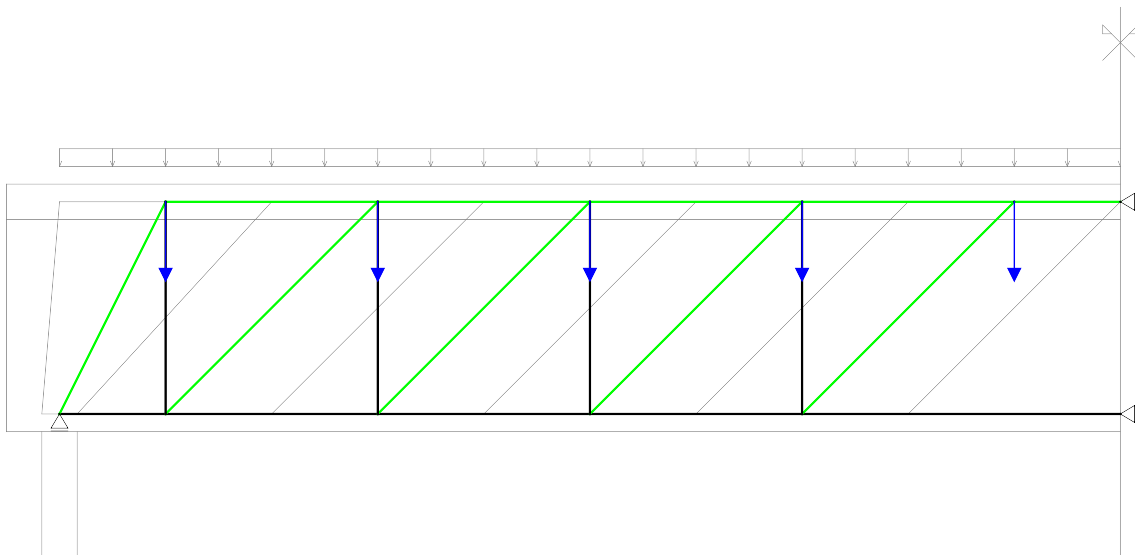


# Fachwerkmodelle berechnen mit FACHWERK und FACHWERK3D



Programmdokumentation

Adrian Vontobel

20. Mai 2016

4. Ausgabe  
seit 2008

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Das Programm Fachwerk</b>	<b>3</b>
1.1	Zweck . . . . .	3
1.2	Hintergrund . . . . .	5
1.3	Unterschied zu anderen Programmen . . . . .	5
1.4	Wofür sich Fachwerk nicht eignet . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Eigenschaften</b>	<b>6</b>
2.1	Einfach zu bedienende graphische Oberfläche . . . . .	6
2.2	Gleichgewicht pur . . . . .	6
2.3	Keine unnötigen Lager oder Nullstäbe . . . . .	7
2.4	Bruchmechanismen . . . . .	7
2.5	Weitere Merkmale . . . . .	8
2.6	Lizenz GPL . . . . .	8
2.7	Programmentwicklung . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Bedienung</b>	<b>9</b>
3.1	Kurzanleitung . . . . .	9
3.2	Selektion, Maus, Layer . . . . .	10
3.3	Berechnungsoptionen . . . . .	10
3.4	Hintergrundzeichnungen . . . . .	11
3.5	Modell dokumentieren . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Das Programm Fachwerk3D</b>	<b>15</b>
4.1	Weniger ist mehr . . . . .	15
4.2	Hintergrundzeichnungen . . . . .	16
4.3	Modelldokumentation . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Erweiterte Funktionen</b>	<b>17</b>
5.1	Knotenposition suchen . . . . .	17
5.2	Stabkräfte vorschlagen . . . . .	18
5.3	Automatische Modellreduktion . . . . .	18
<b>6</b>	<b>Fachwerkmodelle</b>	<b>21</b>
6.1	Vorgehen . . . . .	21
6.2	Typische Muster . . . . .	22
6.3	Beispiele zur Berechnung . . . . .	23
6.4	Beispiele zur Visualisierung . . . . .	27

# 1 Das Programm Fachwerk

## 1.1 Zweck

Das Programm FACHWERK soll Bauingenieuren im Betonbau die Anwendung von Spannungsfeldern und Fachwerkmodellen erleichtern. Es ist ein einfaches Fachwerkprogramm, welches einzig die Gleichgewichtsbedingungen anwendet.

