

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 136 (2010)
Heft: 18: Simulanten

Artikel: Numerische Simulationen
Autor: Huber, Philipp
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-109601>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

NUMERISCHE SIMULATIONEN

In der Industrie hat die Simulation bereits bewiesen, dass sie wirtschaftlich sinnvoll ist, die Wettbewerbsfähigkeit und die Zukunftsaussichten eines Unternehmens verbessert und einen wesentlichen Beitrag zu Qualität, Sicherheit und Komfort liefern kann. In der Wissenschaft hat sich die Simulation als dritte Säule neben Theorie und Experiment etabliert. Sie wird als Schlüsseltechnologie für die Zukunft betrachtet und kann damit auch für die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz von zentraler Bedeutung sein.

Titelbild

Ausschnitt aus einem Relaisrahmen des programmgesteuerten Rechners ZUSE Z4, entwickelt 1945, im Einsatz an der ETH Zürich 1950–1955

(Foto: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv)

Z4

Die Z4 ist eine 1945 von Konrad Zuse entwickelte Rechenmaschine, die aus 2200 Relais gebaut wurde. Sie hatte einen mechanischen Speicher, der 64 Zahlen aufnehmen konnte. Das Institut für Angewandte Mathematik von Professor Eduard Stiefel an der ETH Zürich holte im Jahre 1950 das aus den Nachkriegswirren gerettete und von der Zuse KG instand gesetzte Exemplar der Z4 mietweise nach Zürich. Anschliessend diente diese Maschine mehrere Jahre als zentraler Rechner der ETH Zürich und brachte Stiefel auch Erkenntnisse für den Bau seines eigenen Rechners ERMETH. Ihr beschränkter Speicher für Zwischenwerte hatte gewissen Einfluss auf Details der danach am Institut entwickelten Algorithmen. 1955 wurde die Z4 in der Nähe von Weil am Rhein an ein französisches Rüstungsforschungsinstitut bei Basel verkauft, wo sie 1957 einen relaisgesteuerten Ferritkernspeicher erhielt, der eine logische Information pro Ferritkern speichern konnte. Die Z4 besass bereits eine mehrfache Lochstreifensteuerung. Seit 1960 steht die Z4 im Deutschen Museum in München und gehört seit 1988 zur Ausstellung über Informatik.



01 Z4 im Deutschen Museum München
(Foto: Wikimedia Commons, Urheber: Clemens Pfeiffer)

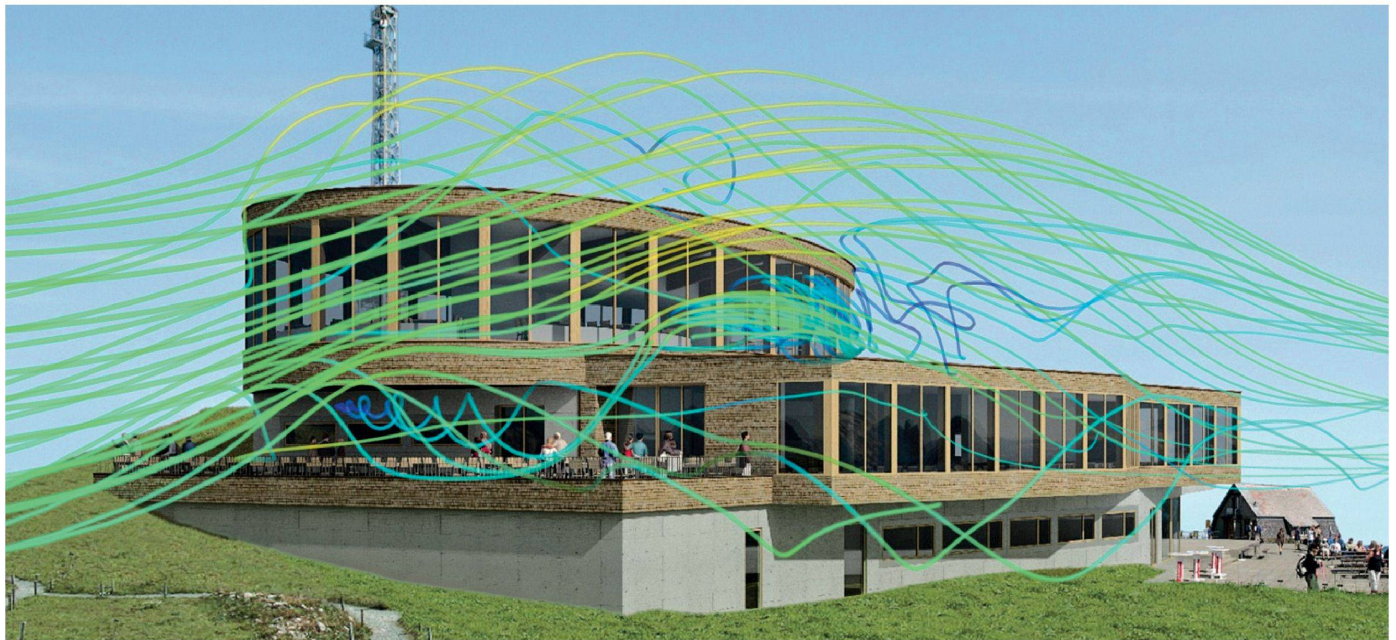
Mit der rasanten Entwicklung der numerischen Simulation in den letzten Jahren ergeben sich für das Bauwesen interessante neue Möglichkeiten für Berechnungen und Analysen. Unter numerischer Simulation versteht man Computeranalysen, die mittels numerischer Methoden durchgeführt werden. FEM für Finite-Elemente-Methode (Anwendung siehe Fachartikel «Durchschlagend stark») und CFD für Computational Fluid Dynamics (Anwendung siehe Fachartikel «Unsichtbare Strömungen» und «Rauchfreie Zone») sind die wesentlichen Begriffe in diesem Fachbereich. Bekannte Beispiele sind statische und dynamische Berechnungen (Strukturmechanik), Wetter- und Klimaprognosen, thermisches Verhalten von Gebäuden oder Untersuchungen der Luftzirkulation in Gebäuden (Strömungssimulation). Eine zusammenhängende Struktur (Kontinuum) wird dabei in viele kleine (finite) Elemente aufgeteilt bzw. diskretisiert (TEC21 17-18/2008 «Diskrete Elemente»). Auf der Basis der Grundgleichungen der Physik entstehen so Gleichungssysteme, die mittels geeigneter Lösungsverfahren (Gauss-Elimination, iterative Verfahren) gelöst werden. Für die Golden Gate Bridge mussten im Jahre 1937 ganze 37 Gleichungen von Hand gelöst werden, was drei Monate dauerte. Leistungsstarke, kommerzielle Cluster (Verbund von Computern), wie sie heute in der Praxis verwendet werden, sind in der Lage, eine Strömungssimulation mit gegen 100 Millionen Unbekannten in wenigen Tagen zu lösen.

