Anhang zu:

Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand – erweiterte Bemessungsansätze

von

Josef Hegger Martin Herbrand Viviane Adam

RWTH Aachen Lehrstuhl und Institut für Massivbau (IMB)

> Reinhard Maurer Philipp Gleich Eva Stuppak

Technische Universität Dortmund Lehrstuhl Betonbau

> Oliver Fischer Nicholas Schramm Wolfgang Scheufler

Technische Universität München Lehrstuhl für Massivbau

> Konrad Zilch Remus Tecusan

Zilch + Müller Ingenieure GmbH München

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 150 – Anhang





Technische Universität München



J technische universität dortmund

Lehrstuhl Betonbau



ZM·I ZILCH + MÜLLER INGENIEURE

Schlussbericht

- Anhang -

des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen

Gegenstand: Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand – erweiterte Bemessungsansätze

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) Brüderstraße 53 51427 Bergisch Gladbach

- erstattet von: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Konrad Zilch
- Datum: Aachen, den 31. Oktober 2018
- Projekt-Nr. BASt: FE 15.0591/2012/FRB
- Projekt-Nr. IMB: F-2014-016

Dieses Dokument 96 Seiten zzgl. Deckblatt.

A.1 Messergebnisse – RWTH Aachen

A.1.1 Rissbilder

A.1.1.1 Versuchsträger DLT 1.1















A.1.1.4 Versuchsträger DLT 1.4



A-8

A.1.1.5 Versuchsträger DLT 1.5





A.1.2 Bauteilverhalten

A.1.2.1 Messdaten DLT 1.1

Last-Verformungskurve



Schubrissöffnung



A.1.2.2 Messdaten DLT 1.2

Last-Verformungskurve







A.1.2.3 Messdaten DLT 1.3



A.1.2.4 Messdaten DLT 1.4





A.1.2.5 Messdaten DLT 1.5



Last-Verformungskurve

A.2 Messergebnisse – TU Dortmund

A.2.1 Rissbilder [GLEICH, 2018b]

A.2.1.1 Versuchsträger DLT 2.1





A.2.1.2 Versuchsträger DLT 2.2





A.2.1.3 Versuchsträger DLT 2.3





A.2.1.4 Versuchsträger DLT 2.4





A-21

A.2.2 Stahlspannungen [GLEICH, 2018b]

A.2.2.1 Versuchsträger DLT 2.1







A.2.2.2 Versuchsträger DLT 2.2





A.2.2.3 Versuchsträger DLT 2.3

Bügelnummer	59 57 55 53 51 49 47	47 45 44 43 42 44 32 33 32 31 30 28 27 26 25 24 23 27 16 17 16 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 16 17 16 16 17 16 16 17 16 16 16 16 17<	1 9 7 5 3 1
f)	40		999
LS 14000 kN	8 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12		801 (001) (0
Bageinnmer Bageinnmer (g) LS 1500 kN	59 57 55 53 51 49 47 90 47 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 1	1 4 1	1 9 7 5 3 1 133 133 133 133 134 133 133 133 134 134 134 133 134 134 134 135 136 134 134 134 136 136 134 134 134 136 136 134 134 134 136 136 134 134 134
Buendammer Buendammer	59 57 55 53 51 49 47 40 20 </td <td>1 1</td> <td>1 3 4 1 3 4 1 4 1 4 1 4 1 4 1 4 1 4 1 4</td>	1 1	1 3 4 1 3 4 1 4 1 4 1 4 1 4 1 4 1 4 1 4
i) LS 1700 kN	99 57 55 53 51 40 47 0 9 7 9 9 47 9 0 1	1 4	1 9 7 5 3 1 10 10 10 10 10 10 210 220 20 20 20 20 20 210 20 20 20 20 20 20 20 210 20 20 20 20 20 20 20
(j) TS 12.64 kW	59 57 55 53 51 49 47 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 </td <td>1 1 4 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 0 1</td> <td>222 3 1 222 328 44 222 328 44 222 328 44 222 328 44 222 328 44 222 328 44 223 328 44 224 328 44 225 328 44 328 328 44</td>	1 1 4 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 0 1	222 3 1 222 328 44 222 328 44 222 328 44 222 328 44 222 328 44 222 328 44 223 328 44 224 328 44 225 328 44 328 328 44



A.2.2.4 Versuchsträger DLT 2.4





A.2.3 Maximalwerte der Bügelspannungen [GLEICH, 2018b]

A.2.3.1 Versuchsträger DLT 2.1



A-31

A.2.3.2 Versuchsträger DLT 2.2 400 200 0 200 0 600 400 200 σ [MPa] 600 600 400 σ [MPa] 600 400 200 0 σ [MPa] 600 400 200 σ [MPa] σ [MPa] $\overline{f}_{ym} = 536$ f_{tm}= 609 $f_{tm} = 609$ $f_{tm} = 609$ -f_{ym}= 536 -fym=536 f_{tm}= 609 -_____536 $f_{tm} = 609$ ī. T. T T. 1 I I I ī f_=652 f__=652 f_=652 f_{tm}= 665 f_{tm}= 665 f_{tm}= 665 $f_{tm} = 665$ f_{ym}=652 f_{tm}= 665 f_{tm}= 629 f_{tm}= 629 f_=572 f_{tm}= 629____ f_=572 f_{tm}= 629 f_=572 f_{tm}= 629 $f_{ym}^{-}=57\overline{2}$ $f_{ym}^{-}=57\overline{2}$ L L i. ī Ĩ. I T L 1 I Ĩ ï ī Ī ī L I. I ı I ī I l T Ĩ Ĩ ī 1 T I l ī ı ī $f_{ym}^{-} = 536$ f_{tm}= 609 $f_{ym}^{-}=53\overline{6}$ $f_{tm} = 609$ $-f_{ym}^{-}=536$ f_{tm}= 609 $f_{ym}^{-}=5\overline{36}$ $f_{tm} = 609$ f_= 536 $f_{tm} = 609$ L I I I I T I T Т T I Ī T ī Laststufe 1200 kN Laststufe 1400 kN Laststufe 1607 kN Laststufe 700 kN Laststufe 800 kN (b) LS 800 kN (a) LS 700 kN (c) LS 1200 kN (d) LS 1400 kN (e) LS 1600 kN



