

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 130 (2004)
Heft: 8: Statikausbildung

Artikel: Virtuelles Entwerfen in der Tragwerkslehre
Autor: Anderheggen, Edoardo / Pedron, Claudia
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108363>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.07.2025

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

Virtuelles Entwerfen in der Tragwerkslehre

Die Baustatik ist durch den Einsatz von Computern revolutioniert worden. Dem wurde bislang in der Lehre dieses Faches an den Bauingenieur- und Architekturschulen zu wenig Rechnung getragen. An der ETHZ soll dies mit einer speziell für die Tragwerkslehre konzipierten, internetbasierten Lernplattform anders werden.

Vor über 200 Jahren fand man heraus, dass mit Hilfe von Differenzialgleichungen nicht nur die Bahn eines Planeten, sondern auch die Tragfähigkeit eines Bauwerkes ermittelt werden kann. Damit begann die Geschichte der Baustatik – das historisch bedeutendste Einsatzgebiet mathematischer Verfahren zur ingenieurmässigen Projektierung nützlicher Gegenstände.

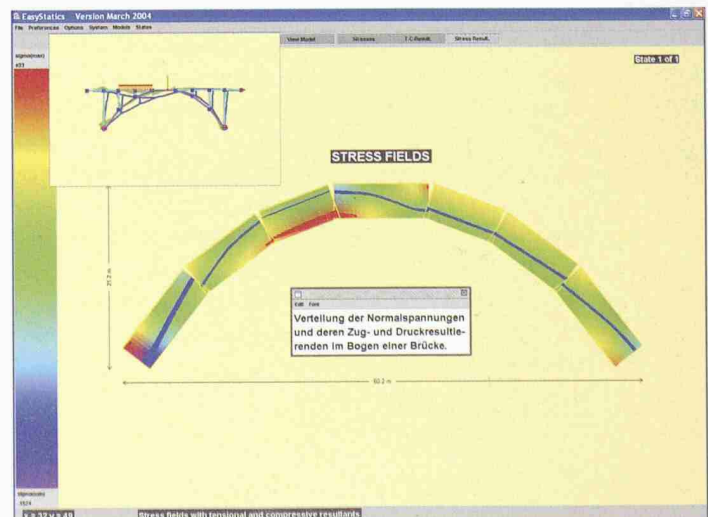
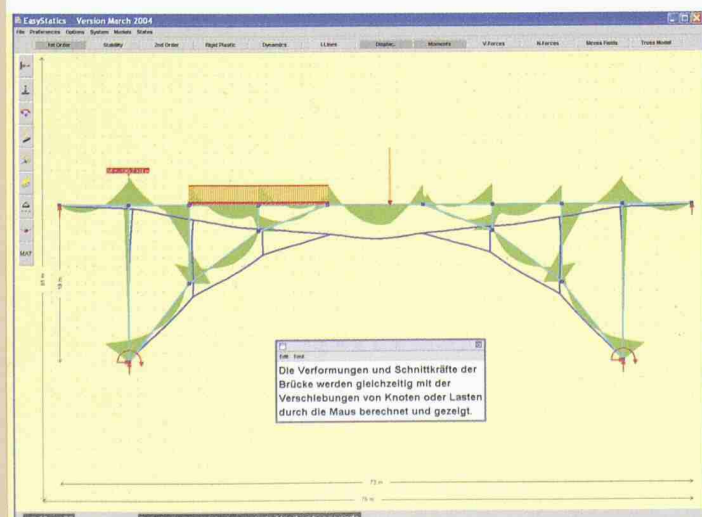
Entwicklungsgeschichte der Baustatik

Die Problemstellungen und Modellannahmen der klassischen Tragwerkslehre haben sich seit langem bewährt. Leider konnte man aber bis vor einigen Jahren die daraus hergeleiteten Differenzialgleichungen für praktische Fälle nicht lösen. Kluge vereinfachende Annahmen und manuelle Lösungsverfahren, welche Generationen von Bauingenieuren beschäftigten – und nicht selten quälten –, wurden entwickelt. Die Architekten hingegen, keine grossen Freunde von Differenzialgleichungen, konzentrierten sich auf Fragen des Entwurfs von Bauwerken, ungeachtet ihrer Tragfähigkeit. Dies trug dazu bei, dass die Ausbildungsgänge der zwei Berufe, trotz ähnlich gelagerter Endziele, in den meisten Hochschulen heute völlig verschieden und grossenteils inkompatibel sind.

