

Dipl.-Ing. David Hübel

Ebene Stabwerke aus Holz

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S602.de Holz-Stabwerk, ebene Systeme

Viele in der Baupraxis vorkommende Konstruktionen können als ebene Stabwerke abgebildet werden. Mit dem Modul S602.de können beliebige ebene Holz-Stabwerkssysteme, zum Beispiel Rahmensysteme oder Fachwerke, modelliert und berechnet werden. Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann mit den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung oder mit den Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung geführt werden.

The screenshot displays the BauStatik software interface for a truss model. The main window shows the 'Eingabe: 05 - Rahmen - STEICO LVL (S602.de)' project. The 'Knoten' table lists the nodes, and the 'Stäbe' table lists the members. The 'Knotendefinition' table shows the coordinates of the nodes, and the 'Stabdefinition' table shows the material and cross-section of the members. A diagram of the truss structure is shown, along with a table of 'Stabeneigenschaften' (Member Properties) and a 'Modellhinweise' (Model Notes) section.

Nr.	x [m]	z [m]
1	0.000	0.000
2	0.000	1.000
3	3.000	1.750
4	3.000	0.000

Nr.	von Knoten	bis Knoten	l [m]	Material*	Querschnitt
1	1	2	1.00	FSH STEICO LVL R ⁰	b/h=8/20cm
2	2	3	3.09	FSH STEICO LVL R ⁰	b/h=8/30cm
3	3	4	1.75	FSH STEICO LVL R ⁰	b/h=8/20cm

Allgemein

Das Ziel einer statischen Berechnung ist die sichere Bemessung des Tragwerks im Hinblick auf Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit. Je nach Tragverhalten sind die Schnittgrößen entweder nach Theorie I. oder II. Ordnung zu ermitteln. Eine Stabilitätsuntersuchung ist unverzichtbarer Bestandteil einer statischen Analyse eines ebenen Stabwerkes.

Mit dem Modul S602.de können ebene Stabwerkssysteme definiert werden. Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt wahlweise nach Theorie I. Ordnung oder nach Theorie II. Ordnung.

System

Im Eingabekapitel „System“ erfolgt die Definition des Stabtragwerkes. Es können beliebige ebene Systeme erzeugt werden. Neben Knoten und Stäben werden im Eingabekapitel „System“ auch Auflager und Gelenke definiert.

Definition des Stabtragwerkes

Das ebene Stabwerk wird durch die Vorgabe von Knoten und Stäben modelliert. Die Eingabe erfolgt numerisch über Tabellen. Durch die automatische Aktualisierung der Systemgrafik besteht jederzeit eine visuelle Kontrollmöglichkeit der Eingabedaten.

Gelenke und Auflager

Gelenke sind als Stabendgelenke jeweils einem der gelenkig miteinander verbundenen Stäbe zuzuweisen. Normalkraft-, Querkraft- und Momentengelenke sowie Kombinationen daraus sind möglich.

Ebenso möglich sind schiefe Auflager und die Berücksichtigung von elastischen Auflagerbedingungen, die über Weg- oder Drehfedern abgebildet werden.

The screenshot shows the 'System' tab with several tables for defining joints and supports:

Knoten			
Nr.	x [m]	z [m]	
1	0.000	0.000	
2	0.000	1.000	
3	3.000	1.750	
4	3.000	0.000	

Stäbe			
Nr.	von Knoten	bis Knoten	
1	1	2	
2	2	3	
3	3	4	

Stabendgelenke							
von Stab	bis Stab	Ort	N	M	V	Δ St.	
1	ERSTE	LETZTI	BEIDE	fest	fest	fest	

globale Auflagerdefinitionen							
von Knoten	bis Knoten	Trans,X	Trans,Z	Rot,Y	Δ K.		
1	1	4	fest	fest	frei		3

lokale Auflagerdefinitionen							
von Knoten	bis Knoten	Trans,R	Trans,T	Rot,S	Winkel [°]	Δ K.	
1							

Auflagerelastizitäten
J/N vorgeben

Bild 1. Eingabe „System“

Über die Funktion „Lokale Auflagerdefinition“ sind Auflager mit freien Winkeln zu den Stäben möglich. Elastisch gelagerte Auflagerpunkte werden definiert, indem zunächst ein Auflagerpunkt gesetzt wird, dem im nächsten Schritt unter „Auflagerelastizitäten“ eine Federsteifigkeit zugewiesen wird.