A-33

(a) LS 700 kN

(b) LS 800 kN

A.2.3.3 Versuchsträger DLT 2.3 σ [MPa] 600 400 200 0 600 400 200 0 σ [MPa] 600 400 200 σ [MPa] 600 400 200 0 600 400 200 σ [MPa] σ [MPa] $f_{ym}^{-} = 5\overline{36}$ $f_{m} = 609$ - $f_{ym} = 53\overline{6}$ f_m= 609 $f_{ym}^{-}=5\overline{36}$ $f_{ym}^{-}=5\overline{36}$ f_{tm}= 609 $f_{ym}^{f} = 609$ $f_{ym}^{-} = 5\overline{36}$ f_{tm}= 609 L I T 1 T f_{tm}= 665 $f_{tm}^{}=665$ f_{tm}= 665 f_{tm}= 665 f_{ym}=652 f_{tm}= 665 f_{ym}=652 f_{ym}=652 f_w=652 f_w=652 f_{tm}= 590 _F f_{tm}= 590 _Γ f_{tm}= 590 F <u>f</u>_{ym}=<u>4</u>86 $\overline{f}_{ym} = \overline{4}86$ $f_{tm} = 590 F$ f_{tm}= 590 F <u>f</u>_{ym}=<u>4</u>86 <u>f</u>_{ym}=<u>4</u>86 I I T I 1 L T I I I I. I Ĩ. T 1 I Ĩ I Ĩ I I I T 1 I ١ I I I Ī T I 1 T I I t I I I Т Ţ T I I ī t T Ĩ f_{tm}= 609 $\overline{f}_{ym} = \overline{536}$ f_{tm}= 609 $\overline{f}_{ym} = \overline{536}$ f_{tm}= 609 $\overline{f}_{ym} = \overline{536}$ $f_{tm} = 609$ $\overline{f}_{ym} = \overline{536}$ f_{tm}= 609 $\overline{f}_{ym} = \overline{536}$ I T I I I L 1 I I 1 1 1 T Т T Laststufe 1000 kN Laststufe 1200 kN Laststufe 1300 kN Laststufe 700 kN Laststufe 800 kN

(c) LS 1000 kN

(d) LS 1200 kN

(e) LS 1300 kN


σ [MPa] 400 200 0 σ [MPa] σ [MPa] σ [MPa] 600 600 400 200 0 600 400 200 0 600 400 200 0 600 400 200 σ [MPa] f_{ym}= 608 $f_{tm} = 692$ $f_{ym} = 608$ f_{tm}= 692 f_{tm}= 692 $f_{ym} = 608$ f_{tm}= 692 f_{tm}= 692 $f_{ym} = 608$ $f_{ym} = 608$ $\overline{f_{m}^{f}=590}$ -f_{ym}=563 $\frac{f_{tm}=590}{f_{ym}=563}$ $\frac{f_{tm}=590}{f_{ym}=563}$ f_{tm}= 590 $\frac{f_{m}=590}{f_{ym}=563}$ $f_{tm} = 610$ F_____553 $f_{tm} = 610$ f_{ym}=553 $f_{tm} = 610$ F_{ym}=553 $\frac{f_{tm}=610}{\overline{f}_{ym}=\overline{553}}$ $f_{tm}^{}= 610$ F__=553 ī I. Ĩ. i. I 1 I. ī ī. Ĩ Т Т ī 1 Т 1 Т I. 1 T i T T 1 I. I T I Ì. 1 T Ĩ. i. $f_{ym} = 608$ $f_{tm} = 692$ f__= 608 f__= 608 f__= 608 $f_{tm} = 692$ f__= 608 $f_{tm} = 692$ f_{tm}= 692 f_{tm}= 692 Laststufe 200 kN/m Laststufe 225 kN/m Laststufe 250 kN/m Laststufe 275 kN/m Laststufe 300 kN/m (a) LS 200 kN/m (c) LS 250 kN/m (b) LS 225 kN/m (d) LS 275 kN/m (e) LS 300 kN/m

A.2.3.4 Versuchsträger DLT 2.4





(c) LS 1200 kN

(b) LS 800 kN

(d) LS 1400 kN

(e) LS 1540 kN

Dehnung der Längsbewehrung [GLEICH, 2018b] A.2.4

(a) LS 0 kN



A.2.4.2 Versuchsträger DLT 2.2





A-41

A.2.4.3 Versuchsträger DLT 2.3





A.2.4.4 Versuchsträger DLT 2.4







A.2.5 Betondehnungen für ausgewählte Laststufen [GLEICH, 2018b]