Bezüglich Tragwerkslehre ist diese Spaltung – wenigstens in den unteren Semestern – nicht länger sinnvoll. Bei den Bauingenieuren sollte die Baustatik nicht als eigenständiges, analytisch orientiertes Thema, sondern in engem Zusammenhang mit Fragen des Tragwerksentwurfs gelehrt werden. Andererseits sollten Architekten versuchen, ihre oft vorhandene Abneigung gegenüber der Baustatik zu überwinden. Will man ein

1-6

Verschiedene Screenshots einer internetbasierten Lernumgebung. Das Fenster in der Mitte wird für Kommentare und Hinweise verwendet (Bilder: Autoren)



Tagung

Am 26. März 2004 veranstaltet das Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich die eintägige Fachtagung «Virtuelles Entwerfen in der Tragwerkslehre». Die Fachtagung richtet sich primär an die Lehrpersonen im Fachbereich Tragkonstruktionen und Baustatik. Für Architekten und Bauingenieurinnen aus der Praxis kann sie aber durchaus auch von Interesse sein. Einschreibungen sind möglich auf www.easystatics.ethz.ch.

Tragwerk zweckmässig entwerfen, ist es wichtig zu verstehen, wie dieses seine Lasten trägt und wie die verschiedenen Entwurfsparameter das Tragverhalten beeinflussen. Dieses Wissen ist für Bauingenieure grundlegend, für Architekten hilfreich.

Die Schaffung der mathematischen Grundlagen der Baustatik im 18. Jahrhundert darf als erste Revolution in der Tragwerkslehre angesehen werden. Zwei ebenso wichtige folgten: die Revolution durch die Methode der Finiten Elemente (FE) und die Revolution durch den Personal Computer.

Parallel zu den ersten Schritten der Computertechnik – nicht zuletzt, weil vor Ende der 60er-Jahre ein Mensch zum Mond geschickt werden musste – entwickelte man mit grossem Forschungsaufwand die FE-Methode. In wenigen Jahren revolutionierte sie Theorie und Praxis der Baustatik. Dabei sind in den letzten 50 Jahren grössere Fortschritte erzielt worden als in allen Jahren zuvor. Erhalten geblieben sind die altbewährten Modellannahmen und Problemstellungen, veraltet sind unterdessen die damals entwickelten baustatischen Lösungsverfahren. In der Tragwerkslehre hingegen, so wird manchmal argumentiert, seien die klassischen baustatischen Verfahren didaktisch nach wie vor wertvoll. Wie bloss sollen sich aber junge Leute für Baustatikgeschichte begeistern? Weiter ist zu hören, dass die Lehre der Computerstatik leider Computer verlange, was für den Lehrbetrieb unpraktisch sei – dabei sind diese heute gar nicht mehr wegzudenken. Und schliesslich seien die kommerziell erhältlichen, für professionelle Bauingenieure bestimmten FE-Programme für die Lehre ungeeignet – was heute tatsächlich auch zutrifft.

Die Verfasser glauben jedoch, hier den Hebel ansetzen zu können.

