

Zur Erinnerung an Dr. Alfred Zimmer, der am 06.06.2020, 100 Jahre alt geworden wäre.

Was haben eine elektrische Eisenbahn und eine computergestützte Konstruktion im Automobilbau miteinander zu tun? Mein Vater, Dr. Alfred Zimmer, hatte ein ganz neues Feld zu bearbeiten - vielleicht konnten ihm so manche Dinge spielerisch, an seiner Eisenbahnanlage, den Weg zeigen.

Ende der fünfziger Jahre begann man mit der Entwicklung der FEM bei Daimler Benz in einem stillen Kämmerlein. FEM ist die Finite-Elemente-Methode, bei der die Festigkeit von Elementen berechnet wird. Sie wird am Ende dieses Artikels erklärt. Es begann eine spannende Entwicklung, die es auch nach über 60 Jahren wert ist, noch einmal beleuchtet zu werden.

Die Berechnungsmethoden von FEM sind heute aus der Automobilentwicklung und anderswo nicht mehr wegzudenken. Ihr Vordenker war Dr. Alfred Zimmer, der mit seinen Ideen die Konstruktion bei Daimler-Benz revolutionierte. Er war Wegbereiter und Ideengeber in der FEM. Für Bauingenieure im Hoch- und Tiefbau, Brückenbau, Kran-Konstruktionen, Fahrzeugbau Bus/LKW, Flugzeugbau, Schiffbau, Metallbau/ Neigetechnik, im Wetterbereich, im Medizinbereich und der Nanotechnik, um nur einige zu nennen.

Während mein Vater berufliches Neuland betrat, baute er gleichzeitig privat eine Modelleisenbahnanlage. Vermutlich half ihm diese besondere Art von Entspannung auch bei der Entwicklung neuartiger, computergestützter Methoden in seinem Beruf als Entwicklungsingenieur bei Daimler-Benz.

Es war das Jahr 1958, als meine Mutter und mein Vater für uns Geschwister eine elektrische Eisenbahn von Märklin unter den Christbaum legten. Der Grundkasten war bestückt mit einem kleinen Kreis, einer kleinen Dampflok, mit Baustellen- und Kesselwagen. Im Laufe der Zeit kamen Lokomotiven und Züge (4) mit entsprechendem Zubehör hinzu. Die Anlage wurde größer und so perfektioniert, dass gleichzeitig alle Züge mit Wagen auf zwei Ebenen und ohne Behinderung das Schienennetz befahren konnten. Wer den Umgang mit Eisenbahnanlagen kennt, weiß, dass dies zuvor genau geplant werden musste. Am Nebenstrang der Anlage ging es über eine selbstkonstruierte Metallbrücke (länge ca. 80 cm), hin zu den Abstellgleisen.

Die Metallbrücke war so konstruiert, dass die Stäbe als Rechtecke und Quadrate miteinander verlötet wurden. Die Außenstäbe links und rechts in Verbindung mit der Ober- und Unterseite der Brücke hatten die Konstruktion (Dreiecke, Quadrate und Rechtecke) so gefestigt und erreichten damit die gewünschte Stabilität. Wie ich mich noch erinnern kann, stand ich mit meinem Leichtgewicht als 8 jähriger auf der Brückenunterseite (180 Grad gedreht), ohne dass diese Schaden nahm.

Die Überlegungen zur Stabilität bei der Metallbrücke auf der Eisenbahnanlage waren sicherlich Wegbereiter für die späteren Berechnungsideen.

Am Samstagvormittag wurde zu dieser Zeit in den Betrieben noch gearbeitet. Die ersten Lehrgänge von IBM wurden an Samstagnachmittagen in Sindelfingen (kleines Hochhaus) angeboten. Dort standen die ersten Großrechner IBM 650 den willigen Schülern zur

Verfügung. Diese Lehrgänge wurden für Computerinteressierte angeboten und von der Gewerkschaft bezahlt.