Belastung

Im Eingaberegister „Belastung“ erfolgt die Definition der Lasten. Das Eigengewicht der Konstruktion wird auf Wunsch automatisch ermittelt und berücksichtigt.

Als Lastarten stehen Gleichlasten, Punktlasten und Trapezlasten zur Verfügung. Die Lasten wirken entweder global in x- oder y-Richtung oder senkrecht zur Stabachse. Außerdem können Einzelmomente, Temperaturänderungen, Auflagerverschiebungen und Auflagerverdrehungen definiert werden.

Auflagerverschiebungen werden bezogen auf das globale Koordinatensystem als Verschiebung in x- bzw. z-Richtung eingegeben. Außerdem können Verdrehungen um die y-Achse vorgegeben werden.

The screenshot shows the 'Belastungen' tab with a dropdown menu open for 'Lasteingabe 01'. The menu options are:

- Gleichlast in lokaler Richtung (orthogonal)
- Punktlast am Stab in globalen Richtungen (x,z)
- Punktlast am Stab in lokaler Richtung (orthogonal)
- Punktlast am Knoten in globalen Richtungen (x,z)
- Gleichlast in globalen Richtungen (x,z)
- Gleichlast global (x,z, bezogen auf Stabrichtung)
- Gleichlast in lokaler Richtung (orthogonal)
- Blocklast in globalen Richtungen (x,z)
- Blocklast in lokaler Richtung (orthogonal)
- Trapezlast in globalen Richtungen (x,z)
- Trapezlast in lokaler Richtung (orthogonal)
- Deckenlast in globaler Richtung (z)
- Auflagerverschiebung
- Temperaturlast

Bild 2. Eingabe „Belastungen“

Material und Querschnitte

Im Kapitel „Material/Querschnitt“ kann der Querschnitt und das Material der einzelnen Stäbe definiert werden.

Die Querschnitts- und Materialdefinition erfolgt stabbezogen. Die im Holzbau üblichen Rechteckquerschnitte werden über die Eingabe von Breite und Höhe definiert.

The screenshot shows the 'Material/Querschnitt' tab with two tables:

Stabdefinitionen						
	von	bis	Δ St.	Art	b [cm]	h [cm]
1	ERSTER	LETZTEF		FSH ST ...	4,5	20,0
2	2	2		FSH ST ...	4,5	24,0

Nutzungsklasse				
	von	bis	Δ St.	NKL
1	ERSTER	LETZTER		2

Bild 3. Eingabe „Material/Querschnitt“

Materialdefinition:

Für die Stäbe stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- Vollholz aus Nadelholz oder Laubholz
- Brettschichtholz
- KVH
- Duo- und Trio-Holz
- Furnierschichtholz (Kerto, STEICO, BauBuche)

Die Steifigkeits- und Festigkeitswerte werden entsprechend der gewählten Festigkeitsklasse automatisch aus den Stammdaten entnommen.

Um dem Einfluss des Umgebungsklimas während der vorgesehenen Nutzungsdauer Rechnung zu tragen, wird das Holzbauteil in eine Nutzungsklasse (NKL) eingeordnet.

