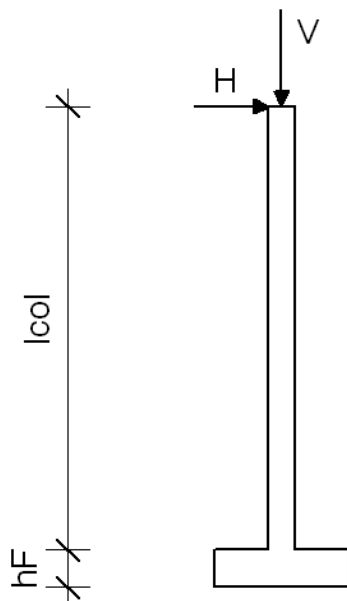


**Stahlbetonstützen nach DIN 1045-1****Notizen :****Allgemeines**

Stahlbetonstützen als Einzelbauteile sind die „großen Gewinner“ der DIN 1045-1. Sie profitieren zunächst von der Einwirkungs-Kombinatorik, da die Bemessungsschnittgrößen kleiner werden. Darüber hinaus wurde die „ungewollte Außermittle“ ( Imperfektion ) gegenüber der alten Norm wesentlich verkleinert. Der alte Wert  $sk/300$  wird in der neuen Norm variabel definiert und verringert sich bei hohen Stützen teilweise bis auf 50% des alten Wertes.

Leider ist der genauere Nachweis nach Theorie II.Ordnung DIN 1045 (88) 17.4.4 (Heft 220 DAfSt) in die neue Norm nicht mehr übernommen worden. Er wird jedoch im Heft 525 DAfSt erwähnt und ist auch nach neuer Norm sinngemäß anwendbar. Stattdessen wurde das Modellstützenverfahren quasi als einziges Nachweisverfahren aufgenommen, obwohl es nicht nur nach Heft 525 teilweise weit auf der sicheren Seite liegt. Jeder Verfechter der These, dass eine Norm Richtliniencharakter haben und kein Lehrbuch sein sollte, stellt sich zwangsläufig die Frage, warum dieses Verfahren dann überhaupt in DIN 1045-1 aufgenommen wurde.

Der Beitrag zeigt die Unterschiede an einem einfachen Beispiel einer Kragstütze auf und macht die Auswirkungen im Zusammenspiel mit der neuen DIN 1054 auf die Fundamentabmessungen deutlich.



**Ersatzstabverfahren DIN 1045 (88) und Heft 220 DAfStB**

Das im Heft 220 beschriebene Ersatzstabverfahren stellt gegenüber dem Modellstützenverfahren nach DIN 1045-1 einen genaueren Nachweis dar. Grundsätzlich sind zwei Möglichkeiten des Nachweises beschrieben.

1. Linearisierung der Momentenkrümmungsbeziehungen
2. Rechnen mit wirksamen Steifigkeiten

Für beide Verfahren gilt, dass die vorhandene Bewehrung in Lage und Größe bekannt sein muss und somit eine Berechnung nur iterativ erfolgen kann. Dies ist beim Einsatz eines Computers jedoch kein Nachteil. Die Nomogramme in Heft 220 sind insbesondere wegen der eingearbeiteten „Vorverformung nach DIN 1045 (88)“ nicht mehr anwendbar. Leider gibt es für die DIN 1045-1 hierzu keinen Ersatz.

Die Berechnung mit wirksamen Steifigkeiten ist jedoch nach wie vor möglich, wobei die wirksamen Steifigkeiten nach Heft 525 S. 42 „vereinfacht aus den Anteilen der Biegedruckzone und der Bewehrung ermittelt werden dürfen“. Hierbei bleibt offen, welche Spannungsdehnungsbeziehungen – linear Zustand II oder nach DIN 1045-1 9.1.5 – anzunehmen sind.

Vorteil des Verfahrens ist, dass die Normalkraft- und Momentenbeanspruchungen I. Ordnung berücksichtigt werden, da diese neben der Imperfektion die Verformung des Bauteils maßgeblich bestimmen.