(Von wegen, „Papi gehört am Samstag uns“) -das war der Slogan in den sechziger Jahren auf Plakaten der Gewerkschaft-.

Die Großfirmen interessierten sich zu dieser Zeit nur spärlich für diese Art Weiterbildung der Beschäftigten. Sie wussten zuerst nichts damit anzufangen. Meinem Vater wurde mal im Betrieb gesagt: „Wir bauen schließlich Autos und keine Computer“. Man war auch der Meinung: „vier Großcomputer“ würden eine längere Zeit den Bedarf der Industrie in Deutschland abdecken können. Wie hatte man sich da getäuscht!

Zu Beginn der 60er Jahre war weltweit der Einsatz elektronischer Rechenanlagen den großen Forschungsinstituten der Universitäten vorbehalten. Lediglich die Luft- und Raumfahrtindustrie setzte bereits zu dieser Zeit Berechnungsverfahren ein, deren Leistungsstand 1965 vom Institut für Luft- und Raumfahrt der TU Stuttgart demonstriert wurde. Es war keineswegs selbstverständlich, dass auch Industriefirmen in Konstruktion und Entwicklung die schon am Markt verfügbaren Rechenanlagen einsetzten, da es noch keine Anwendersoftware gab. Auch war der Leistungsstand der Rechner aus heutiger Sicht doch mehr als bescheiden.

Schon zu dieser Zeit begann in der PKW-Vorentwicklung bei Daimler-Benz (K1VB) in Stuttgart der Berechnungsingenieur Dr. Alfred Zimmer, von Hause aus Bauingenieur, mit der Programmierung eines Berechnungsprogramms für räumliche Rahmen, das er RB (Rahmen-Berechnung) nannte. Bei DB war gerade vor einigen Monaten der erste technische wissenschaftliche Rechner, die IBM 650, durch den Nachfolger, die IBM 1620, ersetzt worden.

Dieses neue Werkzeug war eine volltransistorisierte Anlage mit sagenhafter Speicherkapazität von 48 000 Transistoren – Bit Speicher (bei 6 000 Worten à 8 BIT, also 6 KB Hauptspeicher), mit Lochkarten-Lese-Stanzer und Tabelliermaschine, programmierbar im Assembler. Die sogenannte Zentraleinheit, so nannte man damals den Prozessor, hatte als externen Speicher nur die 80 Bytes große Lochkarte, deren Inhalt bei Bedarf als Zeile auf der Tabelliermaschine gedruckt werden konnte. Mit diesem Rechner begann auch außerhalb der Luft- und Raumfahrtindustrie, nicht zuletzt dank Dr. Alfred Zimmer die computerunterstützte Berechnung, wie man sie heute nennen würde.

Seine Feuertaufe bestand das RB Programm (Rahmen-Berechnung) gleich zwei Mal. Zuerst bei der Berechnung des Rahmenbodens vom W 100 (dem legendären Mercedes-Benz 600, Bauzeit 1964 bis 1981). Zum ersten Mal wurden nach zehn Stunden Rechendauer Messergebnisse derart genau bestätigt, dass die die Messung durchführende Versuchsabteilung von Datendiebstahl ausging.

Die Fahrt der englischen Königin Queen Elizabeth II mit ihrem Mann Prinz Philip bei einem Staatsbesuch 1966 in München war der zweite wichtige Praxistest. Das Königspaar konnte sich völlig tiefenendspannt, der neuen Staatskarosse W 100 von Mercedes-Benz, dem 600-Pullmann-Landaulet mit langem Radstand anvertrauen, der mit dem neuen RB-Programm berechnet worden war.