DIE ENTWICKLUNG DER NUMERISCHEN SIMULATION

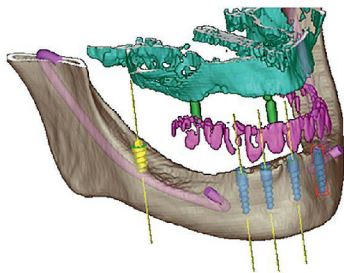
In der Schweiz begann das Zeitalter der Computersimulation 1950 an der ETH Zürich mit dem Z4 (siehe Kasten), dem ersten universellen Computer der Welt. Er ermöglichte die statische Berechnung der Grande-Dixence-Staumauer innert nützlicher Frist. Gerade die numerische Simulation hat ihren Ursprung im Bauwesen, weil das lange Zeit gängige Verfahren in der Industrie, die Herstellung von Prototypen und Tests, für grosse Strukturen nicht anwendbar war. In den letzten Jahrzehnten setzte sich die Simulation immer mehr auch in der Industrie durch, weil der steigende Wettbewerbsdruck hohe Qualität, wirtschaftliche Produkte und kurze Entwicklungszeiten fordert. Diese Tatsache verlieh der Simulation einen gewaltigen Entwicklungsschub. Treibende Kräfte waren und sind die Autoindustrie (Crashsimulation) und der Flugzeugbau (Leichtbau, Strömungssimulation). So können heute in der Strukturmechanik hochdynamische Vorgänge, grosse Deformationen, nicht lineare Materialeigenschaften oder nicht lineare Kontakte zwischen Bauteilen mit Reibung zuverlässig und schnell berechnet werden. In der Folge hat sich die numerische Simulation auch in der Medizintechnik, z. B. zur Berechnung von Implantaten, in der Biologie bei der Berechnung von mechanischen Kräften zwischen Zellen oder in der Uhrenindustrie etabliert. Die strukturmechanische Analyse kann auch mit einer Strömungssimulation bidirektional gekoppelt werden. Dies erlaubt beispielsweise die Berechnung eines pulsierenden Herzens dank Fluid-Structure-Interaction (FSI).

WAS BRINGT DIE ZUKUNFT ?