**Modellstützenverfahren DIN 1045-1**

Das Modellstützenverfahren geht von der Grundidee der größt möglichen Krümmung eines Querschnitts aus und ermittelt hieraus die „Zusatzausermittle II. Ordnung“. Es ist deshalb auch nur ein „vereinfachtes“ Bemessungsverfahren. Mit Recht weisen die Autoren in [9] daraufhin, dass die „grundsätzlich unvermeidbaren Abweichungen“ als unerwartet groß empfunden werden und Irritationen auslösen können.

DIN 1045-1 selbst weist in 8.6.5 (2) indirekt auf die Unwirtschaftlichkeit bei  $e_0 \leq 0.1h$  hin. Heft 525 berichtet darüber hinaus von „zunehmend unwirtschaftlichen Ergebnissen“ bei Ersatzlängen  $l_0 > 15h$ .

Solange die Bemessungsnormalkraft  $N_{ed} < N_{bal}$  bleibt, kommt das Verfahren unabhängig von der Momentenbeanspruchung auch immer zum gleichen Ergebnis. Wird die Bemessungsnormalkraft größer, muss auch hier iterativ gearbeitet werden.

Es stellt sich also die Frage, warum nur dieses Verfahren in die Norm aufgenommen wurde.

Es erhält dadurch hoffentlich nicht den sicherlich auch von den Autoren nicht gewollten „genormten Heiligenschein“ der „Ultima Ratio“ in der Prüfpraxis.



In DIN 1045-1 8.6.6 sind die Bedingungen für getrennte Nachweise in den beiden Richtungen definiert. Wenn in einer Richtung  $e/h > 0.2$  wird, ist für den Nachweis in der Querrichtung der wirksame Querschnitt zu reduzieren. Hierbei ist nach Bild 15 auch die ungewollte Aussermitte  $e_{az}$  anzusetzen. Dies scheint unlogisch, da damit die Imperfektion in beiden Richtungen gleichzeitig anzusetzen ist. Bei einem genaueren Nachweis mit 2-achsiger Biegung wäre diese jedoch nur resultierend anzusetzen.

### Stützenbeispiel

Das oben skizzierte Stützenbeispiel wird nach den verschiedenen Verfahren berechnet und die Auswirkungen auf das erforderliche Fundament aufgezeigt. Die Stütze wird vereinfachend als voll eingespannt betrachtet.

#### Systemwerte

$$\begin{aligned}
 l_{col} &= 6.00 \text{ m} & h_x/h_y &= 35 / 35 \text{ cm} & I_x/I_y &= 12.5 \text{ dm}^4 \\
 l_o &= 12.00 \text{ m} & d_1/h &= 4 / 35 = 0.114 \\
 \text{Beton} & \text{ C 20/25} & d_1 &= 4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Einwirkungen ( Eig.-Gewicht wird zu 50% am Kopf angesetzt )

$$\begin{aligned}
 V_g &= 200.0 + 9.2 & = 209.2 \text{ kN} & \text{ Eigengewicht} \\
 V_q &= 180 & = 180.0 \text{ kN} & \text{ Nutzlast Wohnen} \\
 V_s &= 50 & = 50.0 \text{ kN} & \text{ Schnee} \\
 H_w &= 5 & = 5.0 \text{ kN} & \text{ Wind}
 \end{aligned}$$

Bewehrung angenommen  $A_s = 15 \text{ cm}^2$

#### Modellstützenverfahren

$$\begin{aligned}
 N_{ud} &= -(0.35^2 \times 11.33 + 15 \times 435 \times 10^{-4}) & = -2040 \text{ kN} \\
 N_{bal} &= -0.4 \times 11.33 \times 0.352 / 10 & = -555 \text{ kN} \\
 N_{ed} &= -218.4 \times 1.35 + (180 \times 0.7 + 50 \times 0.5) \times 1.50 & = -521 \text{ kN} \\
 M_{ed} &= -5.0 \times 6.00 \times 1.50 & = -45 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_2 &= (2040 - 521) / (2040 - 555) & \geq 1.0 \\
 1/r &= 2 \times 1.0 \times 2.5 / 1.15 / 0.9 / 0.31 \times 10^{-3} & = 0.0156 \\
 e_2 &= 1.0 \times 12^2 / 10 \times 0.0156 & = 0.2244 \text{ m} \\
 e_a &= 6.00 / 245 & = 0.0245 \text{ m} \\
 M_{edII} &= -45 - 521 \times (0.2244 + 0.0245) & = -175.0 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{Ed} &= 0.36, \quad \nu_{Ed} = 0.376 \quad \rightarrow \quad \omega_{tot} = 0.664 \\
 A_{s_{tot}} & & = 21.20 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$



