

Erläuterungen und Ergänzungen zu den Bemessungstafeln

Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert

mb-news **Bemessungstafeln**


Kostenloser Bezug über die mb AEC Software GmbH www.mbaec.de/tafel


1 Grundlagen, Schnittgrößenumlagerung und Werkstoffkennwerte	
Nachweisformat im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$E_d \leq R_d$	
E_d Bemessungswert der Beanspruchung (z.B. einwirkende Schnittgröße) R_d Bemessungswert des Tragwiderstands (z.B. aufnehmbare Schnittgröße)	
Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Tragfähigkeit	
Bemessungssituation für	Einwirkungskombination
ständige und vorübergehende Beanspruchung E_d	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
außergewöhnliche Beanspruchung E_{dA}	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$
⊕ bedeutet: „in Kombination mit“	
Nachweisformat im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
$E_d \leq C_d$	
E_d Bemessungswert der Beanspruchung (z.B. ermittelte Bauteilverformung) C_d Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums (z.B. zulässige Bauteilverformung)	
Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	
Bemessungssituation für	Einwirkungskombination
seltene Kombination der Einwirkungen $E_{d,rare}$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
häufige Kombination der Einwirkungen $E_{d,frequ}$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$
quasi-ständige Kombination der Einwirkungen $E_{d,perm}$	$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbauteile aus Normalbeton nach DIN 1045-1 (07/01)

Ausarbeitung:
Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert
 Fachbereich Bauwesen

Mitarbeiter bei der Erstellung:
 Dipl.-Ing. Björn Block, Ing.-Büro Reichmann+Partner





Die Bemessungstafeln [1] zur neuen DIN 1045 (07/01) [2] sollen den in der Praxis tätigen Ingenieur bei der täglichen Arbeit unterstützen sowie das zeitraubende Aufsuchen der wesentlichen Bemessungs- und Konstruktionshilfen ersparen. Die Tafeln beschränken sich hierbei auf den in der Praxis überwiegend eingesetzten Normalbeton der Festigkeitsklassen C12/15 bis C50/60. Im folgenden Beitrag werden Erläuterungen zu einzelnen Abschnitten der Tafeln gegeben und einige zusätzliche Hilfsmittel beigelegt, die aus Platzgründen nicht berücksichtigt werden konnten.

1. Grundlagen und Werkstoffkennwerte

Für Fertigteilkonstruktionen werden in DIN 1045-1, Abschnitt 5.3.3 zusätzliche Teilsicherheitsbeiwerte angegeben.

Im einzelnen sind besondere Teilsicherheitsbeiwerte für folgende Bemessungssituationen angegeben:

- Für Bauzustände darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Biegung und Längskraft) der Teilsicherheitsbeiwert für ständige und veränderliche Einwirkungen mit $\gamma_G = 1,15$ bzw. $\gamma_Q = 1,15$ angesetzt werden (DIN 1045-1, Abschnitt 5.3.3 (4)).
- Die Nachweise der Tragfähigkeit bei einer werksmäßigen und ständig überwachten Herstellung dürfen mit einem Teilsicherheitsbeiwert für den Beton von $\gamma_c = 1,35$ durchgeführt werden (weitere zusätzliche Erläuterungen siehe DIN 1045-1, Abschnitt 5.3.3 (7)).

Bei Durchlaufträgern im üblichen Hochbau muss die Bemessungssituation mit günstiger ständiger Einwirkung ($\gamma_G = 1,00$) nicht berücksichtigt werden, wenn die Konstruktionsregeln gemäß DIN 1045-1, Abschnitt 13 beachtet werden. Somit gilt ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_G = 1,35$. Beim Nachweis der Lagesicherheit muss jedoch die Schwankung der ständigen Einwirkung berücksichtigt werden (Beispiel siehe Bild 1).

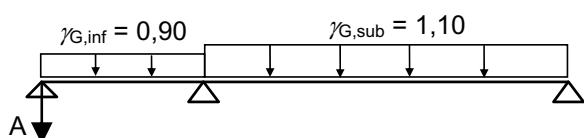


Bild 1. Teilsicherheitsbeiwerte für die ständigen Einwirkungen für den Nachweis der Lagesicherheit (DIN 1055-100, Tab A.3)

In DIN 1045-1 sind zur Formulierung des Kriechansatzes und zur Beschreibung der Spannungs-Dehnungs-Linie verschiedene Elastizitätsmoduli definiert. Man unterscheidet zwischen E_{c0m} als Tangentenmodul im Ursprung der $\sigma_c - \epsilon_c$ -Linie und E_{cm} als Sekantenmodul bei einer Spannung von $\sigma_c = (0,4 \cdot f_{cm})$.

