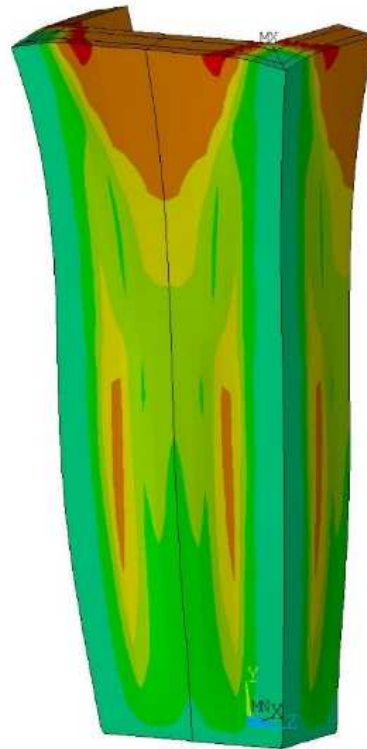


## Tragwerksanalyse und Tragwerksplanung

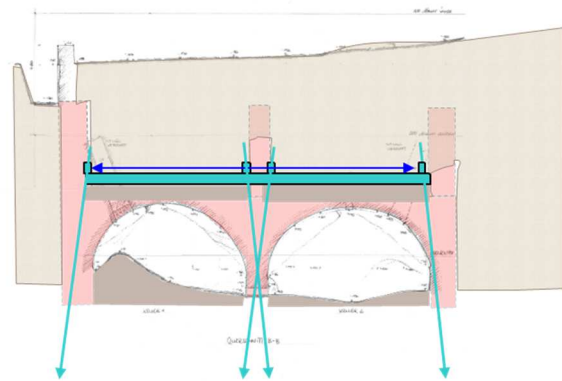
M. Jagfeld, 2019

Bis zum Ende des 19. Jahrhundert wurden Bauwerke auf Basis von Tradition, Erfahrung und Intuition von Handwerkern und Baumeistern erstellt. Je nach Zeit und Region kamen dabei die Materialien und Techniken zum Einsatz, mit denen die Bauaufgabe unter Berücksichtigung der vorhandenen Mittel am besten umgesetzt werden konnte. Im Laufe der Zeit ändern sich Anforderungen und Nutzungen. Gebäude werden erweitert, umgebaut oder abgerissen, weil eine Anpassung an neue Anforderungen nicht wirtschaftlich ist. Nicht mehr benötigte Bauwerke wurden sich selbst überlassen und verfielen. Manche waren auch den Belastungen nicht gewachsen und stürzten ein, andere fielen Bränden, Kriegen oder Naturkatastrophen zum Opfer. Die heute noch vorhandenen Baudenkmäler stellen eine Auswahl aller Bauten dar, die all diese Veränderungen überdauert haben.



