

Prüfbericht 2011-2012

Erdbebensicherheitsprüfungen zum Nachweis der Konformität und der Duktilität von Bewehrungskupplungen

BARON C

ANCOTECH SA, BULLE

Die Prüfungen wurden an der Hochschule für
Technik und Architektur Freiburg (EIF) durchgeführt

Herr Arthur Perroud (Mitarbeitender / EIF)
Herr Marc Barras (Bauingenieur / ANCOTECH SA)

1	Einleitung	4
2	Ziel der Studie	4
2.1	Zug-Druck-Versuche, die ein Erdbeben mittlerer Intensität simulieren	4
2.2	Zug-Druck-Versuche mit grossen Verformungen, die ein starkes Erdbeben simulieren	5
3	Grundlage	6
3.1	Beschreibung der Prüfungen	6
3.2	Prüfstände der EIF	6
3.3	Beschreibung der Bewehrungskupplung BARON-C	7
3.3.1	Geometrische Eigenschaften von Mutterteil und Vaterteil vor dem Pressen	7
3.3.2	Materialeigenschaften	8
3.3.2.1	Muffen	8
3.3.2.2	Bewehrungsstahl	8
3.3.3	Geometrische Daten der geprüften Stäbe	9
3.3.3.1	Starkes Erdbeben B500B	9
3.3.3.2	Starkes Erdbeben B500C	10
3.3.3.3	Mittleres Erdbeben B500B	11
3.3.3.4	Mittleres Erdbeben B500C	12
3.3.4	Verpressdruck	13
3.3.5	Anzugsdrehmoment	14
4	Prüfungen	15
4.1	Ablauf der Prüfungen	15
4.1.1	Vorbereitung der geprüften Stäbe	15
4.1.2	Ablauf der Prüfungen	15
4.1.3	Beschreibung der Prüfung mittleres Erdbeben	15
4.1.4	Beschreibung der Prüfung starkes Erdbeben	16
5	Ergebnisse der Prüfungen für mittleres Erdbeben	17
5.1	Zyklische Prüfungen	17
5.2	Zugprüfungen bis zur Zerstörung nach der zyklischen Prüfung	18
5.3	Für mittleres Erdbeben gemessene Werte	19
5.3.1	Kupplungen B500B	19
5.3.2	Kupplungen B500C	19
5.3.3	Diagramm der Verformungen μ_{20} bei mittlerem Erdbeben	20
5.3.3.1	Kupplungen B500B	20
5.3.3.2	Kupplungen B500C	20
5.3.4	Diagramm der Bruchfestigkeit nach 20 Zyklen bei mittlerem Erdbeben	21
5.3.4.1	Kupplungen B500B	21

5.3.4.2	Kupplung B500C	22
5.3.5	Vergleichsdiagramm für einen Referenzstab und eine Kupplung unter 20 Prüfzyklen bei mittlerem Erdbeben	23
5.3.5.1	Kupplung B500C	23
5.3.5.2	Kupplung B500B	23
5.3.6	Vergleichsdiagramm für eine Kupplung B500B und eine Kupplung B500C unter 20 Zyklen bei mittlerem Erdbeben	24
6	Starkes Erdbeben	25
6.1	Zyklische Prüfungen.....	25
6.1.1	Berechnungsdetails für μ_4 und μ_8	26
6.2	Druckprüfungen bis zur Zerstörung.....	27
6.3	Für starkes Erdbeben gemessene Werte	28
6.3.1	Kupplungen B500B	28
6.3.2	Kupplungen B500C	28
6.3.3	Diagramm der Verformungen μ_4 und μ_8 bei starkem Erdbeben	29
6.3.3.1	Kupplungen B500B	29
6.3.3.2	Kupplungen B500C	30
6.3.4	Diagramm der Bruchfestigkeit nach 2 x 4 Zyklen bei starkem Erdbeben.....	31
6.3.4.1	Kupplungen B500B	31
6.3.4.2	Kupplungen B500C	32
6.3.5	Vergleichsdiagramm für einen Referenzstab und eine Kupplung unter 2 Prüfzyklen bei starkem Erdbeben	33
6.3.6	Vergleichsdiagramm für einen Referenzstab und eine Kupplung unter 2 x 4 Prüfzyklen bei starkem Erdbeben	34
6.3.7	Vergleichsdiagramm für eine Kupplung B500B und eine Kupplung B500C unter 2 x 4 Zyklen bei starkem Erdbeben	35
7	Fotos der gebrochenen Prüfstäbe.....	36
8	Schlussfolgerung.....	37
8.1	Mittleres Erdbeben	37
8.2	Starkes Erdbeben	337
8.3	Allgemeine Schlussfolgerung.....	37

1 Einleitung

Die Norm SIA 260 liefert die Grundlagen für die erdbebensichere Auslegung, während die Norm SIA 261 die seismischen Beanspruchungen, die Methoden für die Analyse von Tragwerken, die Unterteilung von Bauwerken in unterschiedliche Klassen sowie die konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen festlegt. Die Norm SIA 262 definiert die speziellen Regeln für den Betonbau.

Die Duktilität ist der entscheidende Parameter für das Erdbebenverhalten (SIA 262 4.3.9.3). Wenn ein Tragwerk sich bei einem Erdbeben plastisch verformt, wird ein grosser Teil der zugeführten Energie in die plastischen Bereiche abgeleitet. Eine ausreichende Duktilität der Kupplungen ermöglicht es, dieses vorteilhafte Phänomen zu erzeugen. Die mit den Kupplungen BARON-C durchgeführten Prüfungen simulieren das Verhalten eines Tragwerks, das mit Kupplungen in einem plastischen Bereich ausgestattet ist. Es werden zwei Arten von Erdbeben simuliert, ein mittleres und ein starkes Erdbeben.

2 Ziel der Studie

- Prüfen der BARON-C Kupplungen unter zyklischen dynamischen Belastungen, die mittlere und starke Erdbeben simulieren. Ziel der Prüfungen ist es, die Konformität mit den Anforderungen der internationalen Richtlinien ISO 15835-1 (01.04.2009) zu prüfen.
- Überprüfen des Verhaltens der Kupplungen mit Bewehrungen unterschiedlicher Duktilitätsklasse (B und C).