Mat./Querschnitt		Material- und Querschnittswerte					
Material	Material	f_{mk}	f_{tdk}	f_{ok}	f_{tdk}	f_{yk}	E
	FSH STEICO LVL RP	44.0	36.0	40.0	7.5	4.6	14000
	p: Beanspruchungsrichtung parallel zur Desfurnierfaser						
Querschnitt	Nr	b	h	A	I_y	I_z	
		[cm]	[cm]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	
	1	8.0	20.0	160.0	5333	853	
	2	8.0	30.0	240.0	18000	1280	
Grafik	Querschnittsgrafiken [cm]						
M 1:10	Querschnitt Nr. 1: 8/20	Querschnitt Nr. 2: 8/30					

Bild 4. Ausgabe „Material/Querschnitt“

Material- und Querschnitteigenschaften können für mehrere Stäbe gleichzeitig oder auch für einzelne Stäbe vorgegeben werden. Wenn viele Stäbe mit den gleichen Materialeigenschaften vorkommen, ist es sinnvoll, diese Eigenschaften zunächst allen Stäben zuzuweisen. Ausnahmen werden dann über die Definition von weiteren Querschnitten berücksichtigt.

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) wird auf Basis der DIN EN 1995-1-1 geführt.

Nachweise (GZT)		Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1995-1-1						
		- Die Biegefestigkeit wurde mit dem Beiwert k_b nach 3.4(3) modifiziert. - Die Zugfestigkeit wurde mit dem Beiwert k_t nach 3.4(4) modifiziert.						
Biegung Abs. 6.1	Nachweis der Biegetragfähigkeit							
	x	Ek	k_{mod}	N_d	$\sigma_{m,d}$	$f_{b,d}$	η	
	[m]	[-]	[-]	[kN, kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	
Stab 1	1.00	5	0.80	-1.19	0.07	24.62		
	(L = 1.00 m, $k_{C,y} = 1.00$, $k_{C,z} = 0.90$, $k_{crit} = 1.00$)							
Stab 2	1.10	11	0.90	-0.86	0.04	27.69	0.10	
	(L = 3.09 m, $k_{C,y} = 0.94$, $k_{C,z} = 0.16$, $k_{crit} = 0.80$)							
Stab 3	0.00	17	0.90	-5.06	0.32	27.69		
	(L = 1.75 m, $k_{C,y} = 0.96$, $k_{C,z} = 0.47$, $k_{crit} = 1.00$)							
Querkraft Abs. 6.1.7	Nachweis der Querkrafttragfähigkeit							
	x	Ek	k_{mod}	$V_{s,d}$	τ_d	$f_{v,d}$	η	
	[m]	[-]	[-]	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	
Stab 1	0.00	21	0.90	2.43	0.23	3.18	0.07	
Stab 2	3.09	17	0.90	-5.57	0.35	3.18	0.11	
Stab 3	0.00	16	0.90	3.71	0.35	3.18	0.11	
Stabilität Abs. 6.3	Nachweis der Stabilität							
	Der Einfluss der Stabilität ist im Nachweis der Biegetragfähigkeit enthalten. Folgende Ersatzstablängen werden berücksichtigt.							
Ersatzstablängen		l	$l_{ef,y}$	$l_{ef,z}$	$l_{ef,m}$			
		[m]	[m]	[m]	[m]			
Stab 1		1.00	1.00	1.00	1.00			
Stab 2		3.09	3.09	3.09	3.09			
Stab 3		1.75	1.75	1.75	1.75			

Bild 5. Ausgabe „Nachweise (GZT)“

Biegung

Der Nachweis der Biegung und der Stabilität erfolgt auf der Grundlage des Ersatzstabverfahrens nach der Gleichung (6.33). Für stabilitätsgefährdete Bauteile wird die effektive Länge durch Vorgabe der Knicklänge ermittelt. Alternativ kann l_{ef} auch feldweise direkt eingegeben werden.

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

mit

$\sigma_{m,d}$ Bemessungswert der Biegespannung
 $f_{m,d}$ Bemessungswert der Biegefestigkeit
 k_{crit} Beiwert für Biegedrillknicken nach [1], Gl. (6.34)

Querkraft

Der Querkraftnachweis wird nach Gleichung (6.13) geführt.