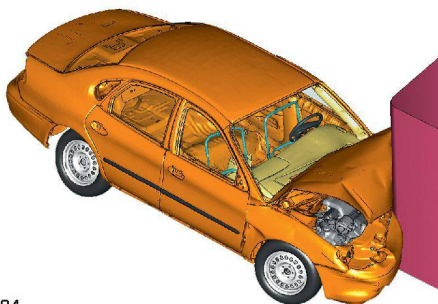
Die Entwicklung der numerischen Simulation ist nicht annähernd abgeschlossen und wird neue Analysemöglichkeiten hervorbringen. Aktuell sind Softwareingenieure der Entwicklungsabteilungen mit folgenden Themen beschäftigt:



02



03



04

02 Windumströmung am Drehrestaurant
Hoher Kasten (Foto: Emil Koller, Rendering:
architekten:rlc, Simulation: HTA Luzern)

03 Die Medizin verwendet FEM-Software für
die Analyse von diversen hochbeanspruchten
«Bauteilen» wie künstliche Hüftgelenke und
Zahnprothesen (Bild: CADFEM [Suisse] AG)

04 Crashtestsimulationen sind heute Standard bei
der Automobilentwicklung. Damit werden die
sicherheitsrelevanten Bauteile bereits vor deren
Produktion optimiert, womit Kosten gespart
werden können

(Bild: FHWA/NHTSA National Crash Analysis
Center, George Washington University)

– *Multiphysik*: Alle Bereiche der Physik (Strukturmechanik, Strömung, thermische Analysen, Elektromagnetik) werden in Zukunft mit ihrer gegenseitigen Beeinflussung (Kopplung) simulierbar sein. Mit der heutigen Technik bereits möglich ist die Berechnung der Schallabstrahlung eines Elektromotors mit folgenden Rechenschritten: Mit einer Transiente-Elektromagnetik-Simulation wird zuerst das Magnetfeld in der drehenden Maschine berechnet. Mit den resultierenden dynamischen Kräften erhält man dann die Schwingungen der schallabstrahlenden Gehäuseteile. Daraus wird über eine weitere Rechenkopplung der Schallpegel um den Elektromotor berechnet. In naher Zukunft wird diese Technik für alle Kopplungsrichtungen und für grosse, realitätsnahe Modelle bereitstehen.

– *Optimierung, Sensitivitätsanalysen, Robust Design*: Vielfach werden Worst-Case-Szenarien analysiert, um die Tragsicherheit der Struktur nachzuweisen. Die Eingangsparameter werden auf der «sicheren» Seite angenommen. Doch wie sicher ist so ein Nachweis wirklich, und wie wirtschaftlich ist solches Design? Hier gehen die Meinungen weit auseinander. Oft gibt es gar keine sichere Seite wie zum Beispiel in der Dynamik, das Modell ist nicht linear, oder Materialparameter sind teilweise unbekannt. In solchen Fällen helfen nur die Variation von Parametern in sinnvollen Grenzen und die klare Definition von Zielgrössen, die optimiert werden sollen. Moderne Softwaretools mit effizienten Optimierungsalgorithmen werden diese Aufgaben vermehrt übernehmen. Dank bidirektionalen Schnittstellen zwischen CAD- und FEM-Tool können Geometrien variiert werden (z. B. Toleranzen). Materialparameter sind in ihrer Streubreite variierbar; so ist nach den notwendigen Rechendurchgängen ersichtlich, welche Parameter entscheidenden Einfluss auf die Zielgrössen haben. Auf diese Art wird das Verhalten eines komplexen Modells verständlich, und die Struktur kann gezielt verbessert werden.

– *Engineering-Knowledge-Management*: Ein wesentlicher Vorteil von modernen Simulationstools ist, dass ganze Arbeitsabläufe gespeichert und immer wieder angewendet und verbessert werden können. Der Prozess für die Simulation kann somit klar definiert werden. Dadurch ist das Wissen nicht nur in den einzelnen Köpfen, sondern für alle Ingenieure verfügbar und bleibt der Firma dauerhaft erhalten.

– *High Performance Computing (HPC)*: Die Basis für die Entwicklung der Simulation war und ist die Steigerung der Rechenleistung. Aktuell werden die Computer etwa alle zehn Jahre 1000-fach leistungsfähiger. Für HPC wird die Methode des Massiv-parallel-Rechnens verwendet und kontinuierlich gesteigert. Der Hochleistungsrechner am CSCS (Swiss National Supercomputing Centre) in Manno rechnet mit 15000 Prozessoren, wobei ein entscheidender Baustein das Kommunikationsnetzwerk zwischen den parallelen Rechenelementen ist. Allerdings stösst die derzeitige Chiptechnologie an ihre Grenzen: Die Taktfrequenz ist kaum mehr zu steigern, die Chips werden zu heiss, die Kühlung verbraucht entsprechend viel Strom. Zukünftige Workstations und Cluster müssen in Zukunft also auch energieeffizienter werden.