E_{cm} beschreibt die Steifigkeit des ungerissenen Betons im Gebrauchslastniveau und ist gemäß DIN 1045-1 grundsätzlich zu benutzen. Nur in wenigen Ausnahmefällen ist der Tangentenmodul E_{c0m} anzusetzen. In DIN 1045-1, Tabelle 9 wurden versehentlich die Bezeichnung für den Tangentenmodul E_{c0m} und dem Sekantenmodul E_{cm} vertauscht. Der Elastizitätsmodul ist sehr stark abhängig von der Art der Gesteinskörnung. Hinweise hierzu

können dem Heft 525 vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) [3] entnommen werden.

E_{c0m} lässt sich gemäß folgendem Ansatz bestimmen:

$$E_{c0m} [\text{N/mm}^2] = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (1)$$

(f_{ck} in N/mm^2)

Der Zusammenhang zwischen E_{c0m} und E_{cm} ergibt sich gemäß Heft 525 [3] und [4] zu

$$E_{cm} [\text{N/mm}^2] = \alpha_1 \cdot E_{c0m} = (0,8 + 0,2 \cdot f_{cm} / 88) \cdot E_{c0m} \quad (2)$$

($\alpha_1 \leq 1,0$)

In Gleichung 2 entspricht f_{cm} der mittleren Betondruckfestigkeit und kann wie folgt bestimmt werden:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3)$$

In Bild 2 sind die unterschiedlichen Elastizitätsmoduli dargestellt.

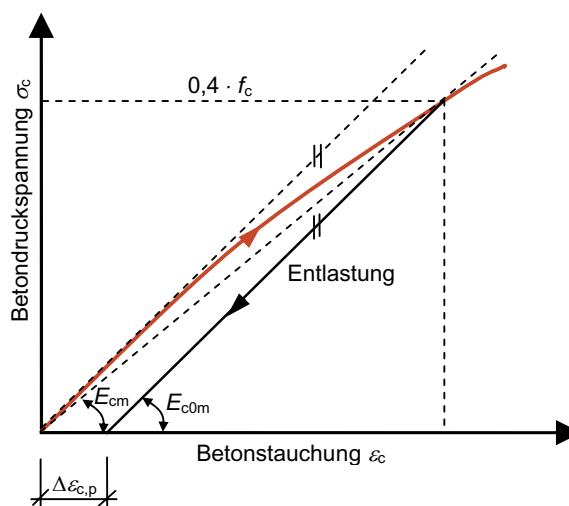


Bild 2. Sekantenmodul E_{cm} und Tangentenmodul E_{c0m}

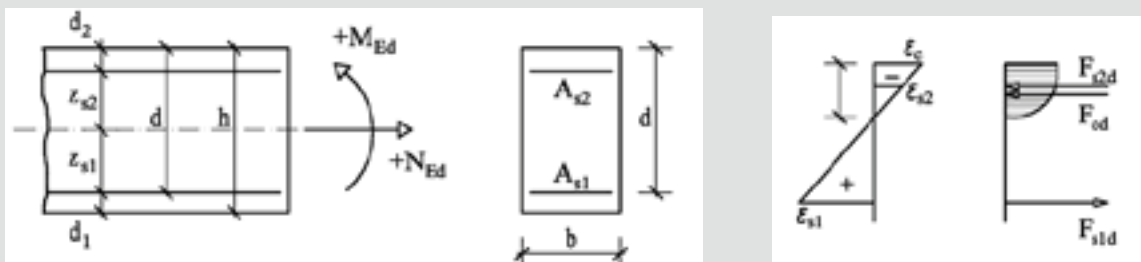
2. Betondeckung

In den Bemessungstabeln wurden lediglich die Mindestbetondeckung c_{min} , das Vorhaltemaß Δc und das sich hieraus ergebende Nennmaß c_{nom} der Betondeckung angegeben.

In den Bewehrungsplänen ist jedoch das Verlegemaß der Bewehrung c_v anzugeben. Das Verlegemaß ergibt sich aus der Bedingung, dass für jedes einzelne Bewehrungselement die Nennmaße der Betondeckung c_{nom} einzuhalten sind.

Im Allgemeinen ist das Verlegemaß c_v gleich dem Nennmaß c_{nom} (gegebenenfalls um ein entsprechendes Maß vergrößert).