2.1 Zug-Druck-Versuche, die ein Erdbeben mittlerer Intensität simulieren

Leistungsanforderungen:

Zugfestigkeit $\geq R_m$, spez

Zugfestigkeit $\geq R_{eH,spé} \cdot \frac{R_m}{R_{eH}}$

Bleibende Dehnung: $\mu_{20} \leq 0,3 \text{ mm}$

2.2 Zug-Druck-Versuche mit grossen Verformungen, die ein starkes Erdbeben simulieren

Leistungsanforderungen:

Zugfestigkeit $\geq R_m$, spez

$$\text{Zugfestigkeit} \geq R_{eH, \text{spé}} \cdot \frac{R_m}{R_{eH}}$$

Bleibende Dehnung: $\mu_4 = 0,3 \text{ mm}$ / $\mu_8 = 0,6 \text{ mm}$

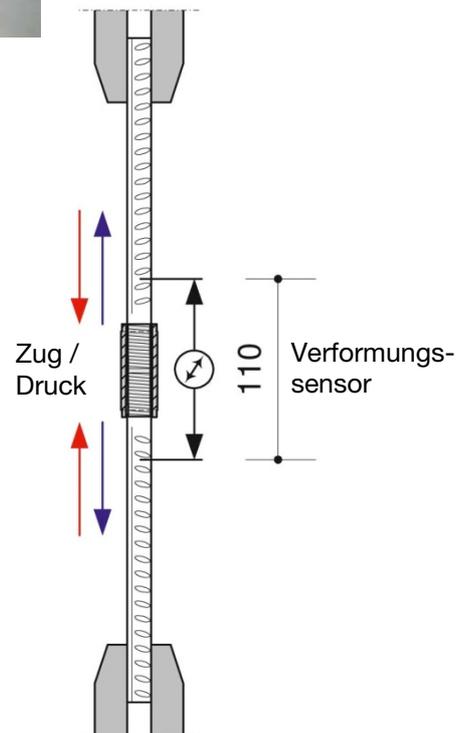
3 Grundlage

3.1 Beschreibung der Prüfungen

Die Prüfungen wurden im Werkstoffprüflabor der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (Schweiz) durchgeführt. Die Prüfungen wurden in Zusammenarbeit mit Herrn Yanis Schaller (Bauingenieur) der EIF, Herrn Arthur Perroud (Mitarbeitender) der EIF und Herrn Marc Barras (Bauingenieur) der Firma ANCOTECH SA durchgeführt.

3.2 Prüfstände der EIF

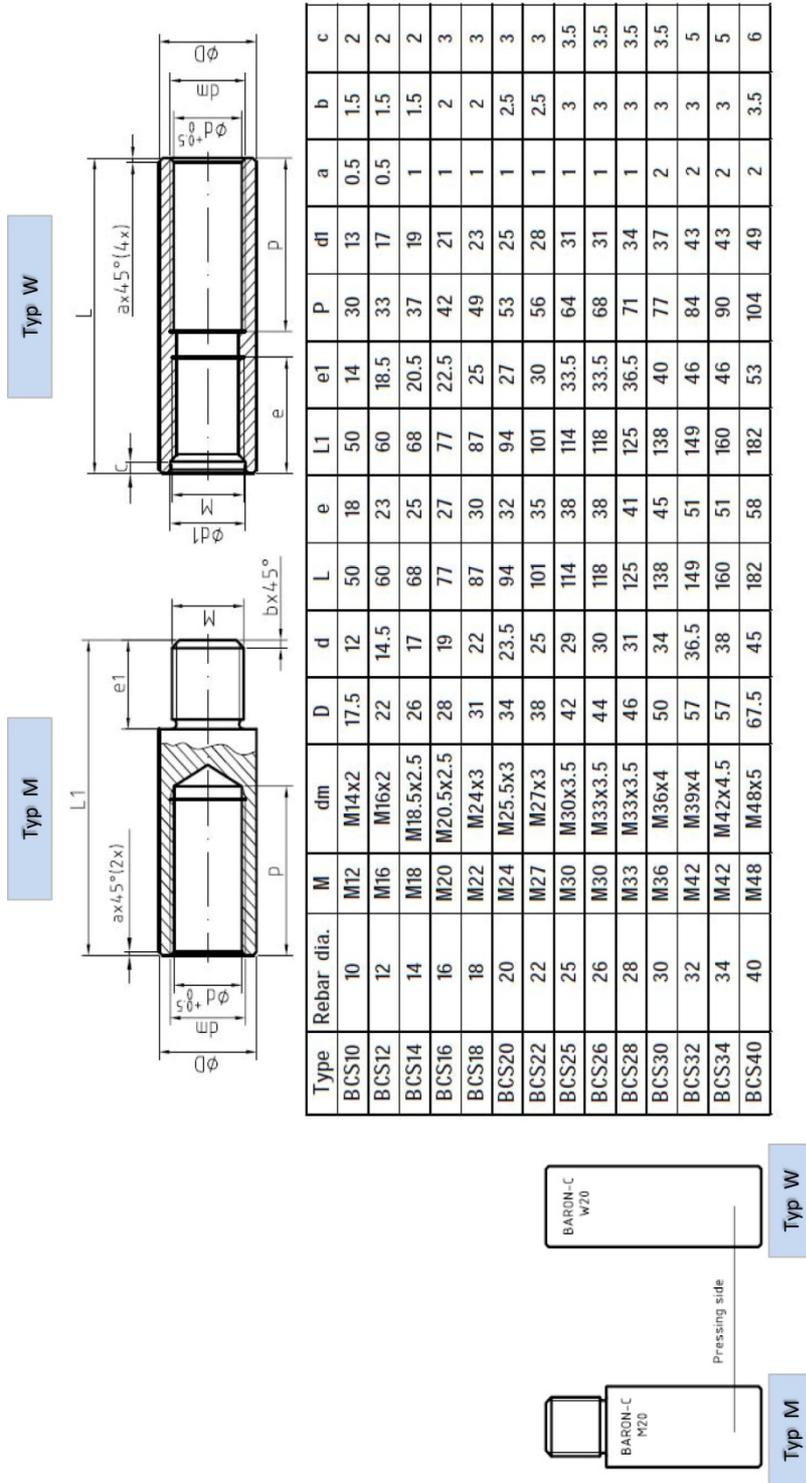
Die Versuche wurden mit einer Zug-Druck-Prüfmaschine mit einer Kapazität von 650 kN durchgeführt.



