

50 Jahre „Computer Aided Engineering (CAE)“ von DDR-Wurzeln bis Airbus

Werner Gumpert

Ingenieurbüro IBUL
Weißbacher Straße 51b
09235 Burkhardtsdorf
gumpert.werner@vdi.de

Abstract: Einsatz der „Oprema“ von Zeiß Jena als erstem Digitalrechner der DDR und des EARI, Elektronischer Analogrechner Ilmenau, in Verbindung mit solider Diplombildung in Angewandter Mathematik stützten den Beginn einer neuen Ära ingenieurtechnischer Arbeit auch im Automobilbau der DDR. Folgende Hardwareentwicklungen bzw. Importe aus der Sowjetunion ließen schnell erste Erfolge mit Vermittlung durch die Kammer der Technik ausbauen und auf den gesamten Maschinenbau verallgemeinern. Das an der TH Karl-Marx-Stadt entwickelte Programmpaket AIDAM zur automatischen Integration der Bewegungsdifferentialgleichungen allgemeiner Mechanismen diente aus den siebziger Jahren bis zum Ende der DDR für zahlreiche Anwendungen in verschiedensten Zentren von Automobilbau über Landmaschinenindustrie bis zum Schiffbau. Zu vielen CAE-Tools weiterer Entwicklungsstellen wurden durch einen „Programmatalog Maschinendynamik“ und eine spezielle Rubrik in der Zeitschrift „Maschinenbautechnik“ Nachnutzungen organisiert.

Modernste Tools mit heutigen Hardwareleistungen und Bedienerkomfort übertreffen alle Ahnungen der Anfangszeit. Das Know-how der Spezialisten wird damit nicht überflüssig, sondern kann sogar bei Großkonzernen wie z.B. Airbus noch wichtiger werden.

1 Der Anfang im Automobilbau

Der Start der DDR 1949 war auch im Kraftfahrzeugbau zunächst mit einem weiteren Niedergang durch Abwanderung der Spitzenkräfte gen Westen verbunden. Im Entwicklungszentrum VEB ZEK für den Kraftfahrzeugbau Karl-Marx-Stadt war noch 1956 der Einsatz mathematischer Methoden geradezu verpönt. Durch Einzelinitiativen und die aufkommenden Potenzen für Berechnungen änderte sich das Bild jedoch recht schnell. Mit der Neustrukturierung des wissenschaftlichen Potentials 1963 im VEB WTZ Automobilbau wurde sogar eine Abteilung Mathematik geschaffen und über rein rechentechnische Aufgabenstellungen hinausgegangen.

Erste einfache Schwingungsrechnungen wurden ab 1958 mit numerischer Integration am ersten programmgesteuerten Ziffernrechner der DDR, der „Oprema“ von Zeiß Jena, und dem Analogrechner EARI in Ilmenau ausgeführt.

Für die Oprema wurden als Hauptelemente 17000 Relais und 90000 Selengleichrichter verbaut. Die Befehlsliste umfasste 32 Dreiadressbefehle. Die Rechenzeiten betragen für Addition 120ms, für Multiplikation/Division 800ms und für Radizieren 1200ms. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem Rechenprogramm der Diplomarbeit des Verfassers.

Nr.	Mathematische Form				Adressenform				Sprünge	
	A	Op	B	C	A	Op	B	C	b.Spr.	u.Spr.
56	x_2	+	α_{12}	$x_2 + \alpha_{12}$	5	+	21	21		
57	$x_2 + \alpha_{12}$	-	y	s_{12}	21	-	6	21		
58	s_{12}	.	s_{12}	s_{12}^2	21	.	21	22		
59	s_{12}^2	.	s_{12}	s_{12}^3	22	.	21	22		
60	α_{12}	.	s_{12}^3	$\alpha_{12} \cdot s_{12}^3$	K_9	.	22	22		
61	b_2	.	s_{12}	$b_2 \cdot s_{12}$	K_{10}	.	21	0		
62	$\alpha_{12} \cdot s_{12}^3$	+	$b_2 \cdot s_{12}$	F_{12}	22	+	0	22		
63	\dot{x}_2	.	l_2	$\dot{x}_2 \cdot l_2$	13	.	K_6	23		
64	x_2	+	$\dot{x}_2 \cdot l_2$	$x_2 + \dot{x}_2 \cdot l_2$	11	+	23	23		
65	$x_2 + \dot{x}_2 \cdot l_2$	-	y	\dot{s}_{12}	23	-	12	23		
66		$\dot{s}_{12} > 0?$			23	D_I				
67	K_{N2}	.	\dot{s}_{12}	D_{12}	K_{17}	.	23	23		
68	K_{N2}	.	\dot{s}_{12}	D_{12}	K_{18}	.	23	23		
69	F_{12}	+	D_{12}	$F_{12} + D_{12}$	19	+	20	19		