Ersatzstabverfahren						
$M_{Ix}$	$M_{Iy}$	N	$e_o/h_x$	$e_o/h_y$	$\rho$	$A_{s_{ges}}$
$M_{IIx}$	$M_{IIy}$		$e_{ks}/h$	$e_{a+2}/h$		
kNm	kNm	kN			%	cm <sup>2</sup>
-45.00	0.00	-521.29	0.247	0.000	1.09	13.34
-137.27	0.00		0.023	0.482		

In dem abgebildeten Ergebnis ist zusätzlich eine Außermitte aus Kriechen und Schwinden berücksichtigt. Das vergleichbare Gesamtmoment II. Ordnung beträgt

$$M_{edII} = -45 - 521.29 \times 0.482 \times 0.35 = -132.9 \text{ kNm}$$

eine Berechnung II. Ordnung des Stabes mit  $I_w = 2.81 \text{ dm}^4$  ergibt bei einer Imperfektion von  $l/490$  einschl. der Vergrößerung von  $e_2$  nach [9] zur Berücksichtigung des Kriechens ein  $M_{II}$  von -138.4 kNm.

Zur Berücksichtigung im Fundament müssen nach DIN 1054(1/2003) die Ergebnisse aus nicht linearen Berechnungen in charakteristische Einwirkungen umgerechnet und bei allen Nachweisen berücksichtigt werden. Diese Berechnung erfolgt sinnvoller Weise gemäß dem Artikel des Verfassers in DIB 12/2004 „Fundamente nach neuen Normen“ über die anteiligen Normalkräfte.

PLG	$M_{IIx}$	$M_{IIy}$	Nachweis
	kNm	kNm	
1	-38.65	0.00	Richtungen getrennt
3	-31.86	0.00	Richtungen getrennt
11	-8.85	0.00	Richtungen getrennt
13	-30.00	0.00	Richtungen getrennt

Die Projektlastgruppen (PLG) Einwirkungskategorien Tab 2 bedeuten:  
 1 = ständig, 3 = Nutzlast, 11 = Schnee, 13 = Wind.

Der Auszug gibt die durch den Teilsicherheitsbeiwert dividierten Gesamtmomente II. Ordnung im Verhältnis der Normalkräfte wieder. Da in der PLG 13 Wind keine Normalkräfte vorhanden sind, wird hier das Moment I. Ordnung angesetzt.

Wichtig ist hierbei auch, ob die Momente aus getrennten Nachweisen resultieren, da sie dann im Falle der Doppelbiegung nicht gleichzeitig angesetzt werden müssen.



## Fundament

Für die Berechnung des Fundamentes ergeben sich unter Zugrundelegung eines aufnehmbaren Sohldrucks von 300 kN/m<sup>2</sup> in Abhängigkeit von den MII – Momenten nach DIN 1054 (1/2003) folgende Ergebnisse ( Ergebnisse alte DIN 1054 zum Vergleich ):

### 1. ohne MII nach DIN 1054 alt und Auslegung DIN 1045(88)

Fundamentabmessungen 1.35 x 1.35 m

#### FUNDAMENTABMESSUNGEN

$b_x$ m	$b_y$ m	d m
1.35	1.35	0.50

#### SCHNITTKRÄFTE IN DER BODENFUGE

Lastf.	N kN	Hx kN	Mx kNm	Hy kN	My kNm
1 g	241.18	0.00	0.00	0.00	0.00
q I	471.18	0.00	30.00	0.00	0.00

#### BODENPRESSUNG UND GLEITSICHERHEIT

Lastf.	F ers. m <sup>2</sup>	Sig vor MN/m <sup>2</sup>	Sig zul MN/m <sup>2</sup>	Reibungs- beiwert	Gleitsicherheit vorh. zul.
1	1.65	0.29	0.30	nicht erforderlich	

### 2. ohne MII nach DIN 1054 ( 1/2003 )

Fundamentabmessungen 1.30 x 1.30 m

Nachweis aufnehmbarer Sohldruck nach DIN 1054 (1/2003) 7.7

aufnehmbarer Sohldruck konstant 300 kN/m<sup>2</sup>

#### Sohldruck charakteristisch

LEW Leiteinwirkung  
 $b_x/b_y$  Ersatzbreiten nach 7.7.1 (2)  
 $A'$  Ersatzfläche nach 7.7.1.(2)