3.3 Beschreibung der Bewehrungskupplung BARON-C

Die Bewehrungskupplungen BARON-C bestehen aus einem Mutterteil und einem Vatterteil, welche jeweils auf einen Bewehrungsstab aufgedrückt werden.

3.3.1 Geometrische Eigenschaften von Mutterteil und Vatterteil vor dem Pressen



3.3.2 Materialeigenschaften

3.3.2.1 Muffen

Die Muffen bestehen aus einem Stahl Typ DIN 20Cr4.

3.3.2.2 Bewehrungsstahl

Es werden Prüfungen mit zwei verschiedenen Qualitäten von Bewehrungsstahl durchgeführt.

Bewehrungsstahl topar-R B500B



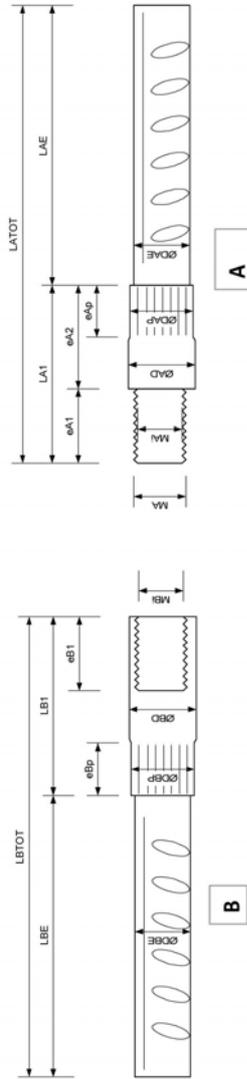
Bewehrungsstahl topar-S 500C



3.3.3 Geometrische Daten der geprüften Stäbe

3.3.3.1 Starkes Erdbeben B500B

Baron-C -starkes Erdbeben- Prüfung



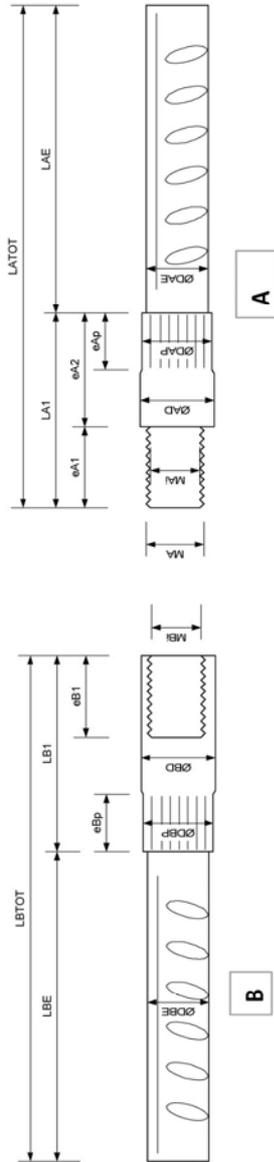
Stahl B500B

N° Eisen	Nenn- durchmesser Eisen	Stahl Typ	LBTOT / LATOT	LBE / LAE	LB1 / LA1	eA1 / eB1	eA2	eAp / eBp	MA	MA1 / MB1	ØAD / ØBD	ØDAP / ØDBP	ØDAE / ØDBE	Farbig	Drehmoment Nm	Bezeichnung zusammen
A13	16	B500B	334	243	87	23	63	45	19.7	17	28	23	16.3	Farbig ; Rot	60	B500B - 16 - 13
B13	16	B500B	304	219	86	30	45	45	17.6		27.9	23.2	16.7			
A14	16	B500B	333	242	86	23	63	45	19.7	16.9	27.9	23.1	16.5	Farbig ; Rot	60	B500B - 16 - 14
B14	16	B500B	304	219	87	30	45	45	17.7		27.9	23.6	16.4			
A15	16	B500B	332	242	86	23	63	45	19.6	16.9	27.9	23.2	16.7	Farbig ; Rot	60	B500B - 16 - 15
B15	16	B500B	306	222	87	30	45	45	17.6		27.9	23.6	16.6			
A16	20	B500B	331	230	98	26	72	51	23.7	20.1	34	29.9	18.9	Farbig ; Rot	80	B500B - 20 - 16
B16	20	B500B	300	202	97	35	54	54	21.4		34	30.4	18.8			
A17	20	B500B	330	230	98	26	72	51	23.6	20	34	30.1	18.8	Farbig ; Rot	80	B500B - 20 - 17
B17	20	B500B	300	202	97	35	54	54	21.3		34	30.4	18.9			
A18	20	B500B	326	230	98	26	72	51	23.6	20.1	34	30	18.8	Farbig ; Rot	80	B500B - 20 - 18
B18	20	B500B	300	204	97	35	54	54	21.3		34	30.2	18.8			
A19	26	B500B	339	212	126	33.5	92.5	72	29.1	26	44	38.5	25	Farbig ; Rot	100	B500B - 26 - 19
B19	26	B500B	308	181	126	38	72	72	26.2		44	38.7	25.2			
A20	26	B500B	341	212	127	33.5	92.5	72	29.1	26	44	39.1	25.1	Farbig ; Rot	100	B500B - 26 - 20
B20	26	B500B	310	180	128	38	72	72	26.2		44	38.9	25.2			
A21	26	B500B	340	212	127	33.5	92.5	72	29.1	26	44	38.4	25.2	Farbig ; Rot	100	B500B - 26 - 21
B21	26	B500B	310	180	127	38	72	72	26.2		44	38.8	25.2			