Bei statisch unbestimmten Systemen berechnet das Programm die durch das Gleichgewicht bestimmten Stäbe. Den vorerst unbestimmten Stäben können Stabkräfte zugewiesen werden. Werden mehr Stabkräfte zugewiesen als zur statischen Bestimmtheit erforderlich, und wird dabei das Gleichgewicht verletzt, meldet das Programm den Widerspruch.

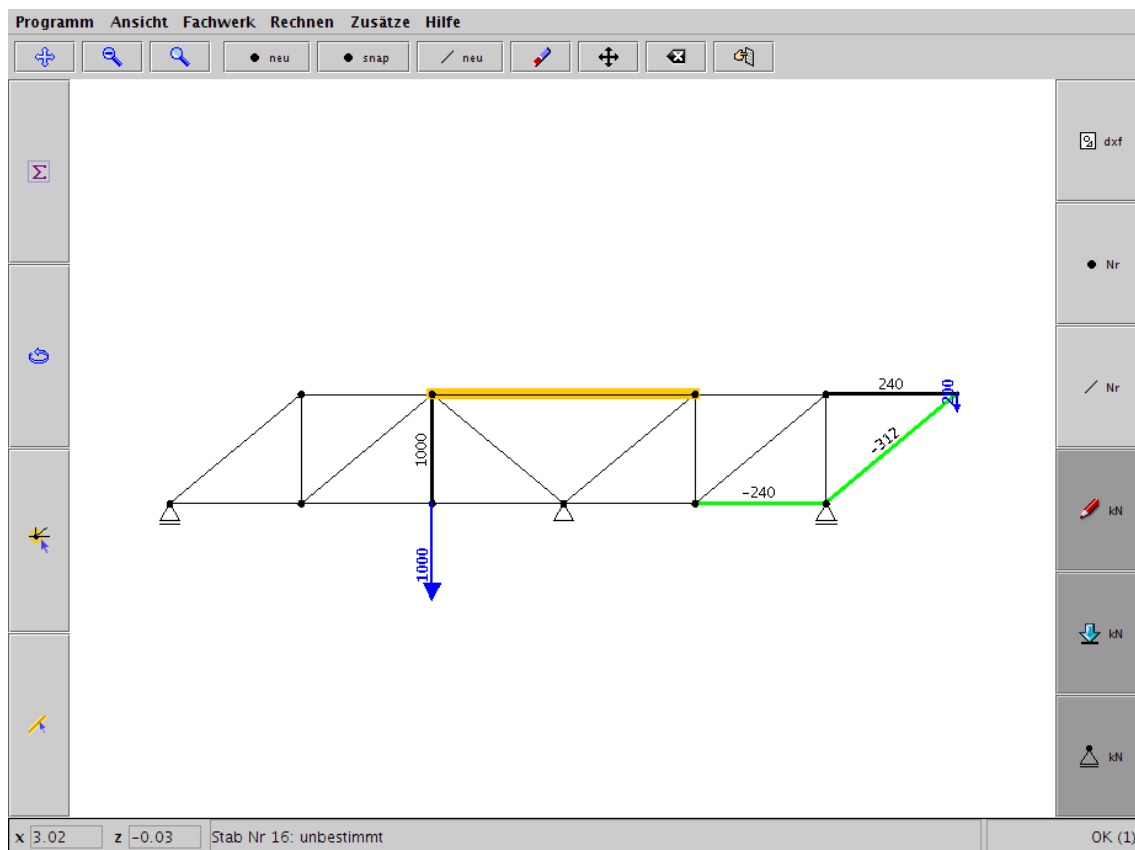


Abbildung 1: Statisch unbestimmtes Modell

Das Beispiel (Abb. 1) zeigt ein Fachwerkmodell für einen dreifach gelagerten Balken. Das Fachwerk ist statisch unbestimmt. Die dicken Stäbe konnten bestimmt werden: schwarz jene mit **Zug**, grün jene mit **Druck**. Die anderen Stäbe sind nach wie vor unbestimmt, erkennbar an der dünnen schwarzen Linie. Die Zahl im Statusfeld unten rechts verrät, dass noch eine Stabkraft gesetzt werden kann.