LF	LEW	N kN	$M_x$ kNm	$M_y$ kNm	$b'_x$ m	$b'_y$ m	$A'$ m <sup>2</sup>	$\sigma_{vorh}$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_{zul}$ kN/m <sup>2</sup>
1	10	444.49	19.50	0.00	1.21	1.30	1.6	282.0	300



### 3. mit MII nach Ersatzstabverfahren

Fundamentabmessungen 1.50 x 1.50 m

**Nachweis aufnehmbarer Sohldruck nach DIN 1054 (1/2003) 7.7**

aufnehmbarer Sohldruck konstant 300 kN/m<sup>2</sup>

#### Sohldruck charakteristisch

LEW Leiteinwirkung  
 b'x/b'y Ersatzbreiten nach 7.7.1 (2)  
 A' Ersatzfläche nach 7.7.1.(2)

LF	LEW	N kN	M <sub>x</sub> kNm	M <sub>y</sub> kNm	b'x m	b'y m	A' m <sup>2</sup>	σ <sub>vorh</sub> kN/m <sup>2</sup>	σ <sub>zul</sub> kN/m <sup>2</sup>
1	10	451.49	94.44	0.00	1.08	1.50	1.6	278.3	300

### 4. mit MII nach Modellstützenverfahren

Fundamentabmessungen 1.55 x 1.55 m

**Nachweis aufnehmbarer Sohldruck nach DIN 1054 (1/2003) 7.7**

aufnehmbarer Sohldruck konstant 300 kN/m<sup>2</sup>

#### Sohldruck charakteristisch

LEW Leiteinwirkung  
 b'x/b'y Ersatzbreiten nach 7.7.1 (2)  
 A' Ersatzfläche nach 7.7.1.(2)

LF	LEW	N kN	M <sub>x</sub> kNm	M <sub>y</sub> kNm	b'x m	b'y m	A' m <sup>2</sup>	σ <sub>vorh</sub> kN/m <sup>2</sup>	σ <sub>zul</sub> kN/m <sup>2</sup>
1	10	453.39	120.12	0.00	1.02	1.55	1.6	286.7	300

### Stützenbeispiel mit 50% höherer Beanspruchung

Steigert man bei der Stütze sämtliche Einwirkungen um 50%, so ergibt sich folgendes Bild:

Modellstützenverfahren

Bewehrung angenommen

As = 30 cm<sup>2</sup>

Modellstützenverfahren

$$\begin{aligned}
 \text{Nud} &= -(0.35^2 \times 11.33 + 30 \times 435 \times 10^{-4}) &= -2692.0 \text{ kN} \\
 \text{Ned} &= -318.4 \times 1.35 + (270 \times 0.7 + 75 \times 0.5) \times 1.50 &= -769.6 \text{ kN} \\
 \text{Med} &= -7.5 \times 6.00 \times 1.50 &= -67.5 \text{ kNm} \\
 k_2 &= (2692 - 769) / (2692 - 555) &= 0.90 \\
 1/r &= 2 \times 0.90 \times 2.5 / 1.15 / 0.9 / 0.31 \times 10^{-3} &= 0.0140 \\
 e_2 &= 1.0 \times 12^2 / 10 \times 0.014 &= 0.2018 \text{ m} \\
 e_a &= 6.00 / 245 &= 0.0245 \text{ m} \\
 \text{MedII} &= -40.5 - 769.6 \times (0.2018 + 0.0245) &= -241.8 \text{ kNm} \\
 \mu_{Ed} &= 0.498, \nu_{Ed} = 0.554 \rightarrow \omega_{tot} &= 1.06 \\
 A_{s_{tot}} & &= 33.80 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$