A.2.5.2 Hauptdruckdehnungstrajektorien Versuchsträger DLT 2.3



A.2.5.3 Einaxiale Betondehnungen Versuchsträger DLT 2.4

A.3 Messergebnisse – Versuche mit kombinierter Beanspruchung aus M+V+T

A.3.1 Rissbilder



A.3.1.1 Versuchsträger DLT 2.5





A.3.1.2 Versuchsträger DLT 2.6



A.3.2.1 Versuchsträger DLT 2.5

-5 -8 -10 -8

w w v O

7 4 6 6

0 6 3

3 3 3

i S I S

-<u>1</u> -12 1

-10 -8 29

-24 -7 -18 -4 -8 -14 33 -6 0 9

11

12

-24 -14 -10 33 -4 29

-16



(a) LS 700 kN









LASTSTUFE 1550 kN Büzelnummer	66 64 62 60 58 56 5	4 52 51 50 49 48	47 46 45 4	14 43 42	41 40 39	38 37 3	6 35 34	33 32 3	31 30 29	28 27	26 25 24	23 22	21 20 15	9 18 17 16	15 13 11 9	7 5 3 1 1
- dasseter	- - -	-237	-110	-54		t t	84 29	1 261	<mark>150</mark>	4	-31		0E-	-221		-28
Bigelsperund Bigelsperund Bigelsperund Bigelsperund	62 82 217 225 225 225 86 86 165	-5 289 278 -14 284 409 213 96 282 98 120 231 488	228 650 300 328	454 158 139 412 112 604 271 171	422 399 155 16 -21	38 158 510 225	57 13 274 331 6 105 257 16 112 95 95 109 -212 91	7 83 344 1 115 149 1 143 487 258 326 -167	139 650 502 217 650 650 455 579	650 375 650	650 489 365 528	544 650 178 456	396 558 318 318 385 385 385 385 385 385 385 385 385 38	85 650 41 50 287 138 63 269 41 59 103 59 455	231 109 233 66	16 217 185 185 185
mittl. Bügelspannungen max. Bügelspannungen	62 86 225 257	-14 96 231 213 233 289 409	228 650	112 158 454 604	16 422	38 510 5	105 57 6: 518 331 160	1 83 149 258 487	139 217 650 650	375	365	178 650	318 3 558 6	59 103 41 50 650 138	66 233	16 217
ASTSTUFE 1600 kN	666 [64 62 660] 58 56 5	1 51 50 49 48	47 46 45 c	14 43 47	41 40 39	38 37 3	6 35 34	33	20 DF	28 27	26 25 24	7 52	10 10	17 16	13 11 9	5 5 7
- Sunnes		-269	-150	5 5			22 46	389		31	-25		8	-251		-62
	190 162 211 211 221 221 221	0 356 339 -10 321 497 230 116 365 97 138 271	436 650 652 434	218 197 286 650 437 242 437 242	487 485 213 25	218 302	504 198 17 326 394 93 415 316 195 489 189 189 17 -203 145	 106 483 116 483 176 201 210 214 	164 455 159 50 62 650 48 62 48	58 89 89 89 89 89 89 89 89 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80	650 176 81 171	650 54 119	304 304 118 118 118 118 118 118 118 118 118 11	32 650 128 50 209 154 62 362 51 28 170 70	248 126 258 82	263 205 209 209 209 209
mittl. Bügelspannungen max. Bügelspannungen	162 100 221 271	-10 116 271 230 356 497	340 652 5	197 218 528 650	25 487	73 i	145 189 98 104 394 199	106 139 210 483	62 45 300 650	58 650	81 650	54 650	118 1 253 6	28 170 51 50 650 154	82	27
LASTSTUFE 1700 kN Bigelnumm er	66 64 62 60 58 56 5	1 52 51 50 49 48	47 46 45 4	14 43 42	41 40 39	38 37 3	6 35 34	33 32 3	1 30 29	28 27	26 25 24	23 22	21 20 19	9 18 17 16	13 13 11 9	7 5 3 1
-defection of the second secon	<u>69-</u>	-260	211-	-48	-26		145 37(321	182	12	-29		-75	-226		-59
Lonucity Big	263 220 235 245 245 245 145 141 113 207	4 457 36 -6 407 526 258 133 482 107 167 389 513 513 482	650 650 436 368	638 627 650 650 343 333 650 650 650 650 650 650 650 650 650 650	619 650 64 -12	242 376 650 412	550 333 22 439 505 15 301 427 255 550 381 24 11 -216	7 150 565 0 236 198 8 244 256 0 268 251 -192	258 53 194 6 77 88 135 88	574 94 126 650	650 226 229 229	160 650 174	174 1 311 6 183 2 299 1 254	76 650 195 50 237 177 98 424 71 48 218 82 48	276 147 278 101	66 324 240 240
mittl. Bügelspannungen max. Bügelspannungen	220 119 263 296	-6 167 389 258 457 626	436 650 6	338 333 550 650	64 650	242 650 6	301 333 15(350 505 25£	0 150 198 268 565	77 64 351 650	94 650	107 650	87 650	174 1 311 6	48 218 71 50 650 195	101 278	66 324
LASTSTUFE 1792 kN BiageInummer		1 52 51 50 49 48	47 46 45 2	14 43 42	41 40 39	38 37 3	6 35 34	33 32	1 30 29	28 27	26 25 24	23 22	21 20 19	9 18 17 16	13 11 9	7 5 3 1
furuuets	12-	-289	-138	45	×		304 54	9 443	245	44	-28		98-	-267		-67
Bigekşenung Bigekşenung Bigekşenung Bigekşenung	295 247 247 268 291 259 133	4 570 453 -5 499 650 25 222 591 114 197 483	650 650 531	650 477 458 650 550 650 550 519	650 650 129	411 608 393 490	550 445 31 550 586 26 506 570 350 581 327	252 628 1 325 237 327 310 327 310 284	323 323 405 88 116 116	614 121 149 650	650 258 122 268	202 650 211	209 209 331 331 11 1	05 650 242 50 257 197 25 465 89 62 251 93	304 163 298 114	128 269 269
mittl. Bügelspannungen	247 133	650 -5 197 453	531	477 458 477	129	393	103 - 20 506 445 264	252 237	88 76	-232	197	108	344	62 251 89 660	114	128