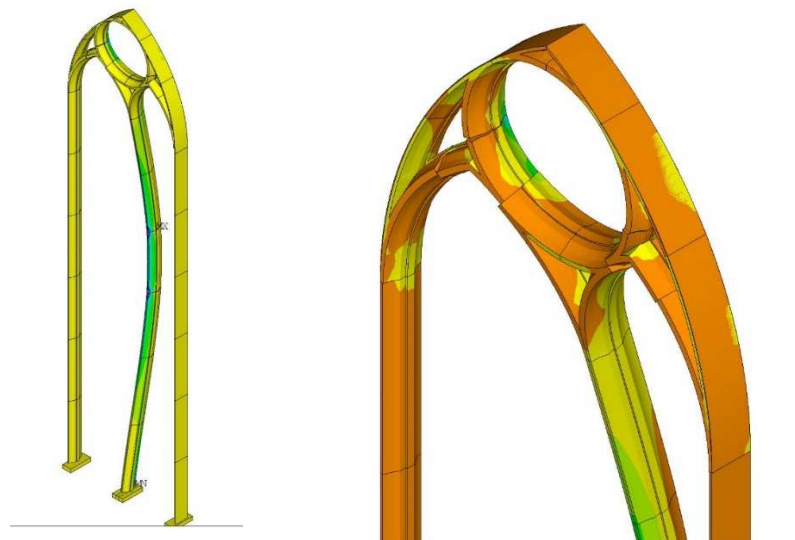
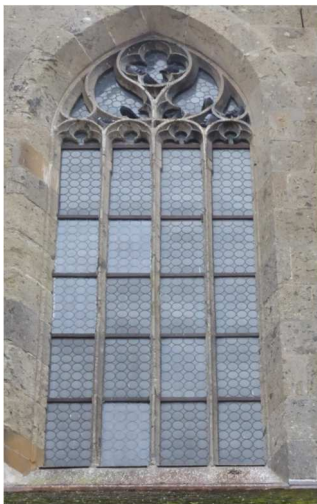
*Abbildung 1: Burgruine Karlstein bei Regenstauf: Berechnungen legen nahe, dass neben Verwitterung ein Brandereignis zu den vertikalen Rissen auf allen Seiten des Turmes geführt haben; der Bergfried wurde als lokales Baudenkmal im Jahr 2014 instandgesetzt*

Die Anforderungen an Bauwerke sind im Laufe der Zeit gestiegen. War zur Erbauungszeit oft ein einziger, mit offenem Feuer beheizbarer Raum stand der Technik und ein Kamin schon ein Luxus, wird heute in jedem Raum ein angenehmes Raumklima und elektrisches Licht erwartet. Eine moderne Sanitärausstattung ist ebenfalls selbstverständlich. Auch das Bedürfnis an die Sicherheit im Allgemeinen und die Standsicherheit im Besonderen sind kontinuierlich gewachsen.



*Abbildung 2: Ungenutztes Gewölbe im 2. Kellergeschoß eines „Belvedere“, das Gebäude wurde in den 1970er Jahren abgerissen und das 1. Kellergeschoß mit Schrott, Müll und Schutt verfüllt; die Belastung des Gewölbes hat sich vervielfacht, eindringendes Wasser hat den Mörtel der hochbeanspruchten Mittelwand in Teilbereichen zerstört, der Einsturz droht; eine künftige Nutzung ist aufgrund der Zugänglichkeit schwierig, der Vorschlag für den Erhalt ohne konkrete Nutzung wurde bisher nicht umgesetzt*

In den Erhalt von Bauwerken wird Geld investiert, wenn sie lokal, regional oder überregional eine kulturhistorische Bedeutung besitzen, wie sie z.B. Sakralbauwerken und Schlössern zugeschrieben wird. Bei anderen, alltäglicheren historische Bauwerke wird nur dann Geld in die Hand genommen, wenn die Möglichkeit einer angemessenen Nutzung gegeben ist. In der Regel sind Eingriffe in den Bestand und Umbauten erforderlich, damit der gewünschte Standard erreicht werden kann. Dabei müssen in der Regel die heutigen Bauvorschriften hinsichtlich Brandschutz, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit eingehalten werden. Andere Bauwerken erfordern aufgrund sichtbarer Schäden wie z.B. Risse, Verformungen eine statische Untersuchung.



*Abbildung 3: Gotisches Maßwerkfenster; Rechenmodell zur beispielhaften Untersuchung der Steinstruktur bei Belastung durch Eigengewicht und Wind; hohe Kantenpressungen im freistehenden mittleren „Steinstab“ führt zu den oftmals beobachteten Abplatzungen, Verschiebungen und Klaffungen in den Fugen des Maßwerks*

Bei Umbauten obliegt es der Tragwerksplanung ist es, die Standsicherheit von Bauwerken zu gewährleisten. In anderen Fällen erfordert das Bauwerk durch sichtbarer Schäden wie z.B. Risse, Verformungen eine

statische Untersuchung. Im Altbau stellt neben einer gründlichen Aufnahme des Bestandes und der Schäden die rechnerische Untersuchung einen Schwerpunkt der Arbeit dar.