Abbildung 1: Ausschnitt aus einem Oprema-Programm

Bedingte und unbedingte Sprünge wurden mit Steckschnüren an einer Programmtafel realisiert. Zahlenresultate wurden von einer „Kassenrolle“ abgelesen und als Kurven in Millimeterpapier eingetragen. Diese genügten z.B., um eine Konstrukteursidee für einen neuartigen Stoßdämpfer zu beurteilen, dessen materieller Test die zigfachen Kosten verursacht hätte.

belegt, so ist heute oft die Warnung vor einer bunten Grafik-Flut angesagt und nach kompakten Mitteln zu suchen, um die „Insight“ den Entscheidungsträgern zu vermitteln.

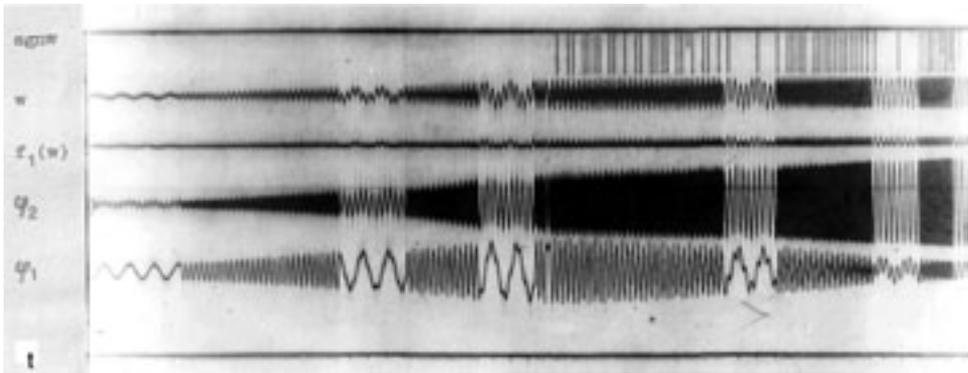


Abbildung 3: Oszillogramm mit variiertem Papiergeschwindigkeit

2 CAE in der „Reife-Phase“ von etwa 1965 bis 1990

Ein vom Ministerrat der DDR im Juli 1964 beschlossenes „*Programm zur Entwicklung, Einführung und Durchsetzung der maschinellen Datenverarbeitung in der DDR in den Jahren 1964 bis 1970*“ umfasste auf 116 Seiten 45 Punkte, darunter auch zur „*Nutzung der Rechen- und Datenverarbeitungstechnik bei der naturwissenschaftlich-technischen Forschung und Entwicklung, der Projektierung, Information und Dokumentation*“. Trotz der üblichen Hemmnisse und Abstriche erleichterten diese Grundlagen zahlreiche Initiativen im allgemeinen Maschinenbau, die oft durch die KDT, das DDR-Gegenstück zum VDI, getragen wurden.

Für ein am 5.11.64 durch das WTZ Automobilbau veranstaltetes Kolloquium über „*Untersuchungen der Nutzungsmöglichkeiten mathematischer und rechentechnischer Hilfsmittel ...*“ reichten die betrieblichen Räume für die zahlreichen Interessenten des Industriezweigs und weiterer Bereiche nicht aus, und es musste der Stadtverordnetensaal des Karl-Marx-Städter Rathauses gemietet werden. Ein Tagesordnungspunkt „*Aufgaben und Organisation des Rechenzentrums der Deutschen Reichsbahn*“ vermittelte Impulse aus dieser relativ gut an internationale Bedingungen angeschlossenen Organisation.