Tafel 1: Dimensionsgebundene Bemessungstafel (k_d -Tafel) für den Rechteckquerschnitt mit Druckbewehrung für Biegung mit Längskraft (Betonstahl BSt 500 und Normalbeton \leq C50/60)



$$k_d = \frac{d [\text{cm}]}{\sqrt{M_{E_{ds}} [\text{kNm}] / b [\text{m}]}} \quad \text{mit} \quad M_{E_{ds}} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$$

$\xi = 0,45$											$\xi = 0,617$											$\xi = \begin{cases} 0,450 \\ 0,617 \end{cases}$	
k_d für f_{ck}										k_{s1}	k_d für f_{ck}										k_{s1}	k_{s2}	
12	16	20	25	30	35	40	45	50		12	16	20	25	30	35	40	45	50					
2,23	1,93	1,73	1,54	1,41	1,30	1,22	1,15	1,09	2,83	1,99	1,72	1,54	1,38	1,26	1,17	1,09	1,03	0,98	3,09	0,00			
2,18	1,89	1,69	1,51	1,38	1,28	1,20	1,13	1,07	2,81	1,95	1,69	1,51	1,35	1,23	1,14	1,07	1,01	0,95	3,07	0,10			
2,14	1,85	1,65	1,48	1,35	1,25	1,17	1,10	1,05	2,80	1,91	1,65	1,48	1,32	1,21	1,12	1,04	0,98	0,93	3,04	0,20			
2,09	1,81	1,62	1,45	1,32	1,22	1,14	1,08	1,02	2,78	1,86	1,61	1,44	1,29	1,18	1,09	1,02	0,96	0,91	3,01	0,30			
2,04	1,77	1,58	1,41	1,29	1,19	1,12	1,05	1,00	2,77	1,82	1,58	1,41	1,26	1,15	1,07	1,00	0,94	0,89	2,99	0,40			
1,99	1,72	1,54	1,38	1,26	1,16	1,09	1,03	0,97	2,75	1,78	1,54	1,38	1,23	1,12	1,04	0,97	0,92	0,87	2,96	0,50			
1,94	1,68	1,50	1,34	1,22	1,13	1,06	1,00	0,95	2,74	1,73	1,50	1,34	1,20	1,09	1,01	0,95	0,89	0,85	2,94	0,60			
1,88	1,63	1,46	1,30	1,19	1,10	1,03	0,97	0,92	2,72	1,68	1,46	1,30	1,17	1,06	0,98	0,92	0,87	0,83	2,91	0,70			
1,83	1,58	1,42	1,27	1,16	1,07	1,00	0,94	0,90	2,70	1,63	1,41	1,26	1,13	1,03	0,96	0,89	0,84	0,80	2,88	0,80			
1,77	1,53	1,37	1,23	1,12	1,04	0,97	0,92	0,87	2,69	1,58	1,37	1,23	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82	0,78	2,86	0,90			
1,71	1,48	1,33	1,19	1,08	1,00	0,94	0,88	0,84	2,67	1,53	1,33	1,19	1,06	0,97	0,90	0,84	0,79	0,75	2,83	1,00			
1,65	1,43	1,28	1,15	1,05	0,97	0,91	0,85	0,81	2,66	1,48	1,28	1,14	1,02	0,93	0,86	0,81	0,76	0,72	2,80	1,10			
1,59	1,38	1,23	1,10	1,01	0,93	0,87	0,82	0,78	2,64	1,42	1,23	1,10	0,98	0,90	0,83	0,78	0,73	0,70	2,78	1,20			
1,53	1,32	1,18	1,06	0,96	0,89	0,84	0,79	0,75	2,63	1,36	1,18	1,06	0,94	0,86	0,80	0,75	0,70	0,67	2,75	1,30			
1,46	1,26	1,13	1,01	0,92	0,85	0,80	0,75	0,71	2,61	1,30	1,13	1,01	0,90	0,82	0,76	0,71	0,67	0,64	2,72	1,40			