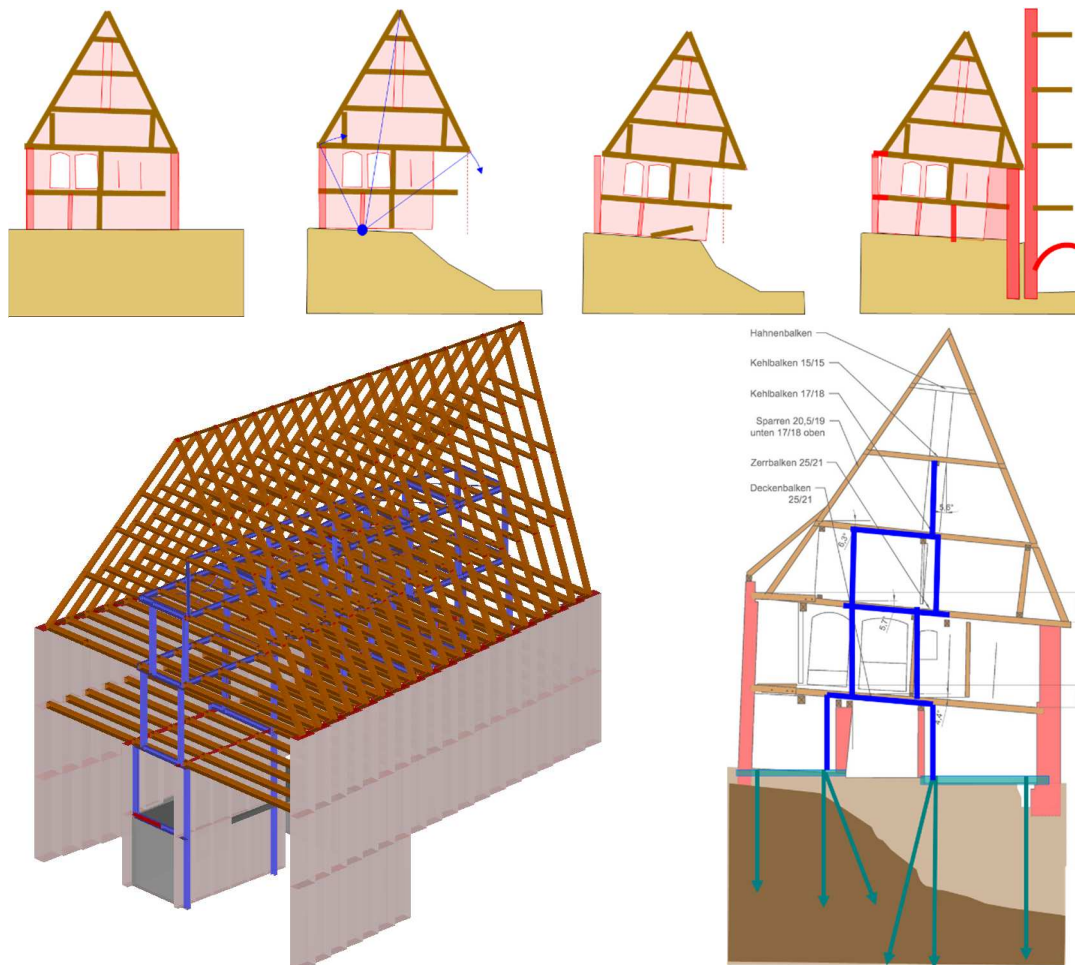
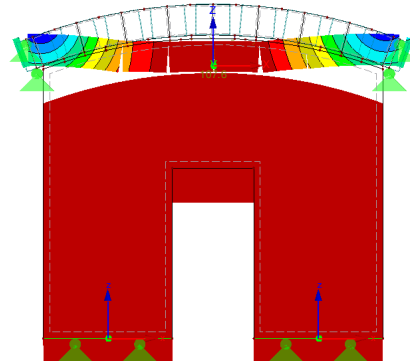