Im Gegensatz zum heutigen Konstruktorsanteil an CAE wurden die ersten zwei Jahrzehnte vorwiegend aus den Berechnungsabteilungen gestaltet, anfangs mit überwiegender Mehrkörperdynamik, zunehmend dann mit Anwendungen der Finite-Elemente-Methode und allgemeinen Konstruktors- und Technologen-Aufgaben. Eine wesentliche Hürde für Anwendungen der Mehrkörperdynamik war (und ist) die Modell-Findung. Mit adäquaten Vereinfachungen können oft Ad-hoc-Modelle aufgestellt und für wertvolle Erkenntnisse berechnet werden. Die Beurteilung der Adäquatheit setzt aber Know-how voraus, das oft nicht ausreichend vorhanden ist. Deshalb wurden von entsprechenden Zentren aus praxisrelevante Aufgabenklassen definiert und für die Lösung mit speziellen Programmen aufbereitet.

Bereits 1976 war damit eine solche Vielzahl erreicht, dass Programme aus 20 Institutionen in einem Katalog zur Nachnutzung angeboten werden konnten. Abbildung 4 gibt die Übersicht hierzu wieder.

ABKÜRZUNGEN	
AW/228	Akademie der Wissenschaften der DDR Zentralinstitut für Mathematik und Mechanik, 100 Berlin, Mohrenstr. 7
BAWET	Berghausische Werke, Sektion Maschinen- und Energietechnik, WB III
BA/248	VEB Bergmann-Werkzeug/Splitter Maschinenbau, 8000 Berlin, 1000 Berlin-Platzestraße
EMK	Elektrische und Energiezentrals für ostdeutsche Kilovoltampere-Kopplungen 707 Delitzsch
FEI	VEB Forschung- und Entwicklungszentrum für Elektro- maschinen 8005 Dresden, Breitscheidstraße 78
EFT 2K	Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List" Dresden 18 Technische Mechanik
EF	Zentralinstitut für Leichtbau, BA Berechnungsverfahren, 800 Dresden, Karl-Marx-Strasse, 70P 44
ELK	Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden, Berthold-Weich-Allee 20
TEL/20	VEB EFA-Automobilwerke Ludwigsfelde Gruppe Technische Berechnungen
EM	VEB Kombinat Elektroschließwerke Dresden
E-218	Kombinat VEB Lohnverleiher-Elektrotechnische Werke Thuse Weiler-Steinigard
Poly	VEB Polygraph Leipzig, BA Vorabzug, 700 Leipzig, 70P 16
PVF	VEB Kombinat Pumpen und Verdichter, Fortschungsstr., Avt. 2194, Halle, Jentzschstr. 90
PFT 60	VEB PFT Melektroteik "Otto Schott" Dresden, Avt. Melektroteik Methoden
EMO	VEB Gußwerkzeug Dresden 8077 Bräuns Bismarckstr. 25
TEK 48	Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt Sektion Maschinenbau-Instrumente
WZD	TU Dresden, Sektion Grundlagen des Maschinenbaus
WEP	VEF Festkörpermechanik
WZ 28	WZ Dienstleistungen 30105 Karl-Liebknecht-Str. 39, Aht. 2.30
ZIAS	Zentralinstitut für Arbeitsschutz Dresden, Aht. Lager- und Gießereibereich
ERWÄHNUNG DER ANFORDERUNG DES PROGRAMMKATALOGS MASCHINDYNAMIK	
z.z.z.	Name Beschreibung des Programms (100 - 300 Anschläge)
↓	Rechenanlage, Programmiersprache
↓	Quelle (Kontaktieren von Hersteller, Büro)
↓	Einleitetpunkt (laut Rückmeldung)
↓	Entstehungszeit
Der Katalog enthält Programme für Digital- und Analogrechner, deren Übersetzung aus Programmiersprache, Rechenanlage und Programmiersprache möglich sein soll. Ein Programm kann im Katalog mehrfach aufgeführt werden, wenn eine Zuordnung zu verschiedenen Punkten der Gliederung sinnvoll erscheint. Vorschläge zur Gestaltung des Katalogs werden nach weiteren Gangs entgegengenommen.	