3.3.3.2 Starkes Erdbeben B500C

Baron-C -Starkes Erdbeben- Prüfung

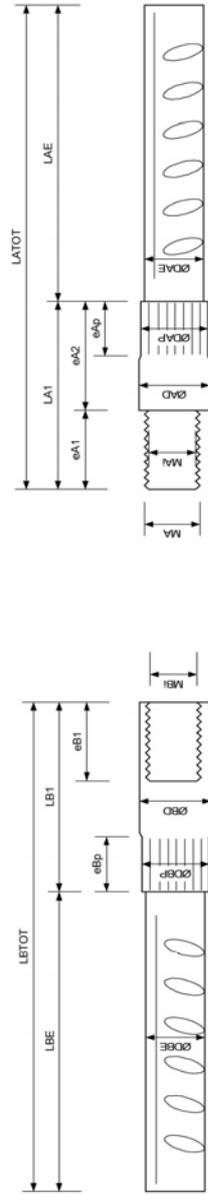
Stahl B500C



N° Eisen	Nenn- durchmesser Eisen	Stahl Typ	LBTOT / LATOT	LBE / LAE	LB1 / LA1	eA1 / eB1	eA2	eAp / eBp	MA	MA1 / MB1	ØAD / ØBD	ØDAP / ØDBP	ØDAE / ØDBE	Farbig	Drehmoment Nm	Bezeichnung Gesamt
A62	16	B500C	331	244	86	23	63	45	19,6	16,9	27,8	22,8	15,6	Farbig : PINK	60	B500C - 16 - 62
B62	16	B500C	307	218	83	30		45	17,5		27,8	23,2	15,3			
A63	16	B500C	330	245	86	23	63	45	19,6	16,9	27,8	22,9	15,7	Farbig : PINK	60	B500C - 16 - 63
B63	16	B500C	304	220	83	30		45	17,5		27,9	24	15,3			
A64	16	B500C	333	245	86	23	63	45	19,6	16,9	27,8	23,1	15,6	Farbig : PINK	60	B500C - 16 - 64
B64	16	B500C	304	220	83	30		45	17,5		27,8	23,5	15,3			
A65	20	B500C	332	231	98	26	72	51	23,6	20,1	34	29,3	18,8	Farbig : PINK	80	B500C - 20 - 65
B65	20	B500C	303	203	98	35		54	21,3		34	30,4	18,8			
A66	20	B500C	333	230	98	26	72	51	23,6	20,1	34	29,5	18,9	Farbig : PINK	80	B500C - 20 - 66
B66	20	B500C	304	202	98	35		54	21,3		33,9	30,3	18,7			
A67	20	B500C	332	231	98	26	72	51	23,6	20,1	34	29,5	18,8	Farbig : PINK	80	B500C - 20 - 67
B67	20	B500C	302	202	98	35		54	21,3		34	30,2	18,9			
A	26	B500C	340	210	130	33,9	96	76	29,2	25,8	44	41,3	24,8	Farbig : Blau	200	B500C - 26-19b
B	26	B500C	305	176	129	38		76		26,1	44	41,4	24,7	Farbig : Blau		
A	26	B500C	337	207	130	33,8	96	76	29,2	25,9	44	40,9	24,8	Farbig : Blau	200	B500C - 2621b
B	26	B500C	305	176	130	38		76		26,2	44	41,5	24,7	Farbig : Blau		

3.3.3.3 Mittleres Erdbeben B500B

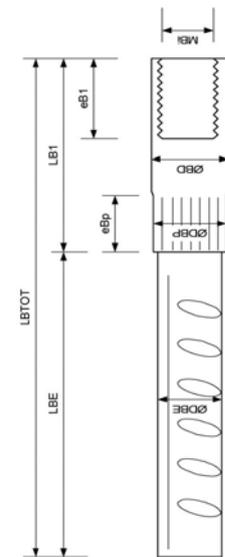
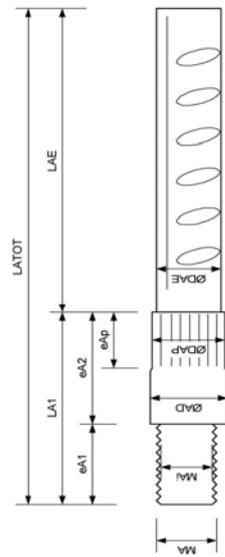
Baron-C -Mittleres Erdbeben- Prüfung



Stahl B500B

N° Eisen	Nenn- durchmesser Eisen	Stahl Typ	LBTOT / LATOT mm	LBE / LAE mm	LB1 / LA1 mm	eA1 / eB1 mm	eA2 mm	eAp / eBp mm	MA mm	MA1 / MB1 mm	ØAD / ØBD mm	ØDAP / ØDBP mm	ØDAE / ØDBE mm	Farbig	Drehmoment Nm	Bezeichnung Gesamt
A25	16	B500B	334	242	87	23	63	45	19.6	17.0	28.0	23.4	16.6	Farbig : Blau	60	B500B - 16 - 25
B25	16	B500B	305	220	86	30		45	17.7		27.9	23.6	16.4			
A26	16	B500B	334	242	86	23	63	45	19.6	17.0	28.0	23.2	16.7	Farbig : Blau	60	B500B - 16 - 26
B26	16	B500B	303	221	86	30		45	17.7		27.9	23.6	16.5			
A27	16	B500B	334	242	87	23	63	45	19.6	17.0	27.9	23.1	16.8	Farbig : Blau	60	B500B - 16 - 27
B27	16	B500B	300	218	84	30		45	17.7		28.0	23.7	16.5			
A28	20	B500B	331	230	98	26	72	51	23.7	20.0	34.0	30.1	18.8	Farbig : Blau	80	B500B - 20 - 28
B28	20	B500B	302	205	97	35		54	21.3		34.0	30.0	18.8			
A29	20	B500B	326	230	98	26	72	51	23.8	20.0	34.0	29.9	18.9	Farbig : Blau	80	B500B - 20 - 29
B29	20	B500B	300	202	98	35		54	21.4		34.0	30.0	18.8			
A	20	B500B	325	228	97	26	72	51	23.2	20.3	33.8	31.6	19.6	Farbig : Gelb	100	B500B - 20 -28b
B	20	B500B	304	205	98	34		52		21.1	34.1	32.2	19.0	Farbig : Gelb	100	B500B - 20 -29b
A	20	B500B	326	227	99	26	73	52	23.4	20.1	33.9	32.0	19.1	Farbig : Gelb	100	B500B - 20 -29b
B	20	B500B	304	205	99	34		51		21.0	34.1	32.4	19.2	Farbig : Gelb	100	B500B - 20 -29b
A	20	B500B	326	227	99	26	73	53	23.5	20.1	33.9	31.5	19.0	Farbig : Gelb	100	B500B - 20 -30b
B	20	B500B	304	203	98	33		54		21.0	34.2	32.1	19.0	Farbig : Gelb	100	B500B - 20 -30b
A31	26	B500B	344	214	127	33.5	92.5	72	29.1	26.0	44.0	39.1	25.2	Farbig : Blau	100	B500B - 26 - 31
B31	26	B500B	310	182	127	38		72	26.2		43.9	38.4	25.1			
A32	26	B500B	340	212	127	33.5	92.5	72	29.1	26.0	44.0	38.8	25.1	Farbig : Blau	100	B500B - 26 - 32
B32	26	B500B	310	181	127	38		72	26.2		44.0	38.4	25.1			
A33	26	B500B	342	213	127	33.5	92.5	72	29.1	26.0	44.0	38.8	25.1	Farbig : Blau	100	B500B - 26 - 33
B33	26	B500B	316	181	126	38		72	26.2		44.0	38.4	25.1			