Lernen am Computer

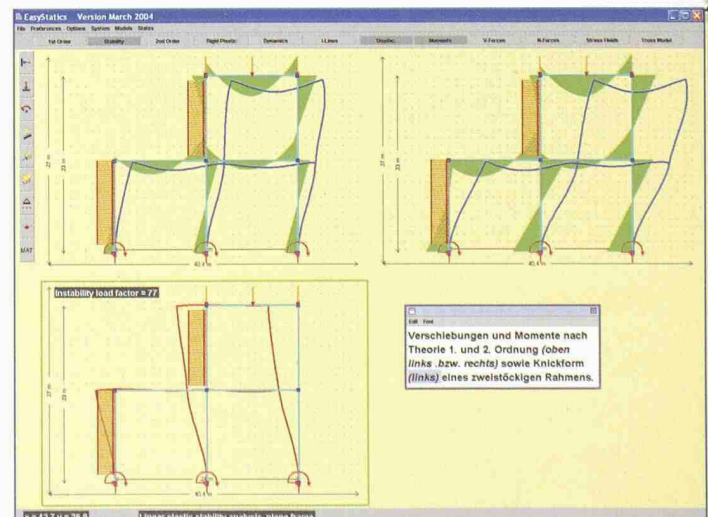
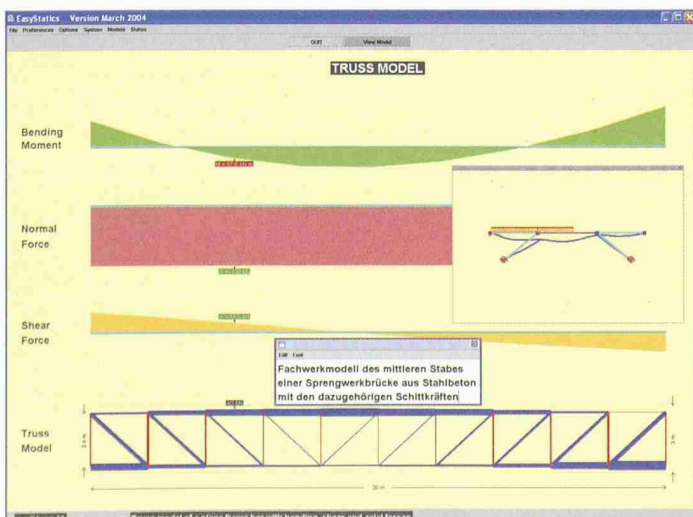
Projektiert man ein neuartiges Gerät, stellt man zuerst verschiedene, sukzessiv verbesserte Prototypen her. Im Bauwesen ist ein solches Vorgehen nicht möglich. Wohl aber können mit Computerhilfe «virtuelle Prototypen» erzeugt und viele für den Tragwerksentwurf relevante Fragen gezielt beantwortet werden. Folgende Thesen wurden der Entwicklung eines Lernprogramms an der ETH Zürich zugrunde gelegt:

Bei der Tragwerkslehre sind von Anfang an Fragen des Tragwerksentwurfs und der baustatischen Modellbildung eng miteinander zu verknüpfen. Schon zu Beginn des Studiums sollte man lernen, wie reale Tragwerke für eine FE-Berechnung zielgerecht zu modellieren sind. Dieses Wissen wird von der Praxis erwartet und ist keineswegs trivial. Liegen Resultate vor (Verschiebungen, Momente, Spannungen, Traglastfaktoren, Eigenschwingungen etc.) und konnten sie auf Plausibilität geprüft werden, so stellt sich die grundlegende Frage nach ihrer konkreten Bedeutung für den Tragwerksentwurf. Die Abhängigkeit des Tragverhaltens von Entwurfsparametern wie Spannweiten, Steifigkeiten oder Auflagerbedingungen müssen die Studierenden beurteilen lernen, wofür «virtuelle Prototypen» hilfreich sind. Mit Lösungsverfahren dagegen brauchen sich Architektinnen gar nicht zu befassen und auch Bauingenieure nur marginal. FE-Programme sind auch in der Lehre (ausser in spezialisierten Vorlesungen) als *Black Boxes* einzusetzen. Anders geht es gar nicht, wir leben in einer Zeit der Spezialisierung.