Abbildung 4: Seiten 2 und 3 des Programmkatalogs „Maschindynamik“

Zehn Jahre später wurden auf Anregung von Prof. Holzweißig, TU Dresden, „Bausteine zur rechnergestützten Konstruktion“ in der Zeitschrift „Maschinenbautechnik“ zwecks Nachnutzung veröffentlicht: Abbildung 5.



Abbildung 5: Kopf des ersten „Bausteins zur rechnergestützten Konstruktion“

Parallel zu dieser „Bedienung“ spezieller Aufgabenklassen wurde als universelles Hilfsmittel zur Behandlung verschiedenster Ad-hoc-Modelle ab 1971 vom Verfasser an der TH Karl-Marx-Stadt das FORTRAN-Programm AIDAM (Automatische Integration der Bewegungsdifferentialgleichungen allgemeiner Mechanismen) entwickelt und später an vielen Industrie- und Forschungsstellen (einschließlich NAMI Moskau) bis zum Aufkommen entsprechender Software mit grafisch interaktiven Oberflächen genutzt.

Gegenüber numerischer Langzeitintegration bestanden teilweise sehr große Vorbehalte, die bis heute bedacht sein sollten, weil tatsächlich nicht alle berechneten Kurven auch dem technisch-physikalischen Problem entsprechen. So können sowohl stabile Systeme scheinbar instabil wie auch instabile Systeme scheinbar stabil sein. Für den ersten Fall ist die Numerik zuständig, für den zweiten die Modellierung. Zuweilen müssen winzige Störungen, die in der Realität die Instabilität auslösen, mit modelliert werden, um sich auf Integrationsergebnisse verlassen zu können.

Abbildung 6 zeigt eine Rechnung, bei der zu kurze Wortlänge Oberschwingungen entstehen ließ, die mit kleinerer Schrittweite noch krasser wurden, bei doppelter Wortlänge aber verschwanden. Gleichzeitig zeigt dieses Bild, wie damals Kurven mit Ziffernsymbolen gedruckt wurden.

Als Argument gegen die Zweifler an der Genauigkeit von Langzeitintegrationen konnte und kann der Kurvenverlauf bei Abbildung 7 dienen, die einen sich aufschwingenden Verlauf für ein eigentlich „böartiges“ Modell zeigt, einmal mit AIDAM und einmal mit dem tschechoslowakischen Analogrechner MEDA ermittelt. Die Übereinstimmung war selbst für die Bearbeiter erstaunlich genau.

