

# Von der Matrizen­theorie der Statik zur FE-Prozesssimulation – Stadien einer Entwicklung

**Ioannis Doltsinis**

Privatdozent, Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik & Geodäsie  
Universität Stuttgart

Der in den Fünfziger-Jahren initiierte Matrixformalismus der Tragwerksberechnung ermöglichte die Kommunikation mit dem digitalen Rechner. Die Faszination der Zahlenwerte entzauberte komplexe analytische Zusammenhänge, die Modellierung durch diskrete Strukturelemente kam der Wirklichkeit näher. Den Übergang zum deformierbaren Kontinuum sollten dann die finiten Elemente bewerkstelligen; äußerst aktiv das international besetzte Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen (ISD) mit Rechengruppe der Luftfahrt, dem Nukleus des heutigen Rechenzentrums an der Universität Stuttgart.

Dem ursprünglichen Anlass der innovativen Rechenverfahren, der elastisch beanspruchten Flugkonstruktion, folgten in den frühen Siebziger-Jahren vermehrt die industrielle Nachfrage sowie der wissenschaftliche Drang nach elastisch-plastischen Berechnungen [1]. Numerische Gesichtspunkte fingen an, die Transparenz des Ingenieurblicks zu trüben. Die Unstetigkeit von unbegründeten Be- und Entlastungen, die Divergenz und Instabilität von Integrationsverfahren und nicht zuletzt die Genauigkeit der Resultate zeigten die Richtung für eine konforme Ausbildung auf, welche auch mit Erfolg eingeschlagen wurde. Die Erweiterung um Plastizität und Kriechen war ein Meilenstein in der Entwicklung des Programmsystems ASKA des ISD (Automatic System for Kinematic Analysis), inzwischen unter PERMAS vertrieben.

Der Welle der Auseinandersetzung mit endlichen Formänderungen konnte in den späten Siebziger-Jahren auch der Verfasser nicht ausweichen [2]. Neben den Ansätzen zur Kinematik der elastisch-plastischen Deformation, bedienten sich inkrementell ausgerichtete Rechenverfahren unterschiedlicher differentieller Definitionen von Spannung und Dehnung. Im Gegensatz hierzu wurde eine holistische Vorgehensweise angestrengt und in das eigens für die Forschung entwickelte System FEPS implementiert (Finite Element Programming System). Dieses System, für stark nichtlineare Aufgaben ausgelegt, vermied den zeitraubenden Austausch mit externen Datenträgern, und ermöglicht die aufgabengerechte Zusammenstellung eines Algorithmus aus einer Reihe von Optionen. Die Anwendung auf Probleme der Metallumformung lag nahe, ebenso die Kopplung von mechanischen und thermischen Vorgängen; ein erster Schritt zu nachfolgend erweiterten Mehrfeldsimulationen.

Ein bedeutender Entwicklungsauftrag aus der französischen Industrie erforderte, das Neuland der Superplastizität zu betreten. Das zunächst geheim gehaltene Rüstungsprojekt half der Absicherung der aufgestellten Theorie durch Vergleiche mit dem Herstellungsprozess. Die inländische Flugzeugindustrie regte weitere Entwicklungen an, unter anderem die subtile Behandlung des endnahen Formens. Durch die angetragenen Fragestellungen konnte man sich an die Technologie der Umformung lediglich herantasten. Eine längere Zusammenarbeit mit dem Institut für Bildsamen Formgebung der RWTH Aachen (IFB) hatte ergänzend zum Ziel, die Simulationsverfahren für die Aufgaben der Massivumformung systematisch auszutesten und zu ertüchtigen: Leistungsfähigkeit der Elemente, Zeitablaufprozesse, Netzanpassung entsprechend der Intensität der Verformung.

Über die Möglichkeiten der Simulation hinaus zeigt sich ein Bedarf für die Optimierung von Produkt und Prozess einerseits sowie für stochastische Analysen zur Auswirkung streuender Daten andererseits. Der Einsatz von analytischen Approximationen und statistischen Verfahren zielt unter anderem auf eine robuste Auslegung von Produkt wie Prozess unter Minimierung der Anfälligkeit auf die Datenvariabilität hin [3].

[1] I. Doltsinis, Elements of Plasticity – Theory and Computation, WIT Press, Southampton, 2000, 2<sup>nd</sup> edition 2010.

[2] I. Doltsinis, Large Deformation Processes of Solids – From Fundamentals to Numerical Simulation and Engineering Applications, WIT Press, Southampton, 2004.

[3] I. Doltsinis, Stochastic Methods in Engineering, WIT Press, Southampton, 2012.