Noch mit RB (Rahmen-Berechnung) und der historischen IBM 1620 wurden 1963-65 die ersten Karosserieberechnungen mit gemischten Modellen aus Stab- und Flächenelementen durchgeführt. Dies waren zum einen der Auto-Union F 102 und bald danach der erste Audi 100, zu einer Zeit, als Auto-Union noch zu Daimler-Benz gehörte. Um mehr Vergleichswerte durch Messungen und Berechnungen zu bekommen, wurde der Sportwagen W 113 „Mercedes-Benz 230 SL“ nachgerechnet. Dabei wurde besonders die noch heute im Einsatz befindliche Methode der Gewichts-Steifigkeitsoptimierung nach der Formänderungsarbeits-Methode erprobt und sehr bald erfolgreich eingesetzt. Auch der erste Omnibus wurde so berechnet.

War es auf der IBM 1620 nur möglich, im Assembler zu programmieren, so konnte man jetzt mit der IBM 360 die Entwicklung eines FORTRAN Programms beginnen, welches den Namen ESEM (Elasto-Statik-Element-Methode) bekam. Das Entwicklungsteam um Dr. Zimmer hatte bereits schon sechs Programmierer.

ESEM war weltweit das erste entwickelte FEM-Programm. Der Name „Finite-Elemente-Methode“ wurde zwar schon 1960 von den Amerikanern Martin, Topp und Clough vorgeschlagen. Es dauerte jedoch noch ca. 10 Jahre, bis die Namensgebung mit der Entwicklung des C 111 weltweit in der Technik Einzug hielt.

Der erste wichtige Einsatz von ESEM geschah jedoch schon im Jahr 1967 bei der Entwicklung des W 115 (MB 200-240 D). Dessen Karosseriemodell (gerechnet an einem halben Wagen wegen der Rechenzeitverkürzung) hatte 319 Knoten, 443 Elemente und 1 684 Freiheitsgrade, dabei bestand das gesamte Dach aus sechs Vierecks- und vier Dreieckselementen. Der Einsatz der Methode begann jedoch erst etwa ein Jahr vor Serienanlauf, als es Schwierigkeiten in der Versuchsabteilung mit diesem Fahrzeug gab.

Digitalisierungsgeräte, Plotter und Grafikbildschirm brachten weitere Ideen und Möglichkeiten der Anwendungssoftware von ESEM. Mit dieser Hardware kam dann der eigentliche Durchbruch.

Im Herbst 1969 wurde die Berechnungsabteilung unter Dr. Alfred Zimmer damit beauftragt, die Karosserie des Wankel-Sportwagens C 111 entwicklungsbegleitend zu berechnen.

Man begann zu einem Zeitpunkt, als auch keine Zeichnungen vorlagen, sondern nur die Vorgabe vom Vorstand und von Rudolf Uhlenhaut einfließen. Die Grundidee des Fahrzeugs sollte sein: „mit Flügeltüren, Überrollbügel, Antrieb über Drei- oder Vierscheiben-Wankelmotor als Mittelmotor hinter dem Fahrer, Tanks in den Außenschwellern“. Dazu wurden der Achs- und Radstand mit der Fahrzeughöhe von den verantwortlichen festgelegt. Dann begannen die Berechnungen der Konstruktion und der Bau mitsamt der vorgesehenen Technik. Bis zur Fertigstellung des Prototypen des C 111 dauerte es so nur 6 Monate.

Diese bahnbrechende Vorgehensweise wurde von der Werbeabteilung IBM durch einen aufwendigen Film begleitet. Er wurde von der IBM mit erheblichen Mitteln gesponsert. Mein Vater wurde zu dieser Zeit nach Mainz zum ZDF eingeladen, um im Film seine Methode auch anderen zu präsentieren. Auf seiner Homepage ist sein Lebenslauf und der ungekürzte Film vom C 111 zu sehen. (www.fem-dtm.com).

Mit diesem Film – „Das Auto, das aus dem Computer kam“ –, der englisch und spanisch synchronisiert wurde, wollte die IBM den Verkauf ihrer Computer ankurbeln, denn er zeigte weltweit erstmal den Einsatz des Plotters und des Grafikbildschirms im Automobilbau.