Abbildung 4: Handwerkerhaus aus dem 15. Jhrd. In Augsburg; aufgrund eines Unfalls beim Bau des Nachbargebäudes kam es im Jahr 1903 in dem heterogenen Baugrund zu einem Grundbruch der einen Teileinsturz zur Folge hatte. Die linke Gebäudeteil und das Dach blieb erhalten, die rechte Außenwand und Teile der Giebelwand sind eingestürzt. Das Dachwerk und Teile der Flurwand haben sich um 6° nach rechts verdreht. Zum Erhalt des Gebäudes und zur weiteren Nutzung als Wohnraum war der Einbau einer aussteifenden Stahlkonstruktion und eine Nachgründung des Gebäudes erforderlich

Die in der Wirklichkeit vorhandene Struktur muss dazu in einem Rechenmodell abgebildet werden, das die hinsichtlich des Tragverhaltens wichtigen Bauteile und Eigenschaften des Gebäudes berücksichtigt und unwichtige vernachlässigt. Die „Modellbildung“ ist die Grundlage der rechnerischen Untersuchungen, die heutzutage in der Regel mit Computerprogrammen erfolgen. Sie bestimmt die Aussagekraft und die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse und den Zeitaufwand, der dazu erforderlich ist und stellt damit eine der wichtigsten Ingenieurleistungen dar. Was im Modell nicht berücksichtigt ist, ist auch in den Ergebnissen nicht berücksichtigt. Denkmalgerechte Planung bedeutet, die Eingriffe in den Bestand des Baudenkmals so gering wie möglich zu halten. Aus diesem Grund muss das Rechenmodell so gewählt werden, dass die Tragreserven optimal genutzt werden.

In manchen Fällen ermöglicht erst die rechnerische Untersuchung das Verständnis der Lastabtragung und der Schadensmechanismen.

Ziel des Faches Tragwerksanalyse und Tragwerksplanung ist, den Studierenden Kompetenzen in dieser Modellbildung zu vermitteln. Als Grundlage dazu werden anhand von Beispielen aus der Praxis die statische Wirkungsweise historischer Konstruktionen behandelt, typische Schadensbilder, deren Ursachen und mögliche Instandsetzungsmaßnahmen besprochen. Weiter wird vermittelt, welche computergestützten Berechnungsmethoden heute zur Verfügung stehen, für welche Anwendungen sie geeignet sind, welche Aussagen damit möglich sind und welcher Aufwand zu ihrer Anwendung erforderlich ist. Der Umgang mit gängigen Programmsystemen wird geübt.



*Abbildung 5: Studentische Übung: Bogen mit nachträglicher Untermauerung; Die Außenwand (rechts) kippt geringfügig nach außen, die Spannweite des Bogens wird größer, er setzt sich in der Mitte auf die Untermauerung ab. Deutlich neben dem Scheitel entstehen auf der Unterseite klaffende Fugen im Bogenmauerwerk. Der Schadensmechanismus wird rechnerisch mit einem Finite-Elemente-Modell nachvollzogen.*

Die Studierenden sollen einen Überblick bekommen, welche statischen Eigenschaften wichtig sind und in die Modellbildung Eingang finden müssen, wo mit erhöhtem Bearbeitungsaufwand Tragreserven berücksichtigt werden können, um Eingriffe zu minimieren und wo die Grenzen sind, die zur Sicherstellung der Standsicherheit eingehalten werden müssen.

Theorie ist Theorie und Praxis ist Praxis. Um die vermittelten Kenntnisse zu festigen, werden sie an praxisnahen Beispielen und im Rahmen der Anwendungswoche an einem realen Bauwerk angewandt und geübt.