(e) LS 1550 kN

(f) LS 1600 kN

(g) LS 1700 kN

(h) LS 1792 kN









A.3.2.2 Versuchsträger DLT 2.6

(a) LS 750 kN

(b) LS 900 kN

(c) LS 1200 kN

7 5 3 1 -	138 266 138 138 165 165 266	3 3 1 4 5 3 1 1 4 5 5 3 1 1 4 5 5 5 5 3 1 1 1 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	33	7 5 3 1	35 329 234 36 207 36	329	-67	87 350 270 270 87	
5 13 11 9	172 220 256 95 95 256	201 202 202 202 202 202 202 202 202 202	279	5 13 11 9	228 302 160 160	- 6 11 11 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 -		261 345 332 190	
3 17 16 11	80 417 89 82 84 -12 32 -5 45 45 417 85 417	3 17 16 11 	59 -10 348 348	3 17 16 1	88 337 88 34 88 337 88 34 88 34 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88	00 397	-267	50 448 27 -5 30 12 50 50	- 440
20 19 1	269 6 381 5 650 1 447 1 447 1 650 6 650 1 650 6	20 19 1 20 369 1 3680 1 3680 1	6 44 1 650 6	20 19 1	48 6 238 4 650 3 415 1 415 1 48 415 1 48 48 48 48 48 48 48 48 48 48	20 19 1		53 2 259 5 6 1 4 7 5 2 7 5 2 4 7 5 2 7 7	650 6
23 22 21	650 123 126 426 5 657 5 657 281 281 281 281 650 650 650	3 22 21 	166 55 -19 655	23 22 21		-21 050 051	-96	-73 140 -23 281 -23 281 -23 344 -82 33	-23 650
25 24 2	190 190 650 650 650 650 650	25 24 2 -25 -25 -66	650 123	25 24 3	2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 200	b50 53 5	-28	13 -29 650 650 197 -29	650
27 26	433 650 286 286 285 285 212 212 650	27 26 1	331	27 26	40 375 22 22	27 26	.	52 -22 -22 -22	132
29 28	327 332 650 630 637 637 650 650	29 28 13 117 117	650	0 29 28	196 136 136 136 136 136 136 136 136 136 13	0 29 28	4	117 27 680 158 -23	650
32 31 30	179 116 51 330 328 650 375 650 375 51 650 375 650 650 650 650	32 31 3 220 50 50 50 27	95 13 650 650	32 31 30 182	596 86 204 31 114 650 651 39 114 630 114 630	abul bbul	245	650 121 302 550 145 650 650 57 145 50 164 50	650 650
34 33 294 261	104 0 185 240 293 132 173 177 -212 167 293 240	34 33 460 389 158 299 369 276 250 179	209 216 158 0 369 299	34 33 370 321	199 0 277 346 277 345 326 234 -216 -192 199 0	452 3/1 34 33	549 443	296 0 403 525 638 563 428 340 -202 228	638 563
36 35 84	408 375 578 151 123 432 26 243 26 243 709 578 432	36 35 222 345 660 243 650 243 531 334	-117 51 293 650 639	145 36	523 489 650 347 650 650 607 632 -111 523	800 650	304	583 552 650 416 650 650 650 650 103 1103	650 650
39 38 37	65 65 65 65 1 65 1 65 1	39 38 31 150 405 650	17 150 650	39 33 37 -29	650 481 473 473 473	39 38 37	8	650 644 544 650 41 544 54	650
41 40	144 491 577 104 104 577	41 40 41 60 650 168	168 675	41 40	371 650 176	41 40		650 650 198 198	650
43 42	110 110 110 110 110 110 110 110 110 110	43 42 43 42 338 338 338 42 43 42 16 16 16	123 -8 16 49 650	43 42	33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33	50 550	45	550 550 660 206 80 326 197 197 206	50 650
46 45 44 -110	242 650 392 285 285 285 285 650 650	46 45 44 150 572	650 650	-117 -117	411 650 625 5 448 1 1 411 1 1 1 1	a 10cd 46 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 44 45 45 44 45	-138	486 650 650 650 650 650 486 486 2 2 486 2 2 486 2 2	650
9 48 47	89 225 07 650 07 650 07 650 07 650 07 650 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 650 07 07 050 07 07 050 07 07 050 07 07 050 07 07 050 07 07 050 07 07 050 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07	9 48 47 48 47 49 48 47 41 273	86 650	9 48 47	22 050 24 050 44 314 314 314 314	9 48 47		02 650 88 650 94 377 94 377	BO 650
51 50 4 -237	488 110 241 3	250 4 116 2 116 2	513 278 3	51 50 4 -260	301 4 128 2 135 2 135 2 135 2 135 2 135 2	301 4 301 4	-289	650 154 5 155 2 155 2 155 2 155 2 154 2	329 5
56 54 52	257 55 257 557 55 257 557 55 257 557 557 557 557 557 557	56 54 52 288 288 288 288 288 288 288 288 288 2	272	56 54 52	8 301398/302	56 54 52		115	320
62 60 58	284 284 284 284 284 284 284	62 60 58 61 14	315	62 60 58	169 209 1169 209 1169	341 62 60 58		189 189 189	356
66 64		66 64		-69		66	<u>17-</u>		
hmer	iješpanung iješpanung ješpanung pasta finung elspannungen	FE 1500 AN TITLEF Signard Signard Signard Optionard Optionard	elspannungen jelspannungen felsoo kN	Inner Largestate	gelepanung	jeispannungen FE 1688 kN	tersealer (geispanung	elenannungen
Bügelnun	mittl. Büge	Big entrum Big entrum	mittl. Büg max. Büg LASTSTUF	Bügelnur	mitti. Büg	max. Bug LASTSTUF Bügelnum			and allow

(f) LS 1500 kN (g) LS 1600 kN (h) LS 1688 kN

(e) LS 1450 kN

A.4 Messergebnisse – Technische Universität München

A.4.1 Ergebnisse der optischen Messungen im Bereich der Mittelstütze (SCHRAMM, 2020)

A.4.1.1 Versuchsträger V1, ohne Bügelbewehrung, V_{max}=596 kN



A 4: Laststufe 25% V_{max}

A 4: Laststufe 50% V_{max}



A 4: Laststufe 75% V_{max}

A 4: Laststufe 100% V_{max}





A 10: Laststufe 25% V_{max}

A 10: Laststufe 50% V_{max}



A 10: Laststufe 75% V_{max}

A 10: Laststufe 100% V_{max}

A.4.1.3 Versuchsträger V3, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel, V_{max}=713 kN



A 14: Laststufe 25% V_{max}

A 14: Laststufe 50% V_{max}



A 14: Laststufe 75% V_{max}

A 14: Laststufe 100% V_{max}





A 18: Laststufe 25% V_{max}

A 18: Laststufe 50% V_{max}



A 18: Laststufe 75% V_{max}

A 18: Laststufe 100% V_{max}

A.4.1.5 Versuchsträger V5, Bügel Ø6/25, oben offene Bügel, V_{max}=583 kN



A 22: Laststufe 25% V_{max}

A 22: Laststufe 50% V_{max}



A 22: Laststufe 75% V_{max}

A 22: Laststufe 100% V_{max}

A.4.1.6 Versuchsträger V6, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich, V_{max}=704 kN



A 26: Laststufe 25% V_{max}

A 26: Laststufe 50% V_{max}



A 26: Laststufe 75% V_{max}

A 26: Laststufe 100% V_{max}

A.4.1.7 Versuchsträger V7, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich, V_{max}=668 kN



A 30: Laststufe 25% V_{max}

A 30: Laststufe 50% V_{max}



A 30: Laststufe 75% V_{max}

A 30: Laststufe 100% V_{max}





A 34: Laststufe 25% V_{max}

A 34: Laststufe 50% V_{max}



A 34: Laststufe 75% V_{max}

A 34: Laststufe 100% V_{max}

A.4.1.9 Versuchsträger V9, Bügel Ø6/25, gestoßener Bügel, Vmax=661 kN



A 38: Laststufe 25% V_{max}

A 38: Laststufe 50% V_{max}



A 38: Laststufe 75% V_{max}

A 38: Laststufe 100% V_{max}

A.4.1.10 Versuchsträger V10, keine Bügel, V_{max}=596 kN



A 42: Laststufe 25% V_{max}

A 42: Laststufe 50% V_{max}



A 42: Laststufe 75% V_{max}



A 42: Laststufe 100% V_{max}

A.4.1.11 Versuchsträger V11, Bügel Ø10/25, geschlossene Bügel, V_{max}=910 kN



A 46: Laststufe 25% V_{max}

A 46: Laststufe 50% V_{max}



A 46: Laststufe 75% V_{max}

A 46: Laststufe 100% V_{max}

A.4.2 Rissbilder (SCHRAMM, 2020)

A.4.3 Versuchsträger V2, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel, V_{max}=711 kN



A 50: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 50: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}



A 50: Rissbild, Laststufe 91% V_{max}



A 50: Rissbild, Laststufe Nachbruch

A.4.3.1 Versuchsträger V3, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel, Vmax=713 kN



A 54: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 54: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}