Zu dieser Zeit gab es in den USA noch keinen nennenswerten FEM-Einsatz, obwohl die Luft- und Raumfahrt in der NASA schon das FEM-Programm NASTRAN einsetzte. Bei Ford und General Motors versuchte man mit mäßigem Erfolg durch Einsatz des 3D-Digitalisierungsgeräts, des Grafikbildschirms mit Lichtstift und des Plotters die Erzeugung von Konstruktionszeichnungen aus 3D-Modellen, um damit den Konstruktionsprozess zu verkürzen. Die Berechnung beschränkte sich auf Kleinteile.

„Dies änderte sich sehr schnell“. Die IBM zeigte den Film den amerikanischen Automobilmanagern (die japanische Automobilindustrie war damals erst im Aufbau) mit dem Erfolg, dass sehr schnell die FEM zum Standardwerkzeug der Automobilbauer wurde. Vortragsreisen meines Vaters häuften sich in dieser Zeit nach England, Skandinavien und in die USA.

Der Vorgesetzte von Dr. Zimmer, Dr. Enke, berichtete schon 1970 in der ATZ über die Entwicklungen des Versuchswagens C 111 bei Daimler-Benz und über den systematischen Einsatz von ESEM zur „Strukturanalyse“ dieses Fahrzeugs. Er berichtete auch über dessen Achsentwicklung des Vorgängers der Raumlenerachse mit 300 am Computer berechneten Achsvarianten mittels Starrkörperkinematik und schrittweiser FEM-Berechnung. Nach dem Erfolg bei der Entwicklung des C 111, dessen Prototyp immerhin schon in „sagenhaften“ sechs Monaten nach Entwicklungsbeginn auf der Einfahrbahn Untertürkheim seine Runden drehte. Die Verantwortlichen, unter ihnen Herr Dr. Scherenberg, Herr Rudolf Uhlenhaut, Herr Josef Müller, Herr van Winsen und Herr Dr. Enke, waren begeistert von der schnellen Umsetzung der Konstruktion.

Nun war es fast selbstverständlich, dass ESEM auch für die Entwicklung der neuen S-Klasse (W 116) der 70er Jahre eingesetzt wurde. Auch der Sportwagen R 107, der sich von 1971 - 1989 ununterbrochen am Markt behaupten konnte. Dies dokumentiert auch die lange Bauzeit von über 18 Jahren. Der Sportwagen war seiner Zeit in der Technik weit voraus mit einem hervorragenden Rahmen und seiner Steifigkeit im Unterbau. Nicht zu vergessen, den 6,3 Ltr. und 6.9 Ltr. - der als bester Wagen der Welt- sein Preis holte.

Als Leiter der Berechnungsabteilung der PKW-Vorentwicklung hatte Dr. Alfred Zimmer Anfang der 70er Jahre etwa 30 Mitarbeiter, die neben ESEM schon FEM-Standard-Software wie ASKA, NASTRAN und das aus dem ESEM-Entwicklungsteam heraus entstandene Nachfolgesystem TPS10 einsetzten.

An der Technischen Akademie Esslingen wurden etwa 250 Ingenieure in die „Statik- und Festigkeitsprobleme der Praxis auf „Digital-Rechnern“ und damit in die FEM eingeführt. In der Teilnehmerliste von 1970 finden sich alle Vorkämpfer des FEM-Einsatzes in der deutschen Industrie wieder. Man kann also ohne Übertreibung sagen, dass mit den Ideen von Dr. Zimmer der weltweit systematische Einsatz der Finite-Elemente-Methode, in der Fahrzeugentwicklung begann – in Verbindung mit dem erstmaligen Einsatz von Plottern und grafischen Bildschirmen in der Vorläufersoftware des heutigen FEM-Pre- und Postprocessors.

Im Jahre 2019 feierte der C111 als Sportwagenstudie und rollendes Versuchslabor seinen fünfzigsten Geburtstag. Gerechnet mit dem ESEM-Verfahren, das bei Daimler-Benz zur

Entwicklung kam. Nachfolgemodelle wurden mit ESEM und weiterentwickelten Programmen optimiert, zur Serienreife gebracht und bei neuen Modellen eingeführt. So kamen z.B. daraus entwickelte Hinter- und Vorderachsen (gerechnet mit TPS10) in der Luxus-Klasse Maybach im M57 und M62 zum Einsatz.