Der Kurs besteht aus einem Vertiefungsfach mit 4 SWS und einem Profilierungsbereich mit 6 SWS und einer praktischen Anwendungswoche.



## Lernziele

### Tragwerke verstehen

- Welche Tragelemente sind vorhanden, welche Schäden gibt es?
- Wie funktioniert die Lastabtragung?
- Welche Auswirkungen hat die Baugeschichte?

### Tragwerke bewerten

- Gibt es konstruktionsbedingte Probleme bei der Lastabtragung?
- Beeinträchtigen vorhandene Schäden und Umbauten die Lastabtragung?

### Tragwerke berechnen

- Wie kann die vorhandene Struktur in Rechenmodellen abgebildet werden?
- Welche Methoden der Berechnungen gibt es, welche sind für die jeweilige Aufgabenstellung sinnvoll?
- Welche Aussagen können gewonnen werden, wie sind sie zu bewerten?

### Tragwerke beurteilen und instandsetzen

- Ist die Standsicherheit gegeben?
- Welche Maßnahmen sind möglich, welche sinnvoll?
- Wie kann die Wirksamkeit einer Maßnahme untersucht werden?

## Berechnungsmethoden und Anwendungen

### Stabwerkstatik

Anwendung z.B. für historische Dachtragwerke und gemauerte Bogenkonstruktionen

- Linear / nichtlinear
- 2D / 3D
- Modellierung von Holzverbindungen mit Nichtlinearen Stäben oder Stabanschlüsse
- Modellierung von Rissbildungen in gemauerten Bogenkonstruktionen

Verwendete Software: RStab (Dlubal GmbH)

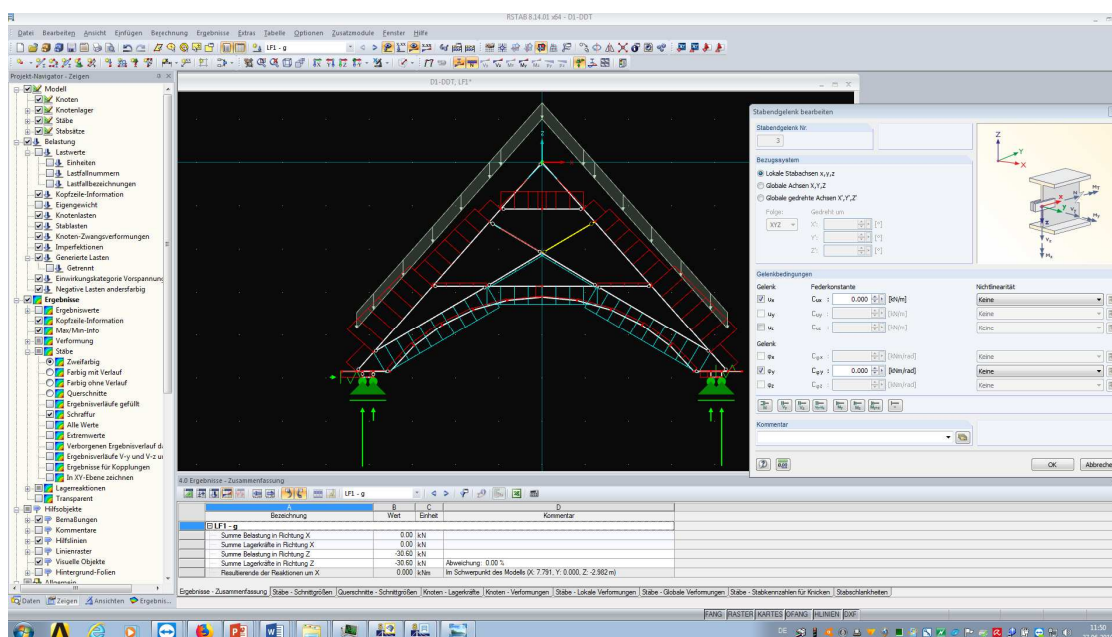


Abbildung 6: Studentische Übung: Kehlbalkendach ohne durchlaufende Zerrbalken; Normalkräfte rot = Druck, blau = Zug; Anschlüsse der Schrägstrebe an Sparren mit Hakenblatt und Überblattung der Schrägstrebe mit dem Kehlbalken ermöglicht die Übertragung von Zugkräften, oberer Anschluss der Schrägstrebe an den Sparren mit geradem Blatt kann kein Zug übertragen; Horizontalschub des Kehlbalkendachs kann kurzgeschlossen werden

