt geringer Studierendenzahlen in den Masterstudiengängen, kontinuierlich zu steigern.

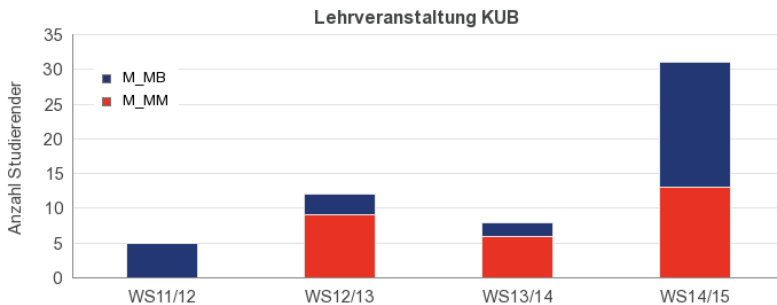


Bild 4: Positive Teilnahmeentwicklung in der LV KUB

Es stellte sich natürlich die Frage, ob zukünftig doch eher kleinere LV mit spezialisierten Themenbereichen, auch einhergehend mit kürzeren Prüfungszeiten (90 min) bzw. Hausarbeiten (BMS) die Studierenden der Masterstudiengänge mehr ansprechen, als die sehr umfassenden Themenfelder der LV MBT, welche ja die ehemaligen Inhalte der GT I und II kompakt kombiniert und auch als umfassendere Prüfungsleistung (120 min) gefragt wird.

3 Grafische Lösungsverfahren, neue Lehrmethoden und der Einsatz unterschiedlicher Softwaretools

Eine Vielzahl der noch heute bekannten und angewandten Verfahren und Methoden zur grafischen Analyse und Synthese von Mechanismen wurden Ende des 19. Jahrhunderts bis Mitte des 20. Jahrhunderts entwickelt. Namen wie L. Burmester, F. Reuleaux, F. Wittenbauer oder R. Beyer und die nach ihnen oftmals benannten Verfahren sind den Fachleuten bekannt. Es sei mir daher gestattet, einmal Willibald Lichtenheldt, der von 1950 – 1986 Professor für "Getriebetechnik und Feinmechanik" an der "Technischen Hochschule" in Dresden war und sich stets um die Verbindung von Praxis und Lehre bemühte, die Ausrichtung von Getriebetagungen initiierte sowie die Erarbeitung von Kurventafeln für Koppelgetriebe als praktische Hilfsmittel vorantrieb, zu zitieren. Er schrieb bereits 1961 in „Konstruktionslehre der Getriebe“ [2]:

„Die Ursache für diese Bevorzugung des Kurvengetriebes kann darin erblickt werden, daß die Verfahren zur Ermittlung der Gliederabmessungen der Kurbelgetriebe vielen Konstrukteuren noch nicht geläufig sind. Es erscheint auf jeden Fall dem Konstrukteur einfacher und bequemer, für einen geforderten Bewegungsverlauf eines Getriebegliedes ein Kurvengetriebe zu entwerfen, als ein dafür geeignetes Kurbelgetriebe zu konstruieren“.

Ersetzt oder erweitert man im ersten und letzten Satz des Zitats „Kurvengetriebes“ durch „Servo- oder Direktantriebes“ und die Textstelle „noch nicht geläufig“ durch „nicht mehr geläufig“, so ist diese Aussage heute absolut aktuell und zutreffend für die Problemstellungen unseres Fachgebietes in Lehre und Praxis.

Da wir ja zukünftige Ingenieure vor allem für ihre praktischen Aufgaben ausbilden sollten, stellt sich natürlich einerseits die Frage, wie viele an-

gehende Ingenieure unter Beachtung der sich verändernden Themenstellungen in der heutigen Bewegungs- und Antriebstechnik noch einen umfassenden und ebenso theoretisch tiefgreifenden mechanismen-technischen Background ausbildungsseitig besitzen müssen. Andererseits wird der Zuspruch auch durchaus davon abhängig sein, wie wir die Verfahren und Methoden zukünftig effizient vermitteln können.