A 54: Rissbild, Laststufe 88% V_{max}



A 54: Rissbild, Laststufe Nachbruch



A.4.3.2 Versuchsträger V4, Bügel Ø6/25, oben offene Bügel, V_{max}=659 kN

A 58: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 58: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}



A 58: Rissbild, Laststufe 94% V_{max}



A 58: Rissbild, Laststufe Nachbruch
A.4.3.3 Versuchsträger V5, Bügel Ø6/25, oben offene Bügel, V_{max}=583 kN



A 63: Rissbild, Laststufe 25% V_{max}



A 63: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 63: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}







A 63: Rissbild, Laststufe Nachbruch



A.4.3.4 Versuchsträger V6, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich, V_{max}=704 kN





A 67: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}



A 67: Rissbild, Laststufe 92% V_{max}



A 67: Rissbild, Laststufe Nachbruch

A.4.3.5 Versuchsträger V7, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich, V_{max}=668 kN



A 72: Rissbild, Laststufe 25% V_{max}



A 72: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 72: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}







A 72: Rissbild, Laststufe Nachbruch





A 77: Rissbild, Laststufe 25% V_{max}



A 77: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 77: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}







A 77: Rissbild, Laststufe Nachbruch

A.4.3.7 Versuchsträger V9, Bügel Ø6/25, gestoßener Bügel, Vmax=661 kN



A 82: Rissbild, Laststufe 25% V_{max}



A 82: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 82: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}







A 82: Rissbild, Laststufe Nachbruch



A.4.3.8 Versuchsträger V10, keine Bügel, Vmax=596 kN





A 86: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}



A 86: Rissbild, Laststufe 99% V_{max}



A 86: Rissbild, Laststufe Nachbruch

A.4.3.9 Versuchsträger V11, Bügel Ø10/25, geschlossene Bügel, V_{max}=910 kN



A 91: Rissbild, Laststufe 25% V_{max}



A 91: Rissbild, Laststufe 50% V_{max}



A 91: Rissbild, Laststufe 75% V_{max}







A 91: Rissbild, Laststufe Nachbruch

A.5 Anwendung der Sicherheitskonzepte an den kalibrierten Rechenmodellen

A.5.1 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 2.1

Bemessungswerte:

Tabelle 92: Bemessungswerte Beton DLT 2.1

Beton Bemessungswerte:			
E	26848	[N/mm²]	
fc	21,05	[N/mm²]	
fct	1,07	[N/mm²]	
Gf	2,67E-05	[MN/m]	
εc1	1,84	[‰]	

Tabelle 93: Bemessungswerte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl			
Bemessungswerte:			
fp0,1	1317	[N/mm²]	
fp	1511	[N/mm²]	
E	199700	[N/mm ²]	

Tabelle 94: Bemessungswerte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:				
Durchmesser	fy	ft	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø8	375	407	184000	
Ø12	421	483	200750	
Ø16	438	509	205200	
Ø20	458	530	196000	
Ø25	439	511	196000	



Bild 328: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>y_R Verfahren:</u>

Tabelle 95: γ_R Werte Beton DLT 2.1

Betc	Beton γ _R :			
E	28878	[N/mm²]		
fc	26,84	[N/mm²]		
fct	1,36	[N/mm²]		
Gf	3,40E-05	[MN/m]		
εc1	1,97	[‰]		

Tabelle 96: γ_R Werte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl γ _R :			
fp0,1	1666	[N/mm²]	
fp	1911	[N/mm²]	
E	199700	[N/mm²]	

Tabelle 97: γ_R Werte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl γ _R :			
Durchmassar	fy	ft	Е
Durchinesser	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø8	475	515	184000
Ø12	532	611	200750
Ø16	554	644	205200
Ø20	580	671	196000
Ø25	555	647	196000
1600	Last-Verformung	s-Kurven DLT 2.1	
1400			
¥ 1200			X
Se 1000			<u>N</u>



Bild 329: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 98: Mittelwerte Beton DLT 2.1

Beton Mittelwerte:			
E	32828	[N/mm²]	
fc	41,15	[N/mm²]	
fct	2,688	[N/mm²]	
Gf	6,72E-05	[MN/m]	
εc1	2,22	[‰]	

Tabelle 99: Mittelwerte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl Mittelwerte:			
fp0,1 1666 [N/mm ²]			
fp	1911 [N/mm²]		
E	199700	[N/mm²]	

Tabelle 100: Mittelwerte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl Mittelwerte:				
Durchmesser	fy	ft	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø8	475	515	184000	
Ø12	532	611	200750	
Ø16	554	644	205200	
Ø20	580	671	196000	
Ø25	555	647	196000	

Tabelle 101: Charakteristische Werte Beton DLT 2.1

Beton charakteristisch:			
E	31836	[N/mm²]	
fc	37,15	[N/mm²]	
fct	1,8816	[N/mm²]	
Gf	4,70E-05	[MN/m]	
εc1	2,16	[‰]	

Tabelle 102: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl charakteristisch:			
fp0,1 1515 [N/mm ²]			
fp	1737	[N/mm²]	
E	199700	[N/mm²]	

Tabelle 103: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl charakteristisch:				
Durchmesser	fy	ft	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø8	432	468	184000	
Ø12	484	555	200750	
Ø16	504	586	205200	
Ø20	527	610	196000	
Ø25	505	588	196000	



Bild 330: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	1523,4	[kN]
F _{5%Fraktile} =	1430,2	[kN]
γ*=	1,099	
γ _{sys} =	1,065	
γR=	1,170	
Fd=	1302,26	[kN]



Bild 331: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

A.5.2 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 2.2

Bemessungswerte:

Tabelle 104: Bemessungswerte Beton DLT 2.2

Beton Bemessungswerte:			
E	26772	[N/mm²]	
fcd	19,17	[N/mm²]	
fctd	1,24	[N/mm ²]	
Gfd	3,090E-05	[MN/m]	
εc1	1,82	[‰]	

Tabelle 105: Bemessungswerte Spannstahl DLT 2.2

Spannstahl Bemessungswerte:		
fp0,1d 1358,1 [N/mm ²]		
fpd	1510,7	[N/mm²]
E	199700	[N/mm ²]

Tabelle 106: Bemessungswerte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	515	526	199170
Ø10	452	497	200807
Ø12	424	482	199696
Ø16	424	506	200683
Ø20	438	513	204019



Bild 332: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>y_R Verfahren:</u>

Tabelle 107: γ_R Werte Beton DLT 2.2

Beton	γr:	
E	28796	[N/mm²]
fcR	24,44	[N/mm²]
fctR	1,58	[N/mm²]
GfR	3,94E-05	[MN/m]
εc1	1,97	[‰]