Eine Lehre dieser Art ist nur dann erfolgversprechend, wenn die dafür eingesetzte Software so benutzerfreundlich ist wie etwa ein Videospiel (so verwöhnt sind unsere Studierenden heute). Dazu muss sie sich auf wenige, einfach zu durchschauende, jedoch nicht triviale Problemstellungen beschränken.

Lernumgebung

Basierend auf diesen Kriterien arbeiten die Autoren seit drei Jahren an einem «E-Learning»-Projekt, das auf die Erneuerung der Tragwerkslehre abzielt. Dazu gehört ein Baustatik-Programm, das weitgehend intuitiv zu



bedienen ist. Aus Gründen der Benutzerfreundlichkeit und weil es in den unteren Semestern zuerst um Grundkonzepte geht, wurde sein Anwendungsbereich auf wenig verformte, ebene Rahmen und Fachwerke unter einer einzigen Lastkombination beschränkt. Ganz trivial ist dies trotzdem nicht, folgende Berechnungsarten sind möglich:

- linear-elastisch nach Theorie erster Ordnung
- linear-elastisch nach Theorie zweiter Ordnung
- lineare Stabilität inklusive Knickformen
- dynamische Eigenschwingungen
- starr-plastische Traglastberechnungen

Zum Programm gehört eine speziell dafür konzipierte Lernumgebung, zu der Lehrer, Assistenten und eine Gruppe von Studierenden via Internet Zugang haben. Diese Lernumgebung und das Programm wurden so konzipiert, dass Lektionen, Demonstrationen und Übungen für eine bestimmte Lehrveranstaltung wohl mit Computerunterstützung, aber nach eigenen Kriterien frei gestaltet werden können.

Jeder Benutzer kann in einem auf dem Bildschirm dafür speziell geöffneten Fenster beliebige Kommentare verfassen. Es gibt zudem die Möglichkeit, den momentanen Zustand einer Berechnung inklusive aller Kommentare in einer Datei zu speichern und die Berechnung später fortzusetzen.

Eine Übung könnte so aussehen, dass die Lehrperson zuerst die noch nicht optimale Konfiguration eines Tragwerkes in einem oder mehreren Schritten oder Berechnungszuständen angibt und mittels Kommentaren die Problemstellung festlegt. Als Übung soll der Studierende ausgehend vom zuletzt gespeicherten

Zustand den Entwurfprozess nach bestimmten Kriterien weiterführen. Dabei arbeitet sie oder er mit einem lebendigen System, das sich beliebig verändern lässt und neue Resultate jeweils in Echtzeit ermittelt und darstellt. Ist die Aufgabe gelöst, speichert der Studierende die ergänzte Datei wieder zentral, wo sie dem Dozenten und den Assistenten zur Beurteilung und Korrektur zugänglich ist. Ähnliches ist möglich bei Vorlesungsdemonstrationen, die später in Ruhe nochmals erlebt und mit Varianten ergänzt werden können. Junge Studierende werden mit allen oben aufgelisteten Problemstellungen konfrontiert. Die benötigte Theorie ist relativ einfach, weil nur die grundlegendsten Annahmen und Zusammenhänge zu begreifen sind¹, nicht jedoch die Arbeitsweise der numerischen Lösungsverfahren, welche wie bei jedem FE-Programm hier versteckt bleibt.

www.easystatics.ethz.ch

Edoardo Anderheggen, Professor für Informatik, insbesondere Bauinformatik an der ETH Zürich.
anderheggen@ibk.baug.ethz.ch
 Claudia Pedron, wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin im gleichen Fachgebiet.
pedron@ibk.baug.ethz.ch. Die Autoren haben an der ETHZ die Lernplattform EasyStatics entwickelt.

Literatur

- 1 E. Anderheggen, P. Steffen: EasyStatics – A Tool for Teaching Structural Design. In deutscher und englischer Version als Tagungsunterlage und später am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich erhältlich