3.3.3.4 Mittleres Erdbeben B500C



Baron-C -Mittleres Erdbeben- Prüfung

Stahl B500C

N° Eisen	Nenn- durchmesser Eisen	Stahl Typ	LBTOT / LATOT mm	LBE /LAE mm	LB1 / LA1 mm	eA1 / eB1 mm	eA2 mm	eAp / eBp mm	MA mm	MA1 / MB1 mm	ØAD / ØBD mm	ØDAP / ØDBP mm	ØDAE / ØDBE mm	Farbig	Drehmoment Nm	Bezeichnung gesamt
A74	16	B500C	333	244	86	23	63	45	19,6	16,9	28	22,8	15,6	Farbig : Grün	60	B500C - 16 - 74
B74	16	B500C	304	220	83	30	63	45	17,5	16,9	27,9	23,8	15,4	Farbig : Grün	60	B500C - 16 - 75
A75	16	B500C	333	245	86	23	63	45	19,6	16,9	27,8	23,2	15,3	Farbig : Grün	60	B500C - 16 - 76
B75	16	B500C	304	221	83	30	63	45	17,5	16,9	27,8	23,8	15,6	Farbig : Grün	60	B500C - 16 - 76
A76	16	B500C	332	243	86	23	63	45	19,6	16,9	27,9	23,2	15,4	Farbig : Grün	60	B500C - 16 - 76
B76	16	B500C	307	220	83	30	63	45	17,5	16,9	27,8	23,3	15,6	Farbig : Grün	60	B500C - 16 - 76
A77	20	B500C	333	230	98	26	72	51	23,6	20,1	27,9	29	18,9	Farbig : Grün	80	B500C - 20 - 77
B77	20	B500C	304	203	98	35	72	54	21,3	20,1	34	30,5	19	Farbig : Grün	80	B500C - 20 - 77
A78	20	B500C	333	231	98	26	72	51	23,6	20,1	34	29	18,6	Farbig : Grün	80	B500C - 20 - 78
B78	20	B500C	305	204	98	35	72	54	21,3	20,1	34	30,5	18,7	Farbig : Grün	80	B500C - 20 - 78
A79	20	B500C	332	230	98	26	72	51	23,6	20,1	33,9	29,2	19	Farbig : Grün	80	B500C - 20 - 79
B79	20	B500C	304	203	98	35	72	54	21,3	20,1	34	30,2	19,1	Farbig : Grün	80	B500C - 20 - 79
A80	26	B500C	340	214	123	33,5	90	72	29,1	26	44	29,7	25,2	Farbig : Grün	100	B500C - 26 - 80
B80	26	B500C	305	182	123	38	90	72	26,2	26	44	30,2	25,1	Farbig : Grün	100	B500C - 26 - 80
A81	26	B500C	341	213	123	33,5	90	72	29,1	26	43,9	39,6	25,1	Farbig : Grün	100	B500C - 26 - 81
B81	26	B500C	304	181	123	38	96	72	26,2	26	44	39,6	25,2	Farbig : Grün	100	B500C - 26 - 81
A82	26	B500C	341	214	123	33,5	96	72	29,1	26	44	39,3	25,2	Farbig : Grün	100	B500C - 26 - 82
B82	26	B500C	304	180	123	38	96	72	26,2	26	44	39,5	25,2	Farbig : Grün	100	B500C - 26 - 82

3.3.4 Verpressdruck

Die Muffen werden mittels einer speziell dafür entwickelten Presse auf den Bewehrungsstahl aufgespresst, wobei der Verpressdruck für jeden Kupplungsdurchmesser variiert. Die jeweiligen Verpressdrücke wurden mittels umfangreicher Versuche ermittelt und garantieren einen Bruch im Bewehrungsstab.

Anschlag a: Bestimmt, wie tief sich das Eisen in der Muffe befindet.
 Abstand b: Bestimmt, wie weit die Muffe in die Pressmaschine geschoben wird.

Mutterteil	Vaterteil	Stahldurchmesser	Werkzeug	Druck (MPa)	Anschlag a* [mm]	Abstand b [mm]
bcw10050-r	bcm10050-v	10	Nr.12	3.0	20	142
bcw12060-r	bcm12060-v	12	Nr.14	3.0	30	150
bcw14068-r	bcm14068-v	14	Nr.16	4.0	30	152
bcw16077-r	bcm16077-v	16	Nr.20	5.0	35	158
bcw18087-r	bcm18087-r	18	Nr.20	6.0	40	160
bcw20094-r	bcm20094-r	20	Nr.25	7.0	40	165
bcw22101-r	bcm22101-r	22	Nr.25	8.0	45	167
bcw26118-r	bcm26118-r	26	Nr.30	13.0	50	170
bcw30137-r	bcm30137-r	30	Nr.36			
bcw32149-r	bcm32149-r	32	Nr.45	18.0	65	185
bcw34160-r	bcm34160-r	34	Nr.45	22.0	70	190
bcw40182-r	bcm40182-r	40	Nr.55	27.0	80	202

Druck: Verpressdruck

3.3.5 Anzugsdrehmoment

Die Kupplungen werden montiert und zur Verhinderung von Schlupf mit einem Drehmoment-schlüssel angezogen.

In der unteren Tabelle werden die Montagedrehmoment für die jeweiligen Kupplungs-durchmesser angegeben.