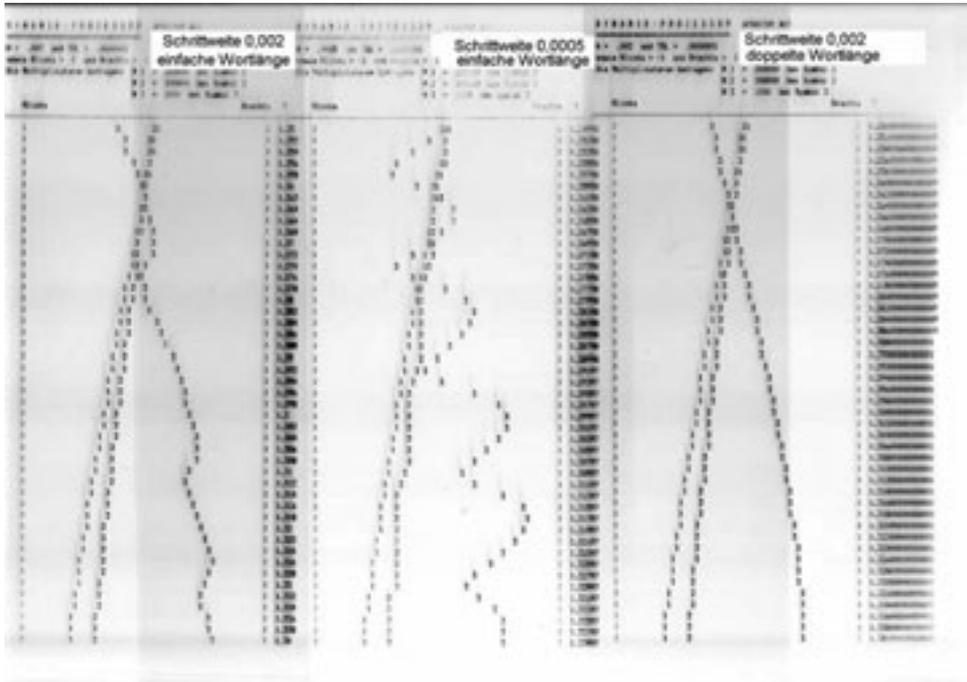


Abbildung 6: Einfluss von Integrationschrittweite und Wortlänge

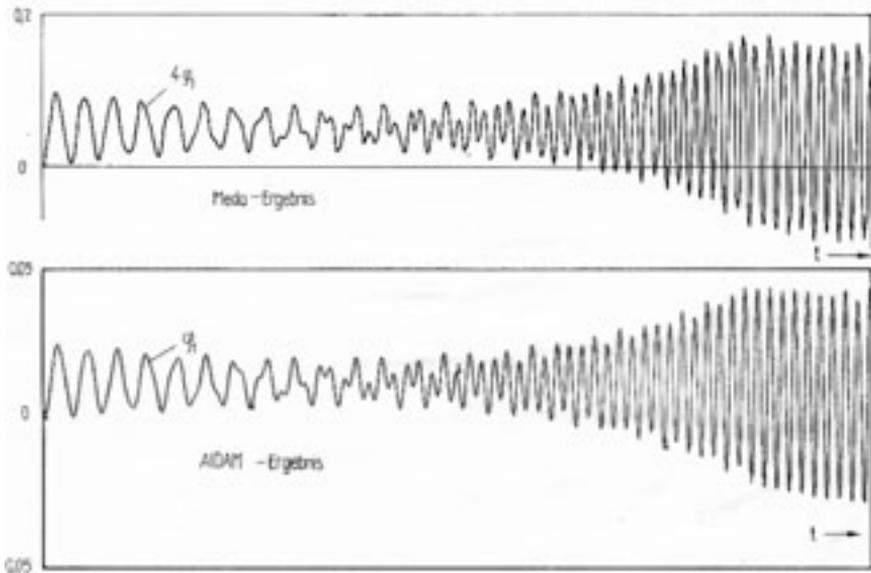


Abbildung 7: Vergleich einer Ratterschwingung; $4\phi_1$ mit MEDA/analog bzw. ϕ_1 mit AIDAM/digital

Angesichts der geschilderten Schwierigkeiten waren Vorbehalte der Praxis gegen die Übernahme der neuen Techniken nur natürlich. Einen Beitrag dagegen konnten die ca. ab 1977 an mehreren Hochschulen gegründeten „Studentischen Rationalisierungs- und Konstruktionsbüros“ leisten. An der TH bzw. später TU Karl-Marx-Stadt an der Sektion Maschinen-Bauelemente wurden bei juristischer Verantwortung eines Hochschullehrers ca. 5 Objekte pro Jahr von Studenten mit regulärem Wirtschaftsvertrag bearbeitet. Die Mehrheit der Aufgaben bedeutete CAE.

3 CAE im „erwachsenen“ Stadium, nach 1990

Die mit der politischen „Wende“ einhergehenden Prozesse trafen teilweise mit dem Erreichen einer neuen Qualität in der technischen Arbeit zusammen. So war einerseits mit dem Übergang auf die Länderstruktur z.B. die Auflösung eines der beiden Dynamik-Lehrstühle an der TU Chemnitz angemessen. Andererseits stellten sich mit dem massenhaften Einsatz leistungsfähiger PCs und zahlreicher CAE-Software mit grafisch interaktiver und damit nutzerfreundlicher Bedienung wesentlich umfassendere Potenzen für solide technische Arbeit zur Verfügung.