Der Unfall- und Insassenschutz „passive Sicherheit“ spielt eine große Rolle bei Daimler-Benz. Der legendäre C111 konnte auf Grund seiner neuen Karosserie (Außenhaut) leider nie in Serie gehen. Der neuartige Werkstoff (GFK) ließ einen Crash nicht zu. Die Verformungen und die Absplitterungen wären wie Glas in die Innenräume eingedrungen und hätten große Verletzungen der Insassen nach sich gezogen.

Den Bau nach der alten Methode aus einer Blech-Karosserie wollte man tunlichst bei einem so zukunftsweisenden Fahrzeug vermeiden. Der C 111 diente erfolgreich den Nachfolgemodellen bei Daimler-Benz als Versuchswagen und Laborfahrzeug.

Durch die FEM – Simulation konnten viele praktische Crashversuche auf ein Minimum reduziert werden. So konnte man in den Automobilfirmen doch erhebliche Zeit und Geld einsparen.

Nicht zuletzt ist es den vielen Ingenieuren und der Computertechnik zu verdanken, dass zur Durchführung der Mobilität, es großen Einsatz bedurfte. Sie verbinden die hohe Fahrsicherheit für die Benutzer, wie zum Beispiel nach gründlicher Auswertung nach einem Crash dies immer wieder zu optimieren. Laut Unfallstatistik sind die zu beklagenden Verkehrstoten seit 1970 sehr stark rückläufig. (Seit Einführung der Computer Technik). Auch an unzähligen Innovationen in der Vergangenheit möchte ich erinnern. Da war das ABS, dieses System kam ursprünglich aus dem Flugzeugbau. Dies wurde in den sechziger Jahren bei DB über 10 Jahre und hunderttausende von Kilometer in Versuchswagen (Dauerläufer) getestet. Danach ging es in die Vermarktung und zur Serienreife zu Bosch, damit konnten alle anderen Automobilfirmen davon profitieren. Sicherheitsausstattungen müssen sofort bzw. unverzüglich allen Autobauern weltweit zur Verfügung stehen. DB hatte gerade mal einen Innovationvorsprung zu BMW von 4 Wochen, mit der S Klasse 6,9 Ltr. der als erster Wagen mit dem ABS/ ESP serienmäßig ausgestattet wurde. Die Autos mit Airbag und Gurtstraffern kamen später hinzu.

Die Beweglichkeit um von A nach B zu kommen, hat unser Leben in der heutigen Form sicherer gemacht.

Danken möchte ich all denen, die sich hierfür tagtäglich einsetzen, das wird zunehmend vergessen! Was uns treibt ist die Fantasie, die Ideen der Menschen zusammen mit der Technik, immer wieder umzusetzen.

Unseren Kindern und Enkelkindern wird die neue Herausforderung der Antriebstechnik sehr wohl noch Kopfzerbrechen bereiten. Doch im Rückblick auf unsere Eltern und Großeltern ist auf dem Weg der 100 Jahre Entwicklungszeit, doch sehr vieles gelungen.

Lange davor, gab es als „Fortbewegungsmittel“ nur -das Pferd und den Wagen-.

In Erinnerung an unseren Vater von seinen Kindern/Schwiegerkindern und vielen Enkeln und Urenkeln.

„zum 100.Geburtstag am 06.06.2020“.

Finite-Elemente-Methode (FEM).

