

**Zur Leistungsfähigkeit, korrekten Anwendung und Kontrolle von EDV-Programmen
für die Berechnung räumlicher Stabwerke im Stahlbau
(Teile 1 - 3)**

Autoren:	Volker Gensichen gensichen@fh-muenster.de	Günter Lumpe lumpe@fh-biberach.de
Kurzfassung:	Räumliche Stabwerke aus Stahl werden in der Regel mit Hilfe von Statik-Programmen berechnet, die auf einer baustatischen Theorie zweiter oder höherer Ordnung basieren. Im vorliegenden Beitrag wird unter besonderer Berücksichtigung der Ersatzimperfektionen geklärt, ob diese vereinfachten Theorien ausreichen und welche Erweiterungen erforderlich sind, um in allen Fällen für die Baupraxis hinreichend genaue Ergebnisse zu erzielen. Es stellt sich heraus, dass eine Theorie II. Ordnung für die Berechnung schlanker räumlicher Stahlstabwerke prinzipiell ungeeignet ist, und dass auch eine Theorie höherer Ordnung bei solchen Systemen versagen kann. Für Programm-Hersteller und -Nutzer werden einfache Systeme angegeben, an denen die grundsätzliche Leistungsfähigkeit eines Statikprogramms mit geringem Aufwand überprüft werden kann. Ferner werden Hinweise zur korrekten Anwendung von Statikprogrammen gegeben.	
Erschienen in:	Stahlbau 2008	
Seiten:	447- 453 (Heft 6) , 531 – 537 (Heft 7) , 608 – 613 (Heft 8)	

Hinweise der Autoren:

1. Korrigierte Ergebnisse des Programms P1 (Tab. 2 und 3)

Der Hersteller von P1 hat inzwischen die bemängelte Unsymmetrie der Ergebnisse (s. Anm. unter diesen Tabellen in der Original-Arbeit) beseitigt. Die neuen Ergebnisse sind im Folgenden in der rot markierten Spalte „P1 (neu)“ den alten Werten in der Spalte „P1 (alt)“ gegenübergestellt.

Es fällt auf, dass die Ergebnisse infolge der Korrektur des Programms (z. T. deutlich) schlechter geworden sind, ein weiterer Hinweis darauf, wie empfindlich die Ergebnisse auf Vereinfachungen der genauen Theorie reagieren; Zitat aus der Zusammenfassung der Original-Arbeit:

„Soll das Programm allgemein gültig sein, müssen weitere nichtlineare geometrische Beziehungen berücksichtigt werden. Mit welcher Genauigkeit dies zu geschehen hat, müsste durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Hierbei stellt sich jedoch die Frage, ob ein Näherungsverfahren gegenüber der in [3] formulierten genauen Theorie überhaupt Vorteile in programmierter technischer Hinsicht und für den Anwender bietet.“

Korrigierte Tab. 2 (Auszug)

Stat. Größe (mm, kNm)	exakt	„Th.III.O.“		
		P1 (alt)	P1 (neu)	
min u	- 6,1	- 6,2	- 5,8	
max v	100	101	96	
max w	14,4	14,6	12,3	
max φ	7,8°	7,4°	6,0°	
M_x	Aufl.	1,12 / 0,60	0,82	
	stabbez.			
M_y	Einsp.	- 32,6	- 31,2	- 29,7
	Feld	13,5	15,1	16,6
M_z	Einsp.	- 22,0	- 22,3	- 21,6
	Feld	25,0	25,0	23,7
Ausnut- zung	Einsp.	122 %	124 %	120 %
	Feld	123 %	125 %	121 %

Es sei daran erinnert, dass das Programm P1 stets die Schubverformungen berücksichtigt.

Korrigierte Tab. 3 (Auszug)

Stat. Größe (mm, kNm)	exakt	„Th.III.O.“		
		P1 (alt)	P1 (neu)	
min u	- 7,2	- 7,1	- 6,8	
max v	101	100	96	
max w	17,4	16,9	14,4	
max φ	8,5°	8,0°	6,7°	
M_x	Aufl.	1,12	1,39 / 0,82	1,23
	stabbez.	0,94	0,93 / 1,27	0,90
M_y	Einsp.	- 36,2	- 34,0	- 32,3
	Feld	10,6	13,0	14,5
M_z	Einsp.	- 21,9	- 21,9	- 21,4
	Feld	25,5	25,0	23,8
Ausnut- zung	Einsp.	123 %	124 %	121 %
	Feld	123 %	104 %	121 %

2. Tabelle 5 (Einfluss der Schubverformungen)

Nach Angabe des Herstellers des Programms P4, der die Vergleichsberechnungen durchgeführt hatte, wurde die nichtlineare Iteration mit zu großen Lastinkrementen durchgeführt. Eine neue Berechnung mit kleineren Inkrementen führte nun zu Ergebnissen, die die richtige Tendenz aufweisen: Unter Berücksichtigung der Schubverformungen ist das System weicher. Außerdem ist die Änderung der statischen Größen infolge der Schubverformungen deutlich geringer als zuvor; sie betragen im vorliegenden Beispiel nach P4 maximal 3%, im Durchschnitt weniger als 1%.

Zusätzlich wurde dieses Beispiel nachträglich mit dem nichtlinearen allgemeinen FEM-Programm NASTRAN NX berechnet. Hier betragen die Unterschiede nur maximal 0,3%.

Wie zu erwarten, spielen die Schubverformungen bei schlanken Systemen eine untergeordnete Rolle; die Auswirkungen liegen hier in der Größenordnung der Rechenungenauigkeiten.

Bemerkenswert sind die äußerst geringen Unterschiede der Ergebnisse nach S3D und NASTRAN NX, eine weitere Bestätigung der Güte der Theorie und deren Umsetzung im Programm S3D.

Korrigierte und ergänzte Tabelle 5 (Auszug)

Stat. Größe (mm, kNm)	exakt (S3D) (ohne Schubver- formungen)	Th.III.O. (P4)			NASTRAN NX			
		Schub- verformungen :		Ab- weichung	Schub- verformungen :		Ab- weichung	
		ohne	mit		ohne	mit		
min u	- 6,1	- 5,41	- 5,44	+ 0,6 %	-6,10	-6,11	+ 0,2	
max v	100	87,54	88,21	+ 0,8 %	99,98	100,17	+ 0,2	
max w	14,4	12,07	12,45	+ 3 %	14,39	14,45	+ 0,4	
max φ	7,8°	4,66	4,67	0	7,80	7,80	0	
M_x	0,86	0,63	0,63	0	0,86	0,86	0	
M_y	Einsp.	- 32,6	- 30,87	- 30,97	+ 0,3 %	- 32,58	-32,65	+ 0,2
	Feld	13,5	15,83	15,81	0	13,49	13,53	+ 0,3
M_z	Einsp.	- 22,0	- 20,38	- 20,49	+ 0,5 %	- 21,99	22,05	+ 0,3
	Feld	25,0	21,81	21,92	+ 0,5 %	25,01	25,08	+ 0,3

(Anm.: Für die Vergleichsberechnungen mit NASTRAN NX sind die Autoren Herrn Dipl.-Ing. Eric Helter, ahw Ingenieure, Münster, zu Dank verpflichtet.)