Der gelb markierte Stab wird **gesetzt** (300 kN). Stäbe mit vorgegebener Kraft werden blau dargestellt. Dann wird die Berechnung erneut gestartet. Die Abbildung 2 zeigt das fertig

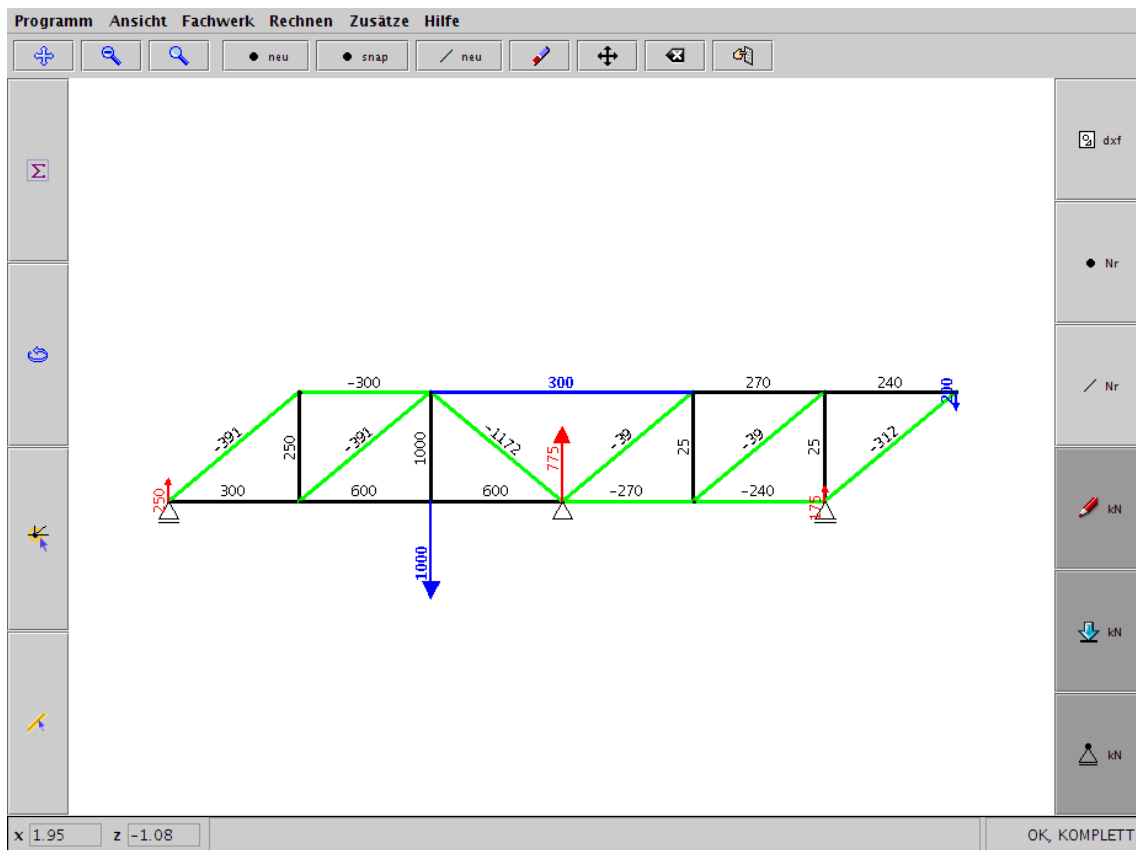


Abbildung 2: Fertig berechnetes Modell

berechnete Fachwerkmodell.

## 1.2 Hintergrund

Zur Bemessung und konstruktiven Ausbildung von Betontragwerken sind Spannungsfeldmodelle geeignet. Diese auf der Plastizitätstheorie beruhende Methode ist klar und anschaulich. Auf einheitliche Art und Weise kann der Widerstand des Tragwerks untersucht werden [1]. In vielen Fällen kann diese Methode «von Hand» ohne allzu grossen Aufwand angewendet werden. Manchmal jedoch wäre Unterstützung durch ein Computerprogramm nützlich, welches die Durchrechnung des Modells übernehme. Es bliebe mehr Zeit für die Entwicklung der Spannungsfelder und die konstruktive Ausbildung.

Ein Programm, welches allgemeine ebene Spannungsfelder berechnet, ist dem Autor nicht bekannt. Ein in vielen Fällen praktikables Vorgehen ist, in ein ausgebildetes und aufgezeichnetes Spannungsfeldmodell ein Fachwerkmodell zu legen. Die Stäbe des Fachwerks entsprechen den Resultierenden der Felder.

## 1.3 Unterschied zu anderen Programmen

Jedes Stabstatik-Programm kann ideale Fachwerke berechnen und somit einen Gleichgewichtszustand für das Fachwerkmodell finden. Ein Problem entsteht jedoch, wenn das Fachwerk statisch unbestimmt ist. Die linear-elastischen Programme berechnen alle Stabkräfte aufgrund der Steifigkeiten. Bei Fachwerkmodellen zur Berechnung von Betontragwerken haben Stabsteifigkeiten jedoch keine unmittelbare Bedeutung und sollen daher auch nicht verwendet werden. Stattdessen will man einem Stab zum Beispiel die Fließkraft einer Anzahl Armierungseisen vorgeben. Auf diese Aufgabe ist das vorliegende Programm FACHWERK ausgelegt.