Den ersten Teil dieser Fragestellung wird die Praxis mehr oder weniger beantworten. Ist der Einsatz eines Servo- oder Direktantriebes zur Bewegungserzeugung unter Beachtung der geforderten Parameter und Kosten sinnvoll und einfach zu realisieren, so wird man heute kaum die Entwicklung eines Mechanismus mit nichtlinearen Charakteristika im kinematischen Strang ins Auge fassen.

Eine Abhebung vom Lösungsentwurf der „Mitbewerber“ oder auch „patentwürdige Entwicklungen“ einer Maschinenentwicklung sind ggf. andere beeinflussende Aspekte.

Tendenzen aus dem Bereich der Textil- und Verpackungsmaschinentechnik zeigen auch, dass elektronisch und softwareseitig komplexer werdende Maschinensysteme nicht nur im Trend liegen und auch Flexibilitätserfordernisse nicht immer allein bestimmend sein können, um ein Produkt am Markt zu positionieren.

Unsere Aufgabe ist es daher, angehenden Ingenieuren auch weiterhin Alternativen zur heutigen „Standard-Antriebs-Baukastentechnik“ aufzuzeigen, um genau diese Lücke zu füllen und Innovationen zu fördern.

So haben sich gerade zur Anwendung der Syntheseverfahren einfach zu bedienende und i. A. kostenfreie Geometrieprogramme unter den Fachleuten seit einigen Jahren etabliert. Programme wie Cinderella oder *GeoGebra* bieten viele Möglichkeiten in diesem Umfeld. So zeigte gerade der Vortrag von H. Kerle [3] auf dem letzten GT Kolloquium in Ilmenau sehr eindrucksvoll die Anwendung der Software *GeoGebra* unter der Voraussetzung, dass ein getriebetechnischer Background hinsichtlich der Verfahren und methodischen Zusammenhänge beim Anwender vorliegt.

Diesem Ansatz folgend nutzen wir seit 2010 *GeoGebra* in der Lehre für interessierte Studierende, wobei u. a. auch so genannte „Geometrische Werkzeuge“ zur Getriebeanalyse und Synthese erstellt und stetig weiter-

entwickelt wurden [4]. Bild 5 zeigt exemplarisch die von Drechsel erarbeiteten Werkzeuge zur Analyse, wie sie im Programm erscheinen, als Screenshot.























	Bewege Wähle oder ziehe ein Objekt (Esc)		Beschleunigungsplan
	Bahngeschwindigkeit antragen		Beschleunigungsvektor antragen
	Beschleunigungsvektor antragen		Satz v. Euler Beschleunigung Schieber
	Satz v. Euler Beschleunigung		Satz v. Euler Beschleunigung
	Satz v. Euler Geschwindigkeit		Satz v. Euler Geschwindigkeit Schieber
	Satz von Burmester		Satz v. Euler Geschwindigkeit
	Coriolisbeschleunigung		Satz von Burmester
	Geschwindigkeit aus Führungsgeschwindigkeit		Schieber
	Normalbeschleunigung		Vektorzerlegung
	Geschwindigkeiten aus Relativgeschwindigkeit		Vektoraddition
	Bahngeschwindigkeit antragen		Drehe Vektor zum Krümmungsmittelpunkt

Bild 5: Analysewerkzeuge im Programm „GeoGebra“

„Durch die intuitive Bedienung und die Möglichkeit Koppelgetriebe in nur wenigen Arbeitsschritten zu erstellen und zu verändern, bietet sich „GeoGebra“ als Einstiegssoftware zur rechnergestützten Getriebeauslegung an. Selbst erstellte Werkzeuge kürzen den Konstruktions- und Analyseprozess zusätzlich ab und erweitern das Programm um individuelle Funktionen“ [4]

Gegenüber der händischen Anwendung der Verfahren ist der große Vorteil daher die Flexibilität, wobei erstellte Zeichnungen durch einfache Randbedingungen zu animierbaren Mechanismen umgewandelt und Verfahren, wie z. B. der „Satz von Burmester“ für die Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsermittlung, sehr anschaulich am umlaufenden Mechanismus den Studierenden erklärt werden können. Auch zur Getriebe-synthese bietet das Programm in der Lehre umfangreiche Möglichkeiten, wie z. B. für die Konstruktion und Darstellung der Mittel- und Kreispunkt-kurven bei einer 4-Lagensynthese, welche auch nachträglich und unter

Beachtung konstruktiver Randbedingungen und Einbauräume praxisrelevant verändert und optimiert werden können.