d_2 / d	$\xi = 0,45$					$\xi = 0,617$				
	ρ_1 für $k_{s1} =$				ρ_2	ρ_1 für $k_{s1} =$				ρ_2
	2,83	2,74	2,69	2,61		3,09	2,94	2,86	2,72	
$\leq 0,06$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,08	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02
0,10	1,00	1,01	1,01	1,02	1,04	1,00	1,01	1,02	1,02	1,04
0,12	1,00	1,01	1,02	1,04	1,07	1,00	1,01	1,03	1,04	1,07
0,14	1,00	1,02	1,03	1,05	1,09	1,00	1,02	1,04	1,05	1,09
0,16	1,00	1,03	1,04	1,06	1,12	1,00	1,02	1,05	1,06	1,12
0,18	1,00	1,03	1,05	1,08	1,19	1,00	1,03	1,06	1,08	1,15
0,20	1,00	1,04	1,06	1,09	1,31	1,00	1,04	1,08	1,09	1,18
0,22	1,00	1,04	1,07	1,11	1,46	1,00	1,04	1,09	1,11	1,21
0,24	1,00	1,05	1,08	1,13	1,65	1,00	1,05	1,10	1,12	1,26

$$A_{s1} [\text{cm}^2] = \rho_1 \cdot k_{s1} \cdot \frac{M_{E_{ds}} [\text{kNm}]}{d [\text{cm}]} + \frac{N_{Ed} [\text{kN}]}{43,5}$$

$$A_{s2} [\text{cm}^2] = \rho_2 \cdot k_{s2} \cdot \frac{M_{E_{ds}} [\text{kNm}]}{d [\text{cm}]}$$

Das Verlegemaß ist maßgebend für die Größe der Abstandhalter. In Bild 3 ist der Zusammenhang zwischen Nennmaß und Verlegemaß skizzenhaft dargestellt.

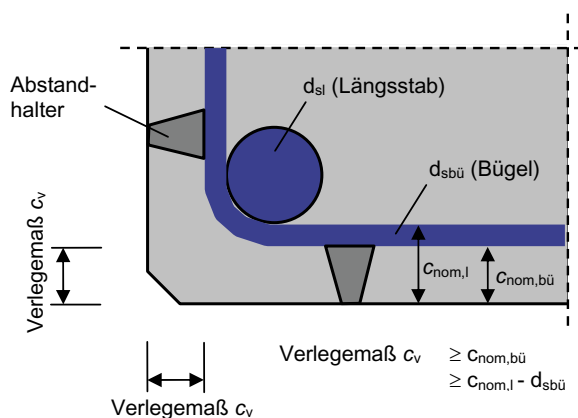


Bild 3. Betondeckung der Bewehrung eines Stahlbetonbalkens

3. Bemessung für Biegung mit / ohne Normalkraft

Die Bemessungstafel enthält das in der Praxis häufig benutzte k_d -Verfahren für biegebeanspruchte Stahlbetonbauteile (mit / ohne Normalkraft) ohne Druckbewehrung. Die Herleitung der Tafelwerte erfolgte unter Berücksichtigung des vereinfachten Verlaufes der rechnerischen Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls (DIN 1045-1, Bild 27, Linie 3).

Gemäß den Angaben in DIN 1045-1, Abschnitt 8.2 (3) sollte bei einer linear elastischen Schnittgrößenermittlung die bezogene Druckzonenhöhe auf folgenden Wert beschränkt werden:

$$\xi_{\text{lim1}} = \frac{x}{d} = 0,45 \quad (4)$$

Dieser Wert ist in der k_d -Tafel durch eine gestrichelte Linie hervorgehoben.

Ist die Begrenzung der bezogenen Druckzonenhöhe auf den Grenzwert nicht möglich, so sind geeignete konstruktive Maßnahmen gemäß DIN 1045-1, Abschnitt 13.1.1 (5) zur Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität erforderlich.

Bei der baulichen Durchbildung ist hierbei folgendes zu beachten:

- Bügeldurchmesser $d_{s,bü} \geq 10 \text{ mm}$
- Abstand der Bügel in Balkenlängsrichtung:
 $s_{\text{max}} \leq 0,25 h$ bzw. 200 mm
- Abstand der Bügelschenkel in Balkenquerrichtung:
 $s_{\text{max}} \leq 1,00 h$ bzw. 600 mm



Bild 4. Bewehrung einer Rampe

Die k_d -Tafel ohne Druckbewehrung endet bei einem Grenzwert von $\xi_{\text{lim2}} = 0,617$. Dieser Grenzwert ergibt sich aus folgender Betrachtung:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{yd} = +2,174 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu} = -3,50 \text{ ‰}$$

$$\xi_{\text{lim2}} = \frac{x}{d} = \frac{|\varepsilon_s|}{|\varepsilon_s + \varepsilon_c|} = \frac{3,5}{2,174 + 3,5} = 0,617 \quad (5)$$

Bei sehr stark biegebeanspruchten Querschnitten (große Biegemomente und Normalkräfte) kann die Anordnung einer Biegedruckbewehrung notwendig werden.