## 1.4 Wofür sich Fachwerk nicht eignet

- Für Verformungsberechnungen  
Das Programm verwendet ausschliesslich die Gleichgewichtsbedingungen. Es kennt keine Steifigkeiten.
- Zur Momentenbestimmung  
Das Programm kennt nur Zug und Druck.
- Für den Stahlbau  
Natürlich kann FACHWERK die Stabkräfte idealer Fachwerke berechnen. Ansonsten gibt es jedoch geeignetere Programme für den Stahlbau.

## 2 Eigenschaften

### 2.1 Einfach zu bedienende graphische Oberfläche

Nach nur wenig Einarbeitungszeit kann das Programm eingesetzt werden. Die Eingabe des Modells erfolgt schnell.

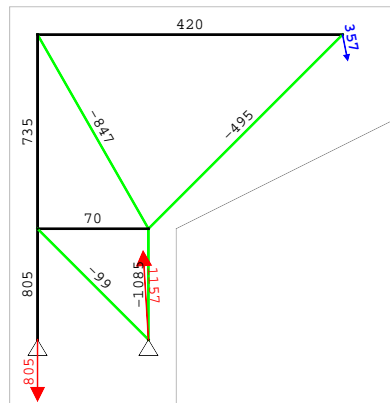


Abbildung 3: Statisch bestimmtes Beispiel (Konsolle)

### 2.2 Gleichgewicht pur

Einzig die Gleichgewichtsbedingungen werden angewendet. Bei statisch unbestimmten Modellen können direkt Stabkräfte (z.B. die Fließkraft) zugewiesen werden. Stabsteifigkeiten werden nicht verwendet.

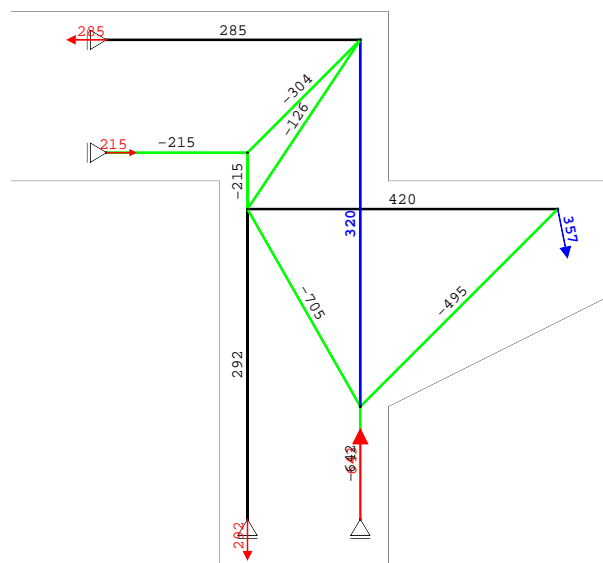


Abbildung 4: Statisch unbestimmtes Beispiel (Konsolle)

### 2.3 Keine unnötigen Lager oder Nullstäbe

Fachwerkmodelle dürfen *instabil* sein, solange ein Gleichgewichtszustand möglich ist. Lager können weggelassen werden, wenn sie im betrachteten Lastfall für das Gleichgewicht nicht notwendig sind. Ebenso müssen keine Nullstäbe eingeführt werden.