Darüber hinaus haben wir schon oft unsere Herangehensweise und die Möglichkeiten vorgestellt, leistungsfähige Toolboxes für die Software *Mathcad* (PTC) zu erstellen [5]. *Mathcad* kann neben der eigentlichen Berechnung auch dazu genutzt werden, die Berechnung selbst umfassend und strukturiert zu dokumentieren, ein Umstand, der im Praxisumfeld ein nicht zu unterschätzender Zeitfaktor des Ingenieuralltags ist und im Studium eher wenig angesprochen oder gar vermittelt wird.

Ebenso konzentrieren sich unsere Aktivitäten seit vielen Jahren verstärkt auf die Anwendung klassischer Auslegungsverfahren in kommerziellen CAD/MKS/Simulations-Programmen, um diese einerseits an weit verbreitete konstruktive Entwicklungswerkzeuge anzubinden und andererseits diese Methodik dann auch direkt in der Lehre zu vermitteln [6],[7].

Seit 2007 wird durch die LV BMS versucht, genau diese Themenbereiche für die Studierenden geschlossen abzubilden und ausgehend von einer vorgelagerten punktuellen Ergebnisermittlungen (z. B. grafische Lösungen per Hand oder mit *GeoGebra*), Auslegungsverfahren sowie Berechnungsmethoden (1) mit kommerzieller Softwareunterstützung (2) bis hin zur FEM-Bauteilauslegung (3) als Projektaufgabe einer Getriebeentwicklung semesterbegleitend zu bearbeiten, vgl. Bild 6. Leider haben wir auch hier mit dem Problem der unterschiedlichen Vorkenntnisse und SG der Studierenden zunehmend zu kämpfen, zumal neben der mathematischen und mechanismentechnischen Vorbildung auch noch CAD-Kenntnisse (*Mathcad*, *Pro/E*, *Creo*) erforderlich oder diese im Selbststudium zu erarbeiten sind. Bild 6 zeigt hierzu exemplarisch den strategischen Bearbeitungsablauf, welcher als Hausarbeit mit exakter ingenieurgerechter Dokumentation und Richtigkeitsbeweis für die ermittelten Berechnungs- und Simulationsergebnisse (selbständige Auswahl und Anwendung unterschiedlicher Lösungsverfahren zur Verifizierung der präsentierten Ergebnisse) abzugeben ist.

Durch die nach 10 Jahren endlich „geglückte“ Erweiterung unserer Versuchsfelder, insbesondere für die Themenbereiche des Bewegungsdesigns und der Montage- und Handhabungstechnik, werden wir zukünftig LV Inhalte auch wieder mehr mit Praktika verbinden können. Die Einheit von Theorie und praktischer Anwendung wird somit in den nächsten Jahren verstärkt und wir erhoffen uns damit auch, das Interesse der Studierenden am Fachgebiet weiter zu wecken.