Tabelle 108: γ_R Werte Spannstahl DLT 2.2

Spannsta	hl γ _R :	
fp0,1	1718	[N/mm²]
fp	1911	[N/mm²]
E	199700	[N/mm²]

Tabelle 109: γ_R Werte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl γ _R :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	652	665	199170
Ø10	572	629	200807
Ø12	536	609	199696
Ø16	536	640	200683
Ø20	555	649	204019



Bild 333: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 110: Mittelwerte Beton DLT 2.2

Beton Mittelwerte:			
E	32828	[N/mm²]	
fc	37,83	[N/mm²]	
fct	3,116	[N/mm²]	
Gf	7,79E-05	[MN/m]	
εc1	2,25	[‰]	

Tabelle 111: Mittelwerte Spannstahl DLT 2.2

Spannstahl Mittelwerte:			
fp0,1	1718	[N/mm²]	
fp	1911	[N/mm²]	
E	199700	[N/mm²]	

Tabelle 112: Mittelwerte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	652	665	199170
Ø10	572	629	200807
Ø12	536	609	199696
Ø16	536	640	200683
Ø20	555	649	204019

Tabelle 113: Charakteristische Werte Beton DLT 2.2

Beton charakteristisch:		
E	31746	[N/mm²]
fc	33,83	[N/mm²]
fct	2,18	[N/mm²]
Gf	5,45E-05	[MN/m]
εc1	2,17	[‰]

Tabelle 114: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 2.2

Spannstahl charakteristisch:		
fp0,1 1561,8 [N/mm ²]		
fp	1737,3	[N/mm²]
E	199700	[N/mm²]

Tabelle 115: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	652	665	199170
Ø10	572	629	200807
Ø12	536	609	199696
Ø16	536	640	200683
Ø20	555	649	204019



Bild 334: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	1632,3	[kN]
F _{5%Fraktile} =	1533,7	[kN]
γ*=	1,097	
γ _{sys} =	1,065	
γR=	1,168	
Fd=	1397,05	[kN]



Bild 335: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

A.5.3 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 2.3

Bemessungswerte:

Tabelle 116: Bemessungswerte Beton DLT 2.3

Beton Bemessungswerte:		
E	26793	[N/mm²]
fcd	19,65	[N/mm²]
fctd	1,23	[N/mm²]
Gfd	3,070E-05	[MN/m]
εc1	1,76	[‰]

Tabelle 117: Bemessungswerte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl Bemessungswerte:			
fp0,1d	fp0,1d 1307,5 [N/mm ²]		
fpd	1468,8 [N/mm ²]		
E	197300	[N/mm²]	

Tabelle 118: Bemessungswerte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	515,2	525,9	199170
Ø8	384,4	466,7	198305
Ø12	424,0	481,6	199696
Ø16	423,8	505,9	200683
Ø20	438,3	513,3	204019



Bild 336: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>γ_R Verfahren:</u>

Tabelle 119: γ_R Werte Beton DLT 2.3

Beton _y	r _R :	
E	28818	[N/mm²]
fcR	25,05	[N/mm²]
fctR	1,57	[N/mm²]
GfR	3,91E-05	[MN/m]
εc1	1,90	[‰]

Tabelle 120: γ_R Werte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl γ _R :		
fp0,1	1654	[N/mm²]
fp	1858	[N/mm²]
E	197300	[N/mm²]

Tabelle 121: γ_R Werte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl γ _R :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	651,7	665,3	199170
Ø8	486,3	590,4	198305
Ø12	536,4	609,2	199696
Ø16	536,1	640,0	200683
Ø20	554,5	649,3	204019



Bild 337: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 122: Mittelwerte Beton DLT 2.3

Beton Mittelwerte:		
E	32828	[N/mm²]
fc	38,67	[N/mm²]
fct	3,096	[N/mm²]
Gf	7,74E-05	[MN/m]
εc1	2,17	[‰]

Tabelle 123: Mittelwerte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl Mittelwerte:		
fp0,1 1654 [N/mm ²]		
fp	1858	[N/mm²]
E	197300	[N/mm ²]

Tabelle 124: Mittelwerte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	fy ft E		
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	651,7	665,3	199170
Ø8	486,3	590,4	198305
Ø12	536,4	609,2	199696
Ø16	536,1	640,0	200683
Ø20	554,5	649,3	204019

Tabelle 125: Charakteristische Werte Beton DLT 2.3

Beton charakteristisch:		
E	31770	[N/mm²]
fc	34,67	[N/mm²]
fct	2,17	[N/mm²]
Gf	5,42E-05	[MN/m]
εc1	2,10	[‰]

Tabelle 126: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl charakteristisch:			
fp0,1 1503,6 [N/mm ²			
fp	1689,1	[N/mm²]	
E	197300	[N/mm ²]	

Tabelle 127: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	fy	ft	Е
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	651,7	665,3	199170
Ø8	486,3	590,4	198305
Ø12	536,4	609,2	199696
Ø16	536,1	640,0	200683
Ø20	554,5	649,3	204019



Bild 338: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	1540,20	[kN]
F _{5%Fraktile} =	1406,58	[kN]
γ*=	1,145	
γ _{sys} =	1,065	
γR=	1,220	
Fd=	1262,86	[kN]



Bild 339: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

Bemessungswerte:

Tabelle 128: Bemessungswerte Beton DLT 1.1

Beton Bemessungswerte:			
E	E 21225 [N/mm ²]		
fcd	25,30	[N/mm²]	
fctd	1,35	[N/mm²]	
Gfd	3,365E-05	[MN/m]	

Tabelle 129: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl Bemessungswerte:			
fp0,1d	1366,8	[N/mm ²]	
fpd	1541,5	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 130: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370



Bild 340: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>γ_R Verfahren:</u>

Tabelle 131: γ_R Werte Beton DLT 1.1

Beton γ_R :			
E	22830	[N/mm²]	
fcR	32,26	[N/mm²]	
fctR	1,72	[N/mm ²]	
GfR	4,29E-05	[MN/m]	

Tabelle 132: γ_R Werte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl γ _R :				
fp0,1	1729	[N/mm²]		
fp	1950	[N/mm²]		
E	190000	[N/mm²]		

Tabelle 133: yR Werte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl γ _R :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370



Bild 341: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 134: Mittelwerte Beton DLT 1.1

Beto	n Mittelwer	te:
E	25824,36	[N/mm²]

fc	48,65	[N/mm²]
fct	3,393	[N/mm²]
Gf	8,48E-05	[MN/m]