Ersatzstabverfahren						
$M_{Ix}$	$M_{Iy}$	$N$	$e_o/h_x$	$e_o/h_y$	$\rho$	$A_{s_{ges}}$
$M_{IIx}$	$M_{IIy}$		$e_{ks}/h$	$e_{a+2}/h$		
kNm	kNm	kN			%	cm <sup>2</sup>
-67.50	0.00	-769.54	0.251	0.000	2.14	26.18
-208.72	0.00		0.043	0.481		
<p>In dem abgebildeten Ergebnis ist zusätzlich eine Außermitte aus Kriechen und Schwinden berücksichtigt. Das vergleichbare Gesamtmoment II. Ordnung beträgt</p> $Med_{II} = -67.5 - 769.6 \times 0.481 \times 0.35 = 197.1 \text{ kNm}$ <p>eine Berechnung II. Ordnung des Stabes mit <math>I_w = 4.63 \text{ dm}^4</math> ergibt bei einer Imperfektion von <math>l/490</math> einschl. der Vergrößerung von <math>e_2</math> nach [9] zur Berücksichtigung des Kriechens ein <math>M_{II}</math> von 196.1 kNm.</p> <p>charakteristische <math>M_{II}</math> Anteile :</p>						
PLG	$M_{IIx}$	$M_{IIy}$	Nachweis			
	kNm	kNm				
1	-58.42	0.00	Richtungen getrennt			
3	-49.55	0.00	Richtungen getrennt			
11	-13.76	0.00	Richtungen getrennt			
13	-45.00	0.00	Richtungen getrennt			
<b>Fundament</b>						
1. ohne $M_{II}$ nach DIN 1054 alt und Auslegung DIN 1045(88)						
Fundamentabmessungen 1.60 x 1.60 m						
FUNDAMENTABMESSUNGEN						
$b_x$	$b_y$	$d$				
m	m	m				
1.60	1.60	0.50				
SCHNITTKRÄFTE IN DER BODENFUGE						
Lastf.	$N$	$H_x$	$M_x$	$H_y$	$M_y$	
	kN	kN	kNm	kN	kNm	
1 g	350.40	0.00	0.00	0.00	0.00	
q I	695.40	0.00	45.00	0.00	0.00	
BODENPRESSUNG UND GleITSICHERHEIT						
Lastf.	F ers.	Sig vor	Sig zul	Reibungs-	Gleitsicherheit	
	m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>	beiwert	vorh.	zul.
1	2.35	0.30	0.30	nicht erforderlich		



## 2. ohne MII nach DIN 1054 (1/2003)

Fundamentabmessungen 1.55 x 1.55 m

Nachweis aufnehmbarer Sohldruck nach DIN 1054 (1/2003) 7.7

aufnehmbarer Sohldruck konstant 300 kN/m<sup>2</sup>**Sohldruck charakteristisch**

LEW Leiteinwirkung  
 b'x/b'y Ersatzbreiten nach 7.7.1 (2)  
 A' Ersatzfläche nach 7.7.1.(2)

LF	LEW	N kN	M <sub>x</sub> kNm	M <sub>y</sub> kNm	b' x m	b' y m	A' m <sup>2</sup>	σ <sub>vorh</sub> kN/m <sup>2</sup>	σ <sub>zul</sub> kN/m <sup>2</sup>
1	10	655.89	29.25	0.00	1.46	1.55	2.3	289.7	300

## 3. mit MII nach Ersatzstabverfahren

Fundamentabmessungen 1.75 x 1.75 m

Nachweis aufnehmbarer Sohldruck nach DIN 1054 (1/2003) 7.7

aufnehmbarer Sohldruck konstant 300 kN/m<sup>2</sup>**Sohldruck charakteristisch**

LEW Leiteinwirkung  
 b'x/b'y Ersatzbreiten nach 7.7.1 (2)  
 A' Ersatzfläche nach 7.7.1.(2)

LF	LEW	N kN	M <sub>x</sub> kNm	M <sub>y</sub> kNm	b' x m	b' y m	A' m <sup>2</sup>	σ <sub>vorh</sub> kN/m <sup>2</sup>	σ <sub>zul</sub> kN/m <sup>2</sup>
1	10	664.14	144.09	0.00	1.32	1.75	2.3	288.4	300

## 4. mit MII nach Modellstützenverfahren

Fundamentabmessungen 1.80 x 1.80 m

Nachweis aufnehmbarer Sohldruck nach DIN 1054 (1/2003) 7.7

aufnehmbarer Sohldruck konstant 300 kN/m<sup>2</sup>**Sohldruck charakteristisch**