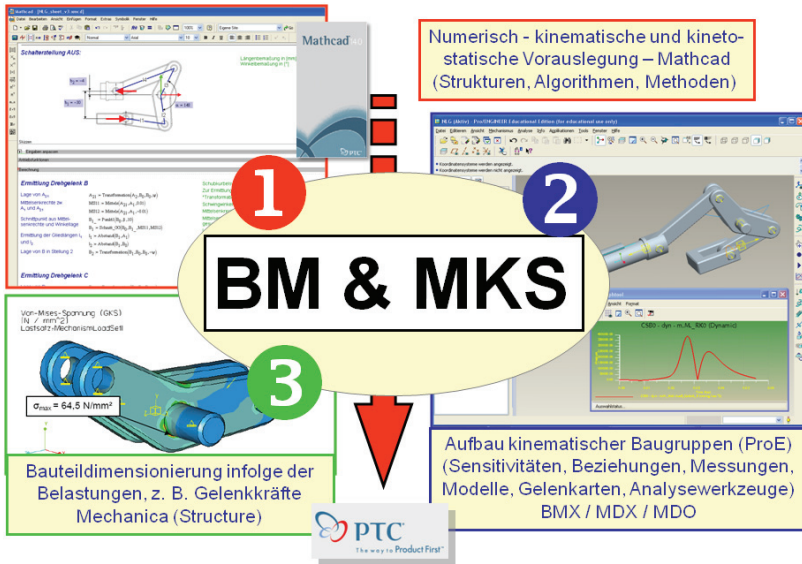


Bild 6: LV BMS – Verbindung mehrerer Handlungsfelder im Rahmen einer Projektaufgabe

- Alternativen zu SimX mit Vor- und Nachteilen

4 Zusammenfassung

Der Beitrag sollte einen kurzen Überblick zum Chemnitzer Lehrangebot – Stand 2015 - im Themengebiet der MT geben und ebenso auf Probleme im B/M Lehrkonzept und der Ausbildung in den unterschiedlichen SG geben. Umfassende Lehrveranstaltungen zur Getriebesynthese werden den Studierenden leider nur noch selten in höheren Fachsemestern als Wahlfach angeboten.

Eine Meinungsbildung, wo es in der studentischen Ausbildung strategisch in den nächsten Jahren „hingeh“, in welchem Umfang „klassische“ MT-Lehrveranstaltungen bei der Konzipierung neuer SG noch berücksichtigt werden, welche Lehrinhalte dabei ggf. kaum noch praxisrelevant

sind bzw. welche neuen Themengebiete sich die MT zukünftig erschließen und verstärkt in der Lehre vermitteln sollte, wird angeregt, wobei die Auswirkungen einer möglichen Schwerpunktverschiebung in der Lehre auch für das industrielle Umfeld zu bewerten sind.

Welche Erfahrungen haben andere Kollegen mit den vermuteten „Wissenslücken bei jungen Ingenieuren“?

Wie können wir lehrdidaktisch unser Lehrgebiet und dessen Inhalte zukünftig in Vorlesungen, Übungen oder Praktika noch attraktiver aufbereiten und darstellen?

Diese und weitere im Beitrag aufgeworfene Fragestellungen sollen die Diskussion über unser Lehrgebiet während des Kolloquiums anregen.

Literatur

- [1] BRAUNE, R.: *Das Fachgebiet „Getriebetechnik“ an deutschen Universitäten, Technischen Hochschulen und Fachhochschulen – Eine Bestandsaufnahme zum Fachkolloquium Getriebetechnik 2003 in Hannover*. Institut für Getriebetechnik, Universität Hannover (2003)
- [2] LICHTENHELDT, W.: *Konstruktionslehre der Getriebe*. Akademie Verlag Berlin, (1961)
- [3] KERLE, H.: *Mit GeoGebra Getriebelehre neu entdecken und besser verstehen*. Kolloquium Getriebetechnik: Ilmenau (2013) – ISBN: 978-3-863600-65-5
- [4] DRECHSEL, J.: *Untersuchung und Auslegung von Koppelgetrieben mit 'GeoGebra'*. Studienarbeit (2011), Professur MHT/TUC
- [5] BERGER, M.; MATTHES, J.: *Toolbox zur effizienten Lösung antriebs- und getriebetechnischer Aufgabenstellungen mit MathCAD®*. 6. Kolloquium Getriebetechnik, Verlagshaus Mainz, Aachen 2005, S.193-208 ISBN 3-86130-773-1
- [6] BERGER, M.: *Einsatz von CAD- und BMX-Funktionalitäten zur praktischen Anwendung der bekannten grafischen Lösungsverfahren der Getriebeanalyse und -synthese*.: 6. Kolloquium Getriebetechnik, Verlagshaus Mainz, Aachen 2005, ISBN 3-86130-773-1
- [7] BERGER, M.: *Effiziente Entwurfsstrategien zur Analyse und Synthese von Mechanismen unter Anwendung von Mathcad und Pro/E*.: IGM-Kolloquium: Aachen (2007)