Tabelle 135: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl Mittelwerte:			
fp0,1	fp0,1 1729		
fp	1950	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 136: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

Tabelle 137: Charakteristische Werte Beton DLT 1.1

Beton charakteristisch:				
E 25168 [N/mm ²]				
fc	44,65	[N/mm²]		
fct	2,38	[N/mm²]		
Gf	5,94E-05	[MN/m]		

Tabelle 138: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl charakteristisch:			
fp0,1	fp0,1 1571,8 [N/mm ²]		
fp	1772,7	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 139: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl charakteristisch:				
Durchmesser	fy	ft	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø6	510,0	568,2	200553	
Ø8	482,7	596,4	196673	
Ø10	472,7	542,7	195510	
Ø12	504,5	579,1	194990	
Ø16	541,8	628,2	196840	
Ø25	506,4	598,2	201370	



Bild 342: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	963,73	[kN]
F _{5%Fraktile} =	872,36	[kN]
γ*=	1,161	
γ _{sys} =	1,065	
γR=	1,236	
Fd=	779,65	[kN]



Bild 343: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

A.5.5 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.2

Bemessungswerte:

Tabelle 140: Bemessungswerte Beton DLT 1.2

Beton Bemessungswerte:			
E	22253	[N/mm²]	
fcd	20,33	[N/mm²]	
fctd	1,27	[N/mm²]	
Gfd	3,173E-05	[MN/m]	
eps_c1=	1,781	[‰]	

Tabelle 141: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl Bemessungswerte:				
fp0,1d 1366,8 [N/mm ²]				
fpd 1541,5 [N/mm²]				
E	190000	[N/mm²]		

Tabelle	142:	Bemessu	inaswerte	Betonstahl	DLT	1.2
rabono		Donnoood	ingonorio	Dotoriotarii		

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:				
Durchmesser	fy	ft	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø6	443,5	494,1	200553	
Ø8	419,8	518,6	196673	
Ø10	411,1	471,9	195510	
Ø12	438,7	503,6	194990	
Ø16	471,1	546,2	196840	
Ø25	440,3	520,2	201370	



Bild 344: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>γ_R Verfahren:</u>

Tabelle 143: γ_R Werte Beton DLT 1.2

Beton γ_R :		
E	23936	[N/mm²]
fcR	25,92	[N/mm²]
fctR	1,62	[N/mm²]
GfR	4,05E-05	[MN/m]
eps_c1=	1,920	[‰]

Tabelle 144: γ_R Werte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl γ _R :				
fp0,1	1729	[N/mm²]		
fp	1950	[N/mm²]		
E	190000	[N/mm²]		

Bewehrungsstahl γ _R :				
Durchmesser	fy	ft	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø6	561,0	625,0	200553	
Ø8	531,0	656,0	196673	
Ø10	520,0	597,0	195510	
Ø12	555,0	637,0	194990	
Ø16	596,0	691,0	196840	
Ø25	557,0	658,0	201370	

Tabelle 145: γ_R Werte Betonstahl DLT 1.2



Bild 345: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 146: Mittelwerte Beton DLT 1.2

Beton Mittelwerte:			
E	27237,46	[N/mm²]	
fc	39,87	[N/mm²]	
fct	3,2	[N/mm²]	
Gf	8,00E-05	[MN/m]	
eps_c1=	2,194	[‰]	

Tabelle 147: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl Mittelwerte:			
fp0,1	1729	[N/mm²]	
fp	1950	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 148: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.2

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

Tabelle 149: Charakteristische Werte Beton DLT 1.2

Beton charakteristisch:			
E	26387	[N/mm²]	
fc	35,87	[N/mm²]	
fct	2,24	[N/mm²]	
Gf	5,60E-05	[MN/m]	
eps_c1=	2,124	[‰]	

Tabelle 150: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl charakteristisch:			
fp0,1	1571,8	[N/mm²]	
fp	1772,7	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 151: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.2

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	542,7	542,7	195510
Ø12	579,1	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370



Bild 346: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	1263,56	[kN]
F _{5%Fraktile} =	1121,96	[kN]
γ*=	1,246	
γ _{sys} =	1,065	
γR=	1,327	
Fd=	952,42	[kN]



Bild 347: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

A.5.6 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.3

Bemessungswerte:

Tabelle 152: Bemessungswerte Beton DLT 1.3

Beton Bemessungswerte:			
E	21102	[N/mm²]	
fcd	20,18	[N/mm ²]	
fctd	1,27	[N/mm ²]	
Gfd	3,177E-05	[MN/m]	

Tabelle 153: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl Bemessungswerte:				
fp0,1d	1366,8	[N/mm²]		
fpd	1541,5	[N/mm²]		
E	190000	[N/mm²]		

Tabelle 154: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370



Bild 348: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>γ_R Verfahren:</u>

Tabelle 155: γ_R Werte Beton DLT 1.3

Beton γ_R :			
E	22697	[N/mm²]	
fcR	25,74	[N/mm²]	
fctR	1,62	[N/mm²]	
GfR	4,05E-05	[MN/m]	

Tabelle 156: γ_R Werte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl γ _R :			
fp0,1	1729	[N/mm²]	
fp	1950	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 157: γ_R Werte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl γ _R :			
Durchmes- ser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370



Bild 349: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 158: Mittelwerte Beton DLT 1.3

Beton Mittelwerte:			
E	25833,44	[N/mm²]	
fc	39,62	[N/mm²]	
fct	3,204	[N/mm²]	
Gf	8,01E-05	[MN/m]	

Tabelle 159: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl Mittelwerte:			
fp0,1	1729	[N/mm²]	
fp	1950	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 160: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl Mittelwerte:				
Durchmesser	Durchmesser fy ft E			
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø6	561,0	625,0	200553	
Ø8	531,0	656,0	196673	
Ø10	520,0	597,0	195510	
Ø12	555,0	637,0	194990	
Ø16	596,0	691,0	196840	
Ø25	557,0	658,0	201370	

Tabelle 161: Charakteristische Werte Beton DLT 1.3

Beton charakteristisch:			
E	25022	[N/mm²]	
fc	35,62	[N/mm²]	
fct	2,24	[N/mm²]	
Gf	5,61E-05	[MN/m]	

Tabelle 162: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl charakteristisch:			
fp0,1	1571,8	[N/mm ²]	
fp	1772,7	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 163: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	472,7	542,7	195510
Ø12	504,5	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370



Bild 350: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	1478,10	[kN]
F _{5%Fraktile} =	1417,08	[kN]
γ*=	1,081	
γ _{sys} =	1,06473595	
γR=	1,151	
Fd=	1284,15	[kN]