LEW Leiteinwirkung  
 b'x/b'y Ersatzbreiten nach 7.7.1 (2)  
 A' Ersatzfläche nach 7.7.1.(2)

LF	LEW	N kN	M <sub>x</sub> kNm	M <sub>y</sub> kNm	b' x m	b' y m	A' m <sup>2</sup>	σ <sub>vorh</sub> kN/m <sup>2</sup>	σ <sub>zul</sub> kN/m <sup>2</sup>
1	10	666.36	168.54	0.00	1.29	1.80	2.3	286.1	300



**Fazit**

Stahlbetonstützen sollten möglichst nach genaueren Bemessungsverfahren berechnet werden. Das Modellstützenverfahren ist nur ein „Überschlagsverfahren“, das schnell eine Bewehrungserhöhung von 30% ergeben kann. Bei diesem Hintergrund machen auch Computerprogramme, die nach diesem Verfahren arbeiten, keinen Sinn, da die Aufgabe, genauer zu rechnen, für den Computer nicht „anstrengender“ ist.

Da nach DIN 1054 (1/2003) auch die Momente II.Ordnung bei allen Nachweisen zu berücksichtigen sind, führen kleinere Momente II. Ordnung auch zu kleineren Fundamentabmessungen.

Bei unverschieblichen Bauwerken ( ohne II.Ordnung ) verkleinern sich die Fundamentabmessungen aufgrund der Einwirkungskombinatorik gegenüber der alten Norm.

Bei allen verschieblichen Bauwerken vergrößern sich die Fundamentabmessungen trotz der Möglichkeit der Einwirkungskombinatorik um ca. 15 bis 20% gegenüber der alten Norm.

Hieraus ergibt sich, solange die DIN 1054 (1/2003) nicht eingeführt ist, z.Zt. eine Rechtsunsicherheit.

Ohne II.Ordnung-Anteile verringert sich nach neuer Norm das Sicherheitsniveau etwas. Dies ist eigentlich so lange nicht zulässig, solange die neue DIN 1054 nicht eingeführt ist. Auf der anderen Seite entspricht die Nichtberücksichtigung von II.Ordnung-Anteilen in der Bodenfuge einer Auslegung der DIN 1045 (88), die durch Einführung der DIN 1045-1 nicht mehr gültig ist – ein schier unlösbares Dilemma, in das die Praxis gestoßen wird -. DIN 1055-100 ist als „übergeordnete Leit-DIN“ eingeführt und damit im Grunde genommen auch die Einwirkungskombinatorik.

Die Bemessung des Fundaments muss in jedem Fall nach DIN 1045-1 durchgeführt werden. Es wäre also eine unangemessen große Anzahl von Bodenspannungskörpern zu ermitteln.

Strenggenommen ist hier baurechtlich nur eine Einzelfallentscheidung möglich.

Da die Einführung der neuen DIN 1054 aber im wesentlichen an dem Streit über die Richtigkeit der Mantelreibung bei Pfählen scheitert, sollte eine Einigung unter den Beteiligten ( Bauherr, Bauaufsicht, Prüferingenieur und Tragwerksplaner ) dahingehend möglich sein, die neue DIN 1054 in den oben angesprochenen Fällen anzuwenden.

Die Reduzierung der Fundamentabmessungen bei unverschieblichen Systemen ist gering und sicherlich tolerierbar, zumal die Annahme, das Wind- und Schneeanteile nicht gleichzeitig voll angesetzt werden müssen schon in verschiedene alte Normen Eingang gefunden hat.

Das Sicherheitsniveau von verschieblichen Bauwerken ist dem gegenüber spürbar angehoben worden.



<p>[ 4 ] DAFStb Heft 525 (2003) Erläuterungen zu DIN 1045-1 [ 6 ] DIN 1045 : Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung ( Juli 1988 ) [ 7 ] DIN 1054 : Baugrund und Gründungen ( November 1976 ) [ 8 ] DIN 1054 : Baugrund ( Januar 2003 ) [ 9 ] Kordina, K. und Quast, U. : Bemessung von schlanken Bautei len ..BK 2002 / 1 S. 361 ff [ 10 ] DAFStb Heft 220 Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen</p>	
---	--

Neureichenau, im Februar 2005

Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang

V O G E L S A N G  
S Y S T E M H A U S