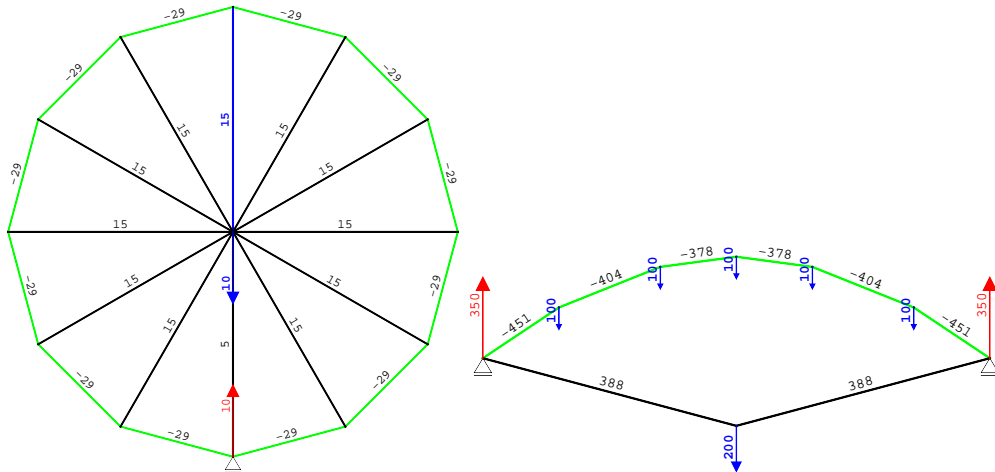


Abbildung 5: Instabile Gleichgewichtslage

Für die Berechnung von Fachwerkmodellen ist diese Programmeigenschaft sehr praktisch, denn meist betrifft eine Instabilität nur das Stabmodell, nicht die modellierte Konstruktion. Bei Betonscheiben in räumlichen Modellen (siehe Kapitel 4) muss nicht jeder Knoten senkrecht zur Ebene gehalten werden.

### 2.4 Bruchmechanismen

Bruchmechanismen werden entdeckt und dargestellt, wenn die Gleichgewichtsbedingungen verletzt sind. So ist es einfach, fehlende Stäbe zu finden.

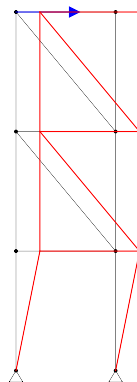


Abbildung 6: Mechanismus

## 2.5 Weitere Merkmale

- normunabhängig  
FACHWERK kann mit verschiedenen Tragwerksnormen benutzt werden, da das Programm nur die Gleichgewichtsbedingungen anwendet. Die Verwendung der *SI*-Einheiten (kN, m) wird jedoch erwartet.
- Zeichnungen  
Im Hintergrund können Zeichnungen im CAD-Format *dxf* oder im einfachen textbasierten Format *bgd* (siehe Kapitel 3.4) dargestellt werden.
- massstäbliches Drucken  
1:50, 1:100, 1:20
- Dokumentation  
Die Modelldokumentation beinhaltet die Knotenkoordinaten, Stäbe, Kräfte, etc. und kann übersichtlich auf ein Blatt Papier ausgedruckt werden.
- plattformunabhängig  
FACHWERK läuft auf allen Computern, wo *Java* installiert ist: Linux, Windows, Mac OS X, Unix
- Sprachen  
FACHWERK ist auf Englisch, Deutsch und Französisch übersetzt worden.

## 2.6 Lizenz GPL

Die Programme FACHWERK und FACHWERK3D unterliegen der *GNU General Public License Version 2*. Die Lizenztexte<sup>1</sup> liegen dem Programm bei.

Die Verwendung des Programms bedingt, dass der Nutzer fähig und willens ist, die Resultate sorgfältig auf ihre Plausibilität zu prüfen. Jegliche Haftung wird abgelehnt.

## 2.7 Programmentwicklung

FACHWERK ist seit 2003 im Einsatz. Die geplanten Funktionen sind eingebaut. Es ist vorgesehen, das Programm zu unterhalten. Darum empfiehlt es sich, gelegentlich auf <http://fachwerk.sourceforge.net> nachzuschauen, ob eine neue Version vorliegt.

Die vorliegende Programmdokumentation basiert auf diesen Versionen:

- FACHWERK 0.4.4 (März 2016)
- FACHWERK3D 0.4.4 (März 2016)

---

<sup>1</sup>Die verwendete Mathematikbibliothek unterliegt einer eigenen Open Source Lizenz.



## Literatur

- [1] *Bemessung von Betontragwerken mit Spannungsfeldern*  
A. Muttoni / J. Schwartz / B. Thürlimann, Birkhäuser, 1997
- [2] *Tragverhalten von Stahlbeton*  
P. Marti / M. Alvarez / W. Kaufmann / V. Sigrist, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 1999
- [3] *Konstruieren im Stahlbetonbau*  
J. Schlaich / K. Schäfer, Stuttgart, Betonkalender, 1998
- [4] *Detailing for Post-Tensioning*  
VSL report series 3, VSL International Ltd., 1991
- [5] *Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Betonbauten*  
Ph. Stoffel / P. Marti, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 1999
- [6] *Experimental Investigation of Shear Diaphragms in Reinforced Concrete Slabs*  
Joost Meyboom, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 2001
- [7] *Topologie des champs de contraintes pour le dimensionnement des structures en béton armé*  
Neven Kostic, Laboratoire de construction en béton, EPFL Lausanne, 2009