Bild 351: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

A.5.7 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.4

Bemessungswerte:

Tabelle 164: Bemessungswerte Beton DLT 1.4

Beton	Beton Bemessungswerte:			
E	15579	[N/mm²]		
fcd	23,87	[N/mm²]		
fctd	1,51	[N/mm²]		
Gfd	3,784E-05	[MN/m]		

Tabelle 165: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl Bemessungswerte:		
fp0,1d	1366,8	[N/mm²]
fpd	1541,5	[N/mm²]
E	190000	[N/mm²]

Tabelle 166: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.4

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370



Bild 352: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>γ_R Verfahren:</u>

Tabelle 167: γ_R Werte Beton DLT 1.4

Beton γ_R :			
E	15420	[N/mm²]	
fcR	30,44	[N/mm²]	
fctR	1,93	[N/mm²]	
GfR	4,82E-05	[MN/m]	

Tabelle 168: γ_R Werte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl γ _R :			
fp0,1	1729	[N/mm²]	
fp	1950	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 169: γ_R Werte Betonstahl DLT 1.4

Bewehrungsstahl γ _R :			
Durchmes- ser	fy	E	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370



Bild 353: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 170: Mittelwerte Beton DLT 1.4

Beton Mittelwerte:				
Е	23368,62	[N/mm²]		
fc	46,13	[N/mm²]		
fct	3,816	[N/mm²]		
Gf	9,54E-05	[MN/m]		

Tabelle 171: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl Mittelwerte:			
fp0,1	[N/mm²]		
fp	1950	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Tabelle 172: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.4

Bewehrungsstahl Mittelwerte:				
Durchmesser fy ft E				
	[N/mm ²] [N/mm ²]		[N/mm²]	
Ø6	561,0	625,0	200553	
Ø8	531,0	656,0	196673	
Ø10	520,0	597,0	195510	
Ø12	555,0	637,0	194990	
Ø16	596,0	691,0	196840	
Ø25	557,0	658,0	201370	

Tabelle 173: Charakteristische Werte Beton DLT 1.4

Beto	Beton charakteristisch:			
E	21342	[N/mm²]		
fc	42,13	[N/mm ²]		
fct	2,67	[N/mm ²]		
Gf	6,68E-05	[MN/m]		

Tabelle 174: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl charakteristisch:			
fp0,1	[N/mm²]		
fp	1772,7	[N/mm²]	
E	190000	[N/mm²]	

Bewehrungsst	Bewehrungsstahl charakteristisch:		
Durchmesser	Durchmesser fy ft		
	[N/mm ²] [N/mm ²]		[N/mm²]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	472,7	542,7	195510
Ø12	504,5	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370

Tabelle 175: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.4



Bild 354: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	1934,92	[kN]
F _{5%Fraktile} =	1727,15	[kN]
γ*=	1,186	
γ _{sys} =	1,065	
γR=	1,263	
Fd=	1532,33	[kN]



Bild 355: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

A.5.8 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.5

Bemessungswerte:

Tabelle 176: Bemessungswerte Beton DLT 1.5

Beton Bemessungswerte:				
E	17745	[N/mm²]		
fcd	23,21	[N/mm²]		
fctd	1,31	[N/mm ²]		
Gfd	3,284E-05	[MN/m]		

Tabelle 177: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl Bemessungswerte:				
fp0,1d	1358,1	[N/mm²]		
fpd	1510,7	[N/mm²]		
E	199700	[N/mm²]		

Tabelle 178: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.5

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmes-	fv	£, £ F	F
ser	Ту	ι	L
	[N/mm ²] [N/mm ²]		
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370



Bild 356: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

<u>y_R Verfahren:</u>

Tabelle 179: γ_R Werte Beton DLT 1.5

Beton γ_R :			
E	17520	[N/mm²]	
fcR	29,59	[N/mm²]	
fctR	1,68	[N/mm²]	
GfR	4,19E-05	[MN/m]	

Tabelle 180: γ_R Werte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl γ _R :			
fp0,1	1718	[N/mm²]	
fp	1911	[N/mm²]	
E	199700	[N/mm²]	

Tabelle 181: γ_R Werte Betonstahl DLT 1.5

Bewehrungsstahl γ _R :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370



Bild 357: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

ECOV Methode:

Tabelle 182: Mittelwerte Beton DLT 1.5

Beton Mittelwerte:				
E	E 26617,71 [N/mm ²]			
fc	44,95	[N/mm²]		
fct	3,312	[N/mm²]		
Gf	8,28E-05	[MN/m]		

Tabelle 183: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl Mittelwerte:				
fp0,1 1718 [N/mm ²]				
fp 1911 [N/mm ²]				
E 199700 [N/mm ²]				

Tabelle 184: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.5

Bewehrungsstahl Mittelwerte:				
Durchmesser	fy	fy ft E		
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø6	561,0	625,0	200553	
Ø8	531,0	656,0	196673	
Ø10	520,0	597,0	195510	
Ø12	555,0	637,0	194990	
Ø16	596,0	691,0	196840	
Ø25	557,0	658,0	201370	

Tabelle 185: Charakteristische Werte Beton DLT 1.5

Beton charakteristisch:				
E	E 24249 [N/mm ²]			
fc	40,95	[N/mm²]		
fct	ct 2,32 [N/mm ²]			
Gf	5,80E-05	[MN/m]		

Tabelle 186: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl charakteristisch:				
fp0,1 1561,8 [N/mm ²]				
fp	fp 1737,3			
E	[N/mm ²]			

Bewehrungsstahl charakteristisch:				
Durchmesser	fy	ft	Е	
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	
Ø6	510,0	568,2	200553	
Ø8	482,7	596,4	196673	
Ø10	472,7	542,7	195510	
Ø12	504,5	579,1	194990	
Ø16	541,8	628,2	196840	
Ø25	506,4	598,2	201370	

Tabelle 187: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.5



Bild 358: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

F _{50%Fraktile} =	2290,55	[kN]
F _{5%Fraktile} =	2070,88	[kN]
γ*=	1,163	
γ _{sys} =	1,065	
γR=	1,238	
Fd=	1849,61	[kN]



Bild 359: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte



Bild 360: Bemessungswerte des Tragwiderstandes nach den einzelnen Sicherheitskonzepten bezogen auf der Versuchslast, Versuchsträger TU Dortmund



Bild 361: Bemessungswerte des Tragwiderstandes nach den einzelnen Sicherheitskonzepten bezogen auf der Versuchslast, Versuchsträger RWTH Aachen