Der Inhalt von CAE lässt sich natürlich nicht an einem persönlichen Lebenslauf definieren und wird auch recht unterschiedlich interpretiert. Abbildung 8 deutet eine der verbreiteten Auffassungen an.

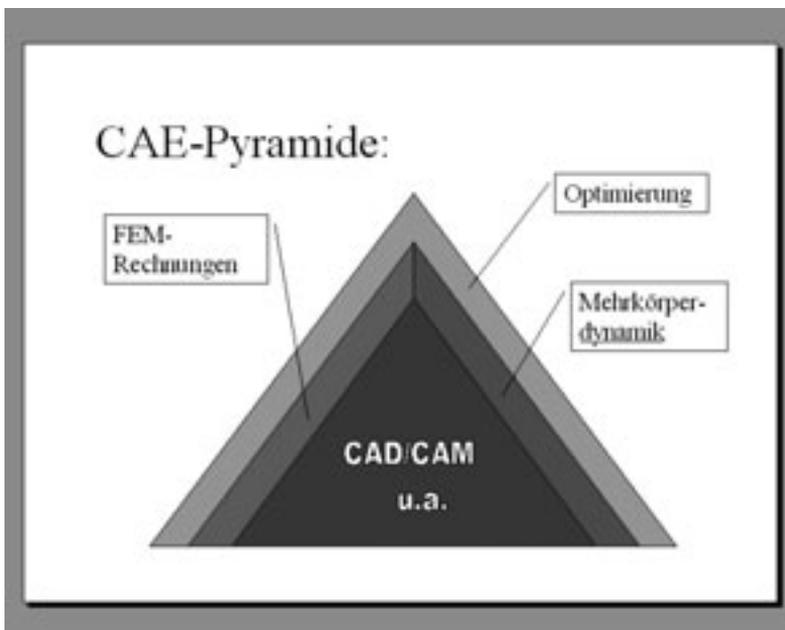


Abbildung 8: Eine Darstellung des CAE-Inhalts

Die Schicht der FEM-Rechnungen und der Mehrkörperdynamik hat im Prozess der Entwicklung mit CAD, CAM und zahlreichen weiteren Komponenten der Ingenieurarbeit eine breite und sehr produktive Basis erhalten. Wie weit die Integration reichen kann, zeigt eine bereits vor Jahren publizierte Vorstellung der amerikanischen Firma ALGOR, Abbildung 9:

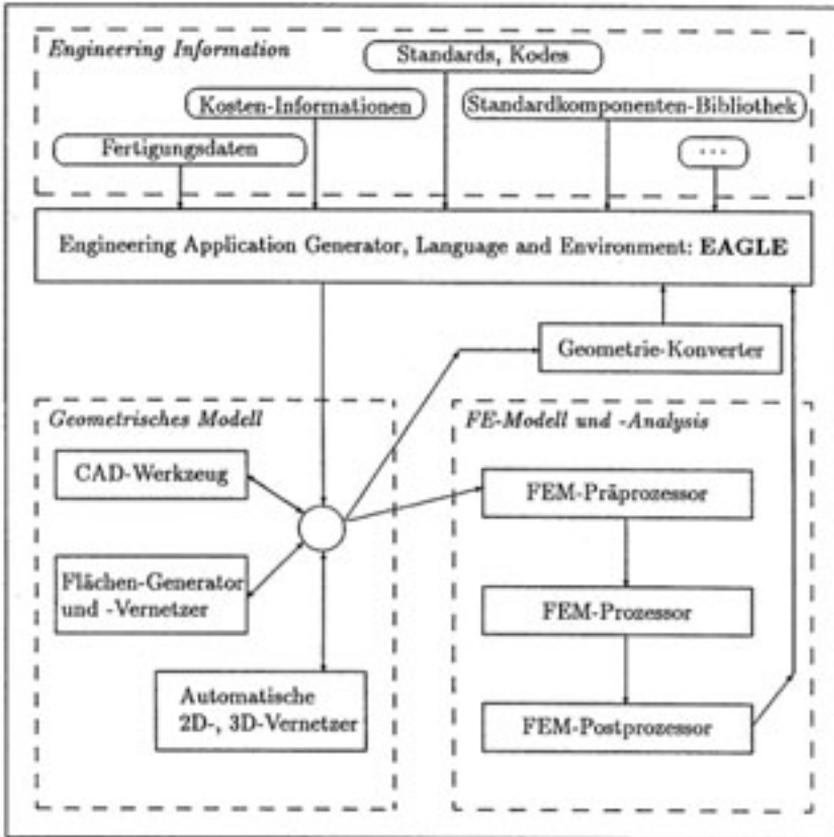


Abbildung 9: Vorstellung von einem Konstruktors-Arbeitsplatz

Die äußere Schale der Pyramide, die Optimierung, bleibt allerdings seit nunmehr Jahrzehnten trotz nutzerfreundlicher und oft mathematisch völlig anspruchsloser Software hinter den Möglichkeiten zurück. Obwohl nach zahlreichen Erfahrungen bereits in der vorbereitenden Modellierung meist wesentliche neue Einsichten gewonnen werden können, auf die der Optimierungseffekt noch zuzuschlagen ist, beschränken sich die meisten Entscheidungsträger mit bescheidenen Variantenvergleichen. Offenbar wirkt noch stärker als bei der Mehrkörperdynamik diese Modellierungsaufgabe als Hürde.

Parallel zur Ausrüstungsentwicklung haben sich auch die Vorstellungen von der Produktentwicklung ständig gesteigert. Wenn am Ende der DDR in der Entwicklung von Werkzeugmaschinen bereits die „virtuelle Maschine“ als Vision verfolgt wurde, so gibt es heute tatsächlich bereits aus Journalistenquelle die – natürlich fehlinterpretierte – Behauptung, Boeing hätte seinen „Dreamliner“ am Computer und völlig ohne Bau von Prototypen entwickelt. Zwar taucht auch z.B. bei Airbus in Projektnamen der „virtual bird“ auf, die Investitionen in physikalisch-materielle Arbeit sind aber mit Sicherheit nicht niedrig.

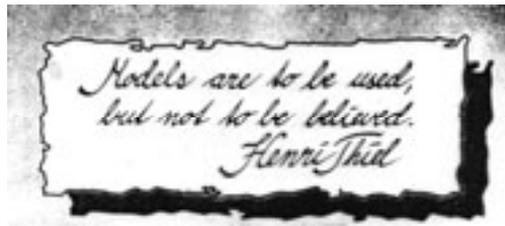


Abbildung 10: Aufforderung zum Umgang mit Modellen

Um ein Modell gemäß Abbildung 10 nutzen zu können, müssen u.a. seine Parameter bekannt sein. Seit über hundert Jahren ist belegt, wie sich auch sehr kleine Unterschiede z.B. in Instabilitäten auswirken können. Und selbst beste FE-Programme oder andere CAE-Tools werden in aller absehbaren Zeit nicht in der Lage sein, alle Steifigkeiten, Dämpfungen und weitere wichtige Größen bei komplexen Objekten präzise zu ermitteln.

Materielle Versuche sind prinzipiell nicht verzichtbar. Darüber hinaus stellt sogar gerade heute mit den gewaltigen Mitteln von Hard- und Software das spezielle menschliche Know-how eine weitere entscheidende Erfolgskomponente dar.

4 Eine abschließende These zum Umgang mit Hard- und Software

Es tut gut, die Mühen der Anfänge hinsichtlich Speichergröße, Programmiersprache, Rechengeschwindigkeit, Fehlersuche u. dgl. zu kennen, denn dann fällt es wesentlich leichter, sich immer über das Viele zu freuen, das geht, anstatt sich über das zu ärgern, was hin und wieder nicht geht.