Bei Stahlbetonplatten muss die Anordnung einer Druckbewehrung unbedingt vermieden werden, da die Druckbewehrung gegen Ausknicken durch geschlossene Bügel (DIN 1045-1, Abschnitt 13.5.3) gesichert werden muss und dies bei Stahlbetonplatten kaum zu realisieren ist. Die Anordnung von Druckbewehrung sollte auch bei Stahlbetonbalken lediglich auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben. In Tafel 1 ist die Bemessungstafel für biegebeanspruchte Bauteile mit Druckbewehrung angegeben.

4. Querkraftbemessung

Im Abschnitt 9 der Bemessungstafel sind die Nachweise für Bauteile ohne und mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung zusammengestellt. Bei Balken und einachsigen gespannten Platten mit $b/h < 4$ ist immer eine Mindestquerkraftbewehrung mit $\rho_w = 1,0 \cdot \rho$ anzuordnen. Im Bereich $5 \geq b/h \geq 4$ ist eine Mindestbewehrung erforderlich, die bei Platten ohne rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung zwischen dem nullfachen und dem einfachen Wert, bei Platten mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung ($V_{Ed} > V_{Rd,ct}$) zwischen dem 0,6-fachen und dem einfachen Wert der erforderlichen Mindestbewehrung interpoliert werden

	charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} in N/mm ²								
ρ	12	16	20	25	30	35	40	45	50
in ‰ ^{a)}	0,51	0,61	0,70	0,83	0,93	1,02	1,12	1,21	1,31

^{a)} Diese Werte ergeben sich aus $\rho = 0,16 f_{ctm} / f_{yk}$

Tabelle 1: Grundwerte ρ für die Ermittlung der Mindestbewehrung

Querkraftausnutzung	Längsabstand	Querabstand
$V_{Ed} \leq 0,30 V_{Rd,max}$	0,70 h bzw. 300 mm	h bzw. 800 mm
$0,30 V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,60 V_{Rd,max}$	0,50 h bzw. 300 mm	h bzw. 600 mm
$V_{Ed} > 0,60 V_{Rd,max}$	0,25 h bzw. 200 mm	

Tabelle 2: Größte Längs- und Querabstände s_{max} von Bügelschenkeln und Querkraftzulagen

	Betonfestigkeitsklasse								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ctm} [N/mm ²]	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1

Tabelle 3: Mittlere Betonzugfestigkeit f_{ctm} für Normalbeton

darf. Der Grundwert ρ ist hierbei abhängig von der Betonfestigkeitsklasse und kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Die erforderliche Mindestbügelbewehrung ergibt sich zu:

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_w} = \rho_w \cdot b_w \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

Dabei ist:

- A_{sw} Querschnittsfläche eines Elementes der Querkraftbewehrung
- s_w Abstand der Bügel in Balkenlängsrichtung
- b_w Stegbreite
- α Winkel zwischen Querkraftbewehrung und Balkenachse (d. h. bei Bügeln senkrecht zur Bauteilachse gilt $\alpha = 90^\circ$, bzw. $\sin \alpha = 1$)

Der Längs- und Querabstand der Bügelschenkel oder der Querkraftzulagen darf die Werte der Tabelle 2 nicht überschreiten.

5. Beschränkung der Rissbreite und Mindestbewehrung

Die Ermittlung der Mindestbewehrung bzw. die Anwendung der Tabellen für die Rissbreitenbeschränkung (Stabdurchmesser- bzw. Stababstandstabelle) setzt die Kenntnis der wirksamen Zugfestigkeit f_{ctm} des Betons zum betrachteten Zeitpunkt voraus.

Die mittlere Betonzugfestigkeit ergibt sich zu

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (7)$$

In Tabelle 3 sind die mittleren Betonzugfestigkeiten f_{ctm} für Normalbeton zusammengestellt.

Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert
 Fachhochschule Giessen Friedberg
 Fachbereich Bauwesen
 jens.minnert@bau.fh-giessen.de

Literatur

- [1] Jens Minnert: „Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbauteile aus Normalbeton nach DIN 1045 (07/01)“, Herausgegeben von der mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern
- [2] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Bemessung und Konstruktion, Ausgabe Juli 2001
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 525, Erläuterungen zu DIN 1045-1, Beuth Verlag, Berlin 2003
- [4] Berichtigung 1: 2005-05 zum DAfStb-Heft 525