## Finite-Elemente-Methode (mit RFEM und ANSYS)

Anwendung z.B. für gemauerte Gewölbe, Lastausbreitung in Natursteinen

- 2D / 3D, linear / nichtlinear, statisch / dynamisch
- Scheiben, Schalen, Volumen
- Modellierung von Rissbildungen in gemauerten Bogen- und Wölbkonstruktionen

Verwendete Software: RFEM (Dlubal GmbH), ANSYS (ANSYS Inc.)

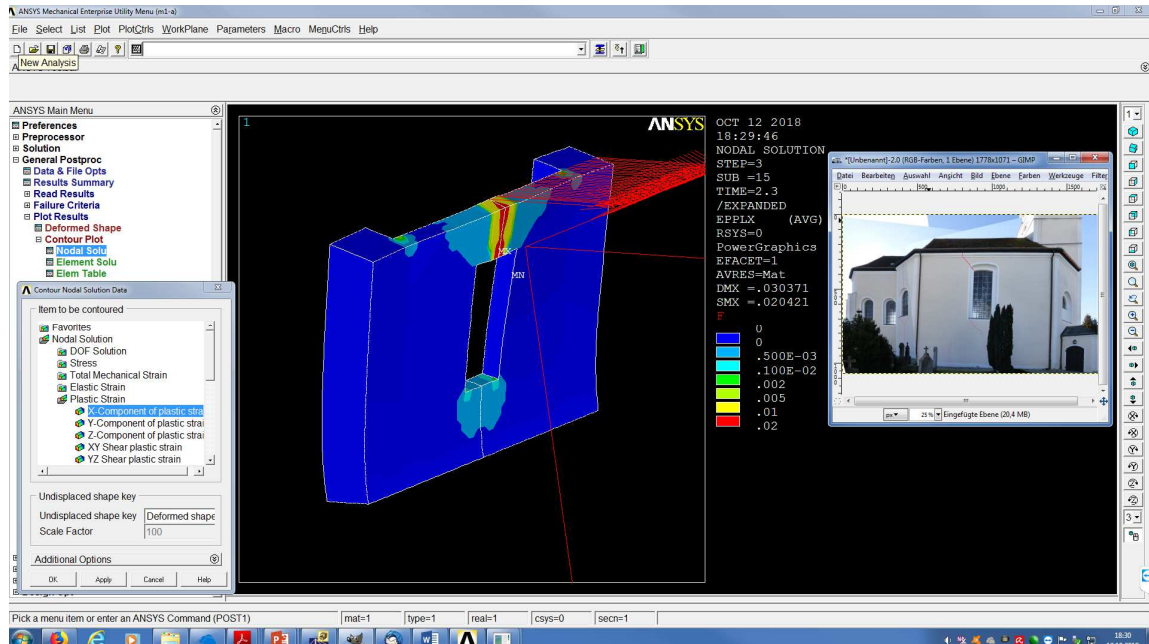


Abbildung 7: Studentische Übung: Ursache für Vertikalrisse in Längswänden von Kirchenbauwerken; Horizontale Kräfte aus Dach wirken auf die Mauerkrone der Längswand; Mauerkrone wird nach außen geschoben, sie ist an den Enden durch Wände gehalten, die entstehende Durchbiegung führt zu vertikalen Rissen meist in den Fensterachsen