Stahldurchmesser [mm]	Anzugsdrehmoment [Nm]
10	25
12	30
14	40
16	60
18	80
20	100
22	140
25	200
26	200
28	220
30	240
32	260
34	260
40	280

4 Prüfungen

4.1 Ablauf der Prüfungen

4.1.1 Vorbereitung der geprüften Stäbe

Die geprüften Kupplungen bestehen aus einem Bewehrungsstab von 50 cm Länge mit einem aufgedrückten Mutterteil und einem Bewehrungsstab von 50 cm Länge mit einem aufgedrückten Vaterteil. Die geprüften Kupplungen wurden aus einem einzigen Bewehrungsstab von 6 m Länge hergestellt. Der Stahl des Referenzstabs und der geprüften Stäbe hat somit dieselbe Qualität und dieselben technischen Daten.

- Die Muffen werden mit dem festgelegten Druck auf die Bewehrungsstäbe gepresst.
- Vor der Montage der Kupplungen wurden alle geometrischen Abmessungen erfasst.
- Die Kupplungen werden mit einem vorgegebenen Drehmoment angezogen.
- Die Stäbe werden anhand einer Nummer für jeden Stab erfasst.
- Es werden Referenzstäbe (ohne Muffen) aus demselben Bewehrungsstahl wie die Prüfstücke mit den Kupplungen hergestellt (Stabnummer T...).
- Die Kupplungen werden für die Prüfungen in das Labor der Ingenieurschule Freiburg gebracht.

4.1.2 Ablauf der Prüfungen

Es werden zwei Arten von Prüfungen mit einer Zugprüfmaschine des Labors der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg durchgeführt. Die Programmierung der Maschine führt Herr Perroud durch. Die Bewehrungskupplungen werden unter zwei verschiedenen Beanspruchungen geprüft, nämlich Beanspruchung bei einem mittleren Erdbeben und Beanspruchung bei einem starken Erdbeben. Nach Abschluss der dynamischen Prüfungen werden die Stäbe auf Bruch geprüft.

4.1.3 Beschreibung der Prüfung mittleres Erdbeben

Beim Versuch „mittleres Erdbeben“ darf die auf der Hysteresekurve gemessene dauerhafte Verformung μ_{20} nach 20 Zyklen zwischen der Zugbeanspruchung von $+0,9 f_{yk}$, und der Druckbeanspruchung $-0,5 f_{yk}$ nicht grösser als 0,3 Millimeter sein. Die Zugfestigkeit der Stäbe muss die unten aufgeführten Bedingungen erfüllen. (Detailliertes Diagramm in Kapitel 5.1)

$$\text{Zugfestigkeit} \quad \geq \text{ReH,spé} \cdot \frac{R_m}{\text{ReH}}$$

$$\text{Bleibende Dehnung:} \quad \mu_{20} = 0,3 \text{ mm}$$

4.1.4 Beschreibung der Prüfung starkes Erdbeben

Beim Versuch „starkes Erdbeben“ darf die auf der Hysteresekurve gemessene dauerhafte Verformung μ_4 nach 4 Zyklen zwischen dem Dehnungswert $2 \varepsilon_{yk}$ und der Druckbeanspruchung $-0,5 f_{yk}$ nicht grösser als 0,3 Millimeter sein. Andererseits darf die auf der Hysteresekurve gemessene dauerhafte Verformung μ_8 nach 4 Zyklen zwischen dem Dehnungswert $5 \varepsilon_{yk}$ und der Druckbeanspruchung $-0,5 f_{yk}$ nicht grösser als 0,6 Millimeter sein. Auf dieser Grundlage wird die Duktilität der Bewehrungsverbindungen bei zyklischen Beanspruchungen durch starke Erdbeben beurteilt. (Detailliertes Diagramm in Kapitel 5.2)

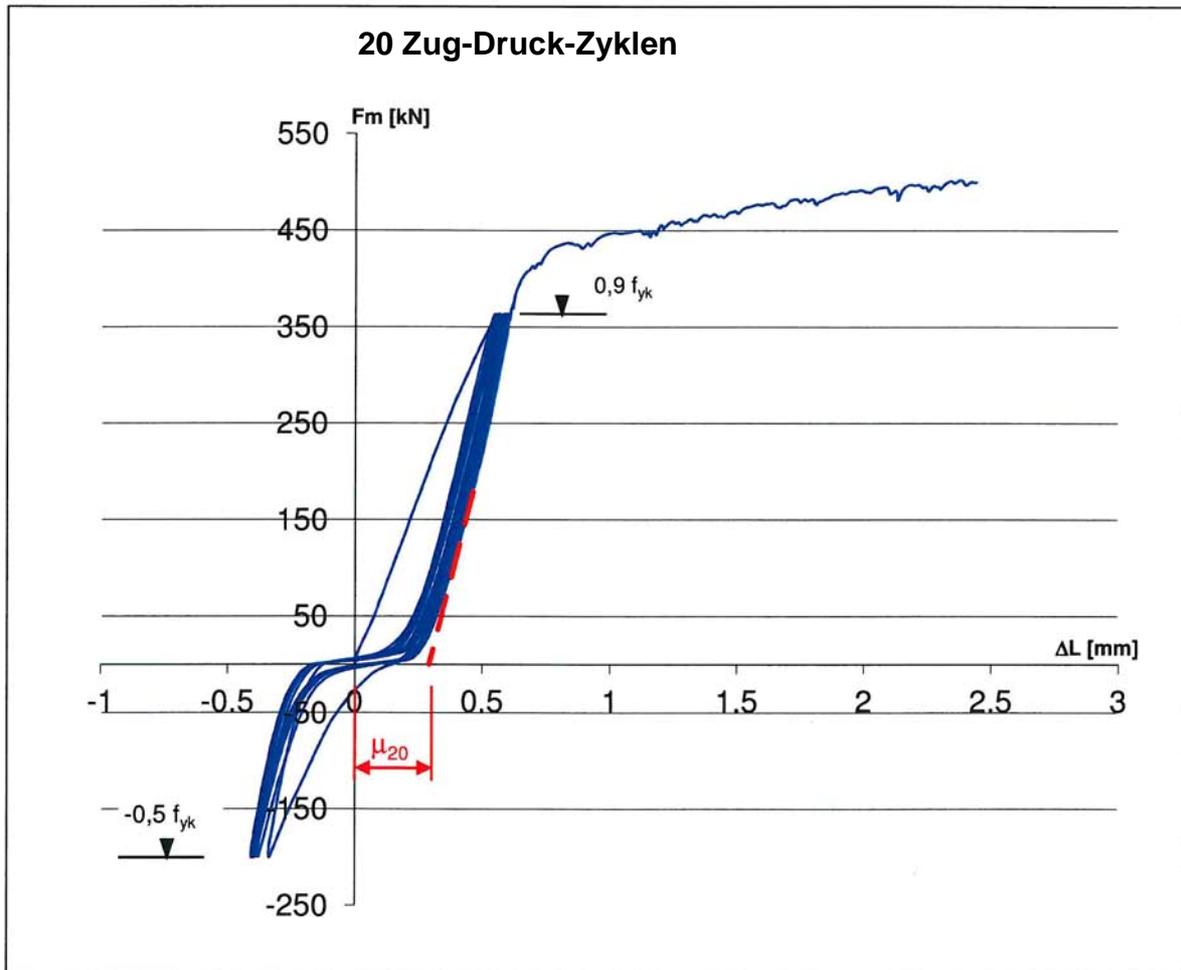
$$\text{Zugfestigkeit} \geq \text{ReH,spé} \cdot \frac{R_m}{\text{ReH}}$$