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

mit

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{h \cdot b \cdot k_{cr}}$$

für Rechteckquerschnitte

τ_d Bemessungswert der Schubspannung
 $f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit
 k_{cr} Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses von Rissen nach [2], NDP zu 6.1.7 (2)

Stabilität

Der Nachweis der Stabilität des Trägers erfolgt nach dem Ersatzstabverfahren nach DIN EN 1995-1-1 [1], Abschn. 6.3.2. Dabei wird vereinfachend über die gesamte Länge ein Stabilitätsverlust durch Biegedrillknicken infolge M_y und/oder Knicken infolge einer Normalkraft untersucht. Der Einfluss der Stabilität wird dann im Nachweis der Biegetragfähigkeit berücksichtigt.

Vorbemerkung	System	Belastungen	Material/Querschnitt	Nachweise
Details	Ausgabe		Erläuterung	
Stabilität 01				
von	ERSTER	von Stab		
bis	LETZTER	bis Stab		
Δ St.				
J/N	<input type="checkbox"/>	Achse in y-Richtung gehalten		
J/N	<input type="checkbox"/>	Achse in z-Richtung gehalten		
Nachweis Biegedrillknicken				
Art	<input checked="" type="checkbox"/>	Biegedrillknicken führen		
Art		Knicklänge gleich Stablänge		
Nachweis Biegedrillknicken				
J/N	<input checked="" type="checkbox"/>	Nachweis Biegedrillknicken führen		
Art		Biegedrillknicklänge gleich Stablänge		
Zulässige Ausnutzungsüberschreitungen und -unterschreitungen				
J/N	<input type="checkbox"/>	vorgeben		

Bild 6. Eingabe „Nachweise - Stabilität“

Beim Ersatzstabverfahren wird die Möglichkeit eines Stabilitätsversagens über die Abminderung der entsprechenden Festigkeiten berücksichtigt. Beim Druckstab entstehen durch das Bestreben des Ausweichens zusätzliche Biegemomente und damit zusätzliche Biegespannungen, die über eine Abminderung der Druckfestigkeit mit dem Knickbeiwert k_c berücksichtigt werden.

Nachweis der Lagesicherheit

Der Nachweis der Lagesicherheit ist Teil der Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Regelt wird dieser in DIN EN 1990, Abschnitt 6.4.2. Für den Nachweis der Lagesicherheit werden spezielle Bemessungskombinationen gebildet. Hierbei wird z.B. für die ständigen Einwirkungen unterschieden, ob diese stabilisierend oder destabilisierend wirken. Sollte eine Zugverankerung erforderlich sein, werden die entsprechenden Kräfte für die Zugverankerung ausgegeben.

Lagesicherheit DIN EN 1990, 6.4.2	Aufl.	Ek	$F_{d,stab}$	$F_{d,stab}$	η
		[-]	[kN]	[kN]	[-]
A		47	-0.30	0.26	1.14 !
B		48	-0.92	0.32	2.85 !
ständig/vorüberg.	Zugverankerung			$F_{d,anch}$	EK
	Aufl.			[kN]	[-]
A				-0.01	56
B				-0.56	57

Bild 7. Ausgabe „Nachweise Lagesicherheit“

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Verformungen

Die Verformungen einer Konstruktion sind so zu begrenzen, dass keine Schäden an nachgeordneten Bauteilen auftreten, die Benutzbarkeit nicht eingeschränkt wird und das Erscheinungsbild gewahrt bleibt.

Im Modul S602.de können bis zu drei Nachweise angewählt werden:

- Nachweis der Anfangsdurchbiegung
- Nachweis der Enddurchbiegung
- Nachweis der gesamten Enddurchbiegung

Der Nachweis der „Anfangsdurchbiegung“ erfolgt mit Anfangsdurchbiegungen in der charakteristischen Kombination. Die Kriechanteile im Nachweis der „Enddurchbiegung“ werden mit der quasi-ständigen Kombination gebildet. Für den Nachweis der „gesamten Enddurchbiegung“ (oder auch „Netto“-Enddurchbiegung) werden alle Verformungen mit der quasi-ständigen Kombination gebildet.

Bild 8. Eingabe „Nachweise - Verformungsnachweis“

Für die Verformungsnachweise werden die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung mit dem E-Modul E_{mean} ermittelt. Die Berechnung der Endverformung findet unter Berücksichtigung des Kriechens (k_{def}) statt.