Anwendung:

Mit der Finite-Elemente-Methode, FEM, (Begriff von Ray W. Clough Anfang der 1960er-Jahre vorgeschlagen und 10 Jahre später mit FEM Programmen von DB eingeführt). Hier lassen sich nahezu alle Vorgänge der Technik auf dem Computer simulieren. Dabei muss jedoch ein beliebiger Körper (gasförmig, flüssig oder fest) in möglichst kleine Elemente einfacher Form (Linie, Dreieck, Viereck, Tetraeder, Pentaeder oder Hexaeder) zerlegt werden, die an ihren Eckpunkten („Knoten“) fest miteinander verbunden sind. Kleine Elemente sind wichtig, weil das näherungsweise über lineare Gleichungen formulierte Verhalten der Elemente. Nur für das unendlich (infinitesimal) kleine Element gilt. Die Rechenzeit verlangt jedoch endlich große (finite) Elemente. Die Annäherung an die Realität ist dabei umso besser, je kleiner die Elemente sind.

Der Anwendung der FEM in der Praxis – auch FEA (Finite-Elemente-Analysis) genannt – begann in den frühen 1960er-Jahren in der Luft- und Raumfahrtindustrie und sehr bald auch im Fahrzeugbau. Heute findet die Methode in allen Gebieten der Technik einschließlich Wettervorhersage und Medizintechnik ihre Anwendung: im Fahrzeugbau bei Kleinteilen über Motor und Fahrwerk bis hin zur Karosserieberechnung einschließlich Crashverhalten.

Zu unterscheiden ist zwischen zwei unterschiedlichen Anwendungsarten. Einmal die in allen CAD-Programmen (Computer Aided Design) enthaltene. Nahezu vollautomatische „Black Box“-FEM für überschlägige Berechnungen des Konstrukteurs (z.B. bei der Auslegung eines Stoßfängers) und zum anderen der den Spezialisten vorbehaltene Einsatz spezieller FEM-Programme (z.B. in der Karosserieberechnung, in der Achsenentwicklung oder in der Fahrdynamik).

Literaturhinweise:

Auszüge (FEM) aus dem Kraftfahrtechnischen Taschenbuch – Robert Bosch GmbH Stuttgart – 2010.

J.H. Argyres. Bauwesen- und Aeroelastizität. Deutsche Gesellschaft für Flugwissenschaften e.V. Band IV 1965.

Dr. Zimmer, Bausinger, Eiselt, Nolting: ESEM:- Elastostatik-Element-Methode, IBM-Nachrichten, Heft 195-197.

A.P. Hrennikhoff, Plane Stress and Bending of Plates by Method of Articulated Framework, Dissertation Massachusetts Institut of Technologie, 1940.

S. Spierig, Beitrag zur Lösung von Scheiben-, Platten und Schalenproblemen mit Hilfe von Gitterrost-Modellen, Dissertation TH Hannover, 1963.

Dr. Enke, Löffler; Der Versuchswagen C111 von Daimler-Benz ATZ, 1970 Heft 6.

Dr. A. Zimmer; Digitales Verfahren für die wirtschaftliche Lösung von Festigkeitsproblemen und anderen Aufgaben der Elastizitätslehre, Dissertation TU Clausthal 1969.

Dr. Dirschmd. Methode zur Auslegung einer Fahrzeugkarosserie hinsichtlich optimaler Gesamtsteifigkeit. ATZ, 1969 Heft 7.

H. Faiss, P. Groth, Dr. A. Zimmer, Statik und Festigkeitsprobleme der Praxis auf Digitalrechnern, Technische Akademie Esslingen 1970/71.

Dr. A. Zimmer, P. Groth, Elementmethode der Elastostatik, Programmierung und Anwendung R. Oldenbourg München und Wien 1970. Mit 204 Bildern und einem gebrauchsfertigen Rechenprogramm.

Alfred Zimmer – Pionier der FEM-Anwendung, P. Groth- Festschrift, ATZ 5/2000 102. Jahrgang.

Homepage 2007, Dr. Alfred Zimmer Lebenslauf und Film C 111, (www.fem-dtm.com).

Erinnerung an Dr. Alfred Zimmer, wäre am 06.06.2020, 100 Jahre alt geworden –Sohn K. Zimmer-.