$$\text{Bleibende Dehnung: } \mu_4 = 0,3 \text{ mm} / \mu_8 = 0,6 \text{ mm}$$

5 Ergebnisse der Prüfungen für mittleres Erdbeben

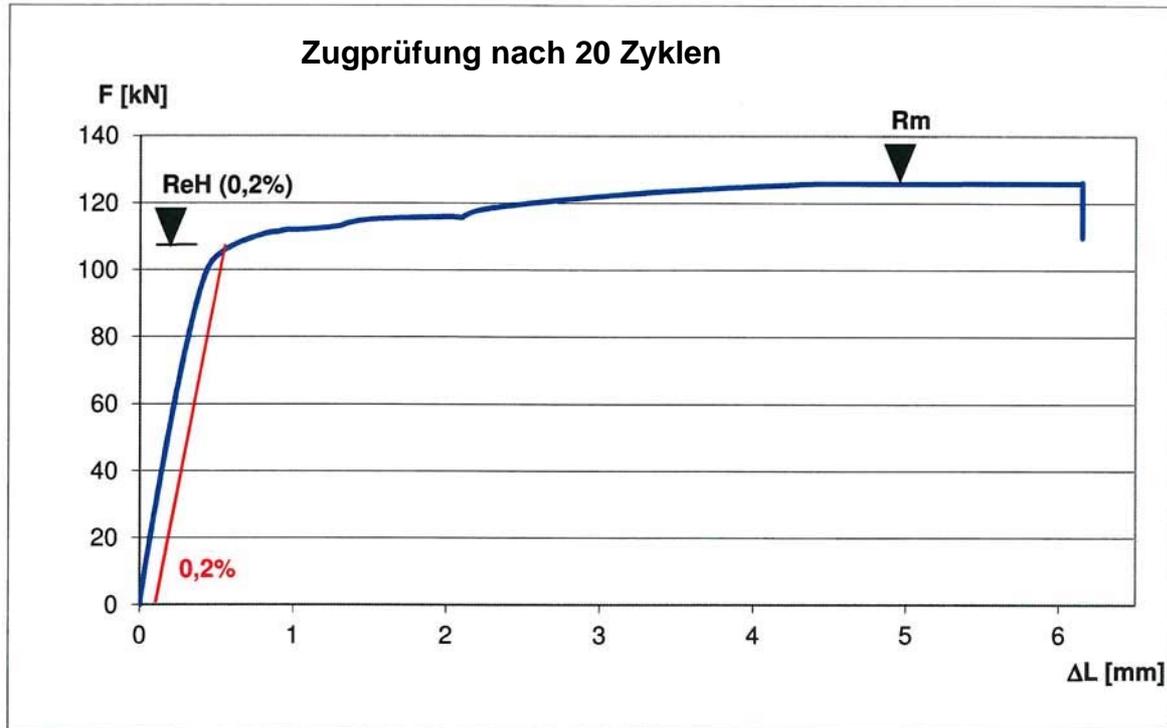
5.1 Zyklische Prüfungen

Dynamische Prüfungen mit 20 Zyklen, einer Zugbeanspruchung von $+0,9 f_{yk}$ und einer Druckbeanspruchung von $-0,5 f_{yk}$. Für jede Kupplung wird der Wert μ_{20} ermittelt.



5.2 Zugprüfungen bis zur Zerstörung nach der zyklischen Prüfung

Jeder Bewehrungsstab wird nach der zyklischen Prüfung bis zum Versagen gezogen. Der Wert R_m wird in der Datei zur Prüfung erfasst.