Grenzwerte der Verformung

Die nach [1], Tabelle 7.2 angegebenen Grenzwerte der Verformung sind lediglich empfohlene Grenzwerte und müssen nicht zwingend eingehalten werden. Im Zweifelsfall sollten diese immer gemeinsam mit dem Bauherrn, aufgrund der vorhergesehenen Nutzung, abgestimmt werden. Im Modul S602.de können neben den empfohlenen Grenzwerten manuell definierte Grenzwerte berücksichtigt werden.

Nachweise (GZG)		Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1995-1-1					
Verformungen		Nachweise der Verformungen					
Abs. 7.2	x	Ek	Norm	Wvorh	Wzul	η	
	[m]			[mm]	[mm]	[-]	
Stab 1	$(L = 1.00 \text{ m, NKL 2, } k_{\text{def}} = 0.80)$						
	1.00	28	Winst	1.3	1/300=	3.3 0.39	
	1.00	34	Wfin	1.6	1/200=	5.0 0.32	
Stab 2	$(L = 3.09 \text{ m, NKL 2, } k_{\text{def}} = 0.80)$						
	1.40	28	Winst	1.0	1/300=	10.3 0.10	
	1.40	34	Wfin	1.2	1/200=	15.5 0.08	
Stab 3	$(L = 1.75 \text{ m, NKL 2, } k_{\text{def}} = 0.80)$						
	0.19	28	Winst	-1.3	1/300=	-5.8 0.23	
	0.19	34	Wfin	-1.6	1/200=	-8.8 0.19	
	0.19	39	Wnet,fin	-0.7	1/300=	-5.8 0.12	

Bild 9. Ausgabe „Nachweise GZG“

Details

Neben den eigentlichen Nachweisen für das Biegebauteil können sich weitere Detailnachweise ergeben, die nicht durch den Leistungsumfang des Moduls abgedeckt sind. Hierfür bietet S602.de die Möglichkeit, Schnittgrößen und Bemessungsergebnisse für ausgewählte Nachweisdetails aufzubereiten und für Detailmodule zur Verfügung zu stellen. Somit ist ein sicherer und effizienter Arbeitsablauf innerhalb der Dokument-orientierten Statik gewährleistet. Momentan steht hierfür folgendes Detailmodul zur Verfügung:

- S511.de Stahlbeton-Einzel- und Köcherfundament, exzentrische Belastung

Ausnutzungsüberschreitungen und -unterschreitungen

Mit der Funktion „Zulässige Ausnutzungsüberschreitungen und -unterschreitungen“ kann getrennt für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit eingestellt werden, ab welchem Ausnutzungsgrad Fehlermeldungen angezeigt werden sollen. In manchen Fällen ist es möglicherweise sinnvoll, Verformungsüberschreitungen um wenige Prozentpunkte zu tolerieren.

Ausgabe

Wie von anderen Modulen gewohnt, ermöglicht eine Ausgabe-steuerung, Berechnungsgrundlagen und -ergebnisse nach den eigenen Bedürfnissen prüffähig und nachvollziehbar auszugeben. Neben Systeminformationen und Nachweisen können charakteristische Schnittgrößen und Bemessungsschnittgrößen tabellarisch und grafisch ausgegeben werden.

Dipl.-Ing. David Hübel
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Beuth Verlag.
- [2] DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Beuth Verlag.
- [3] DIN EN 1990:2010-12: Grundlagen der Tragwerksplanung. Beuth Verlag.
- [4] Schneider: Bautabellen für Ingenieure. 20. Auflage, Januar 2012. Werner Verlag.
- [5] Erläuterungen zu DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Blaß, Ehlbeck, Kreuzinger, Steck - 1. Auflage, 2004 Bruderverlag.

Preise und Angebote

S602.de Holz-Stabwerk, ebene Systeme

– EC 5, DIN EN 1995-1-1:2010-12

Weitere Informationen unter

<https://www.mbaec.de/modul/S602de>

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Mai 2023

Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (21H1, 64-Bit), Windows 11 (64)

Preisliste: www.mbaec.de