5.3 Für mittleres Erdbeben gemessene Werte

5.3.1 Kupplungen B500B

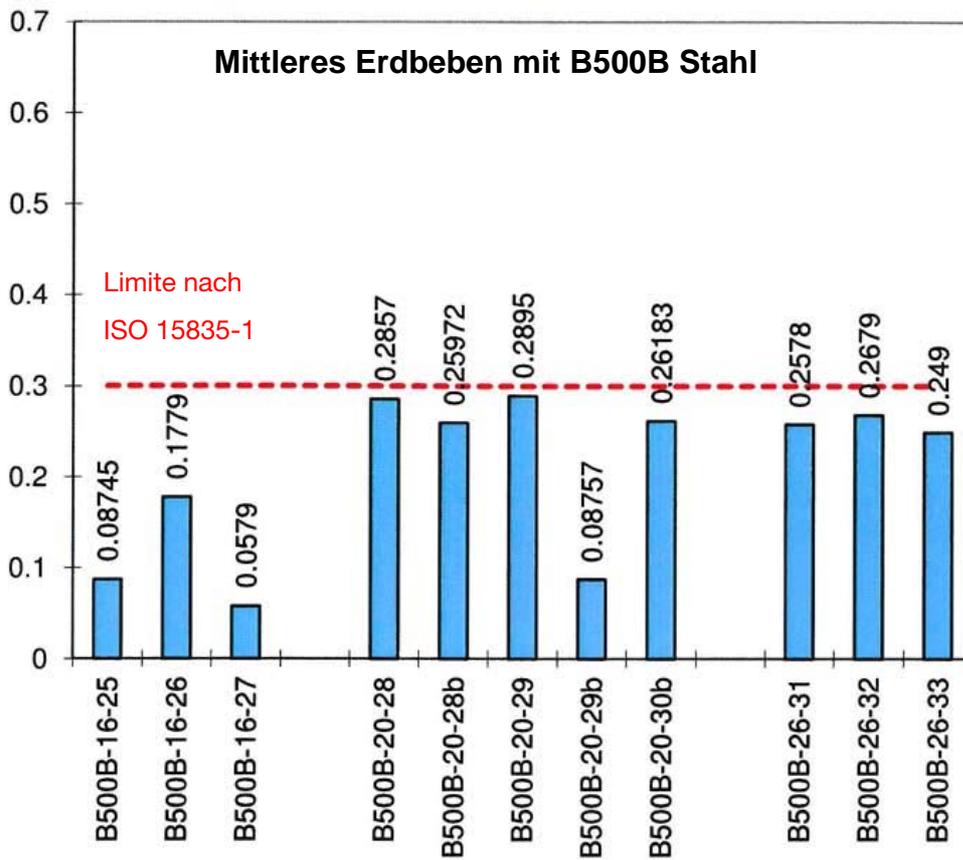
Bezeichnungen der Stäbe	Effektive bleibende Dehnung u_{20}	Max. bleibende Dehnung	Zustand u_{20}	Mindestfestigkeit nach ISO 15835-1 $\geq ReH, sp\acute{e} \cdot \frac{R_m}{ReH}$	Bruchfestigkeit F_u nach 20 Zyklen	Zustand	Art des Bruchs
	ΔL [mm]	ΔL [mm]		[kN]	F_u [kN]		
B500B-16-25	0.08745	0.3	OK	116.6	128.41	OK	Stab
B500B-16-26	0.1779	0.3	OK	116.6	125.99	OK	Stab
B500B-16-27	0.0579	0.3	OK	116.6	127.06	OK	Stab
B500B-20-28	0.2857	0.3	OK	186.2	197.42	OK	Stab
B500B-20-	0.25972	0.3	OK	186.2	197.42	OK	Stab
B500B-20-29	0.2895	0.3	OK	186.2	198.71	OK	Stab
B500B-20-	0.08757	0.3	OK	186.2	198.48	OK	Stab
B500B-20-	0.26183	0.3	OK	186.2	191.1	OK	Stab
B500B-26-31	0.2578	0.3	OK	314.8	343.89	OK	Stab
B500B-26-32	0.2679	0.3	OK	314.8	353.94	OK	Stab
B500B-26-33	0.249	0.3	OK	314.8	355.25	OK	Stab

5.3.2 Kupplungen B500C

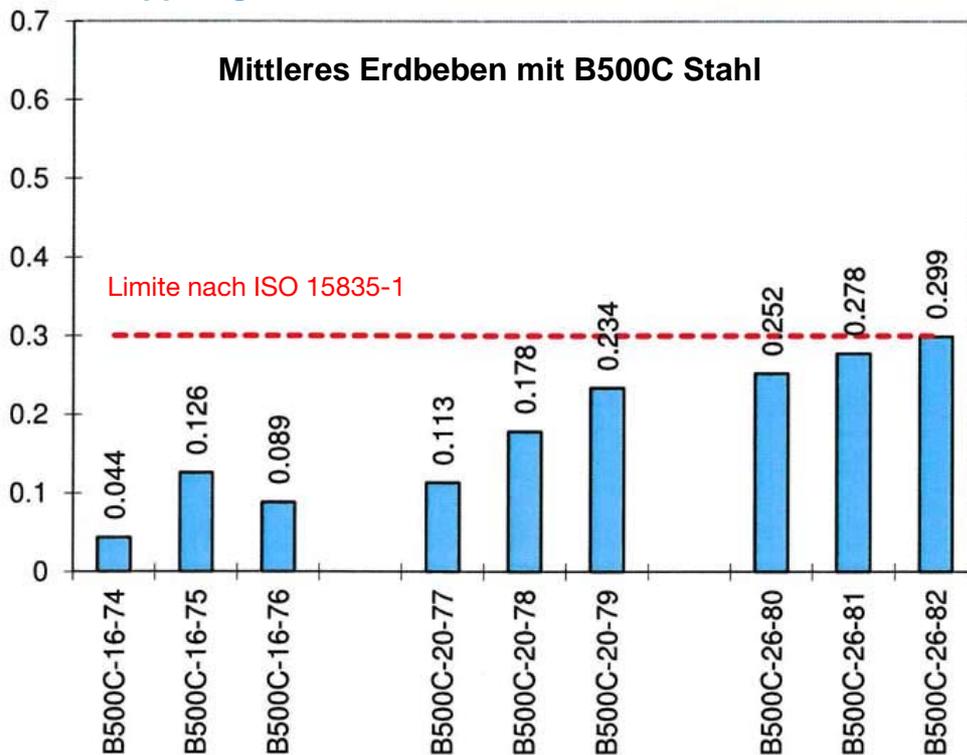
Bezeichnungen der Stäbe	Effektive bleibende Dehnung μ_{20}	Max. bleibende dehnung	Zustand u_{20}	Mindestfestigkeit $\geq ReH, sp\acute{e} \cdot \frac{R_m}{ReH}$	Bruchfestigkeit F_u nach 20 Zyklen	Zustand	Art des Bruchs
	ΔL [mm]	ΔL [mm]			F_u [kN]		
B500C-16-74	0.0436	0.3	OK	116.6	118.57	OK	Stab
B500C-16-75	0.12563	0.3	OK	116.6	124.25	OK	Stab
B500C-16-76	0.0885	0.3	OK	116.6	121.61	OK	Stab
			OK				
B500C-20-77	0.11313	0.3	OK	188.9	201.52	OK	Stab
B500C-20-78	0.17847	0.3	OK	188.9	198.14	OK	Stab
B500C-20-79	0.2338	0.3	OK	188.9	201.28	OK	Stab
B500C-26-80	0.25244	0.3	OK	319.3	332.18	OK	Stab
B500C-26-81	0.27753	0.3	OK	319.3	334.73	OK	Stab
B500C-26-82	0.2991	0.3	OK	319.3	341.17	OK	Stab

5.3.3 Diagramm der Verformungen μ_{20} bei mittlerem Erdbeben

5.3.3.1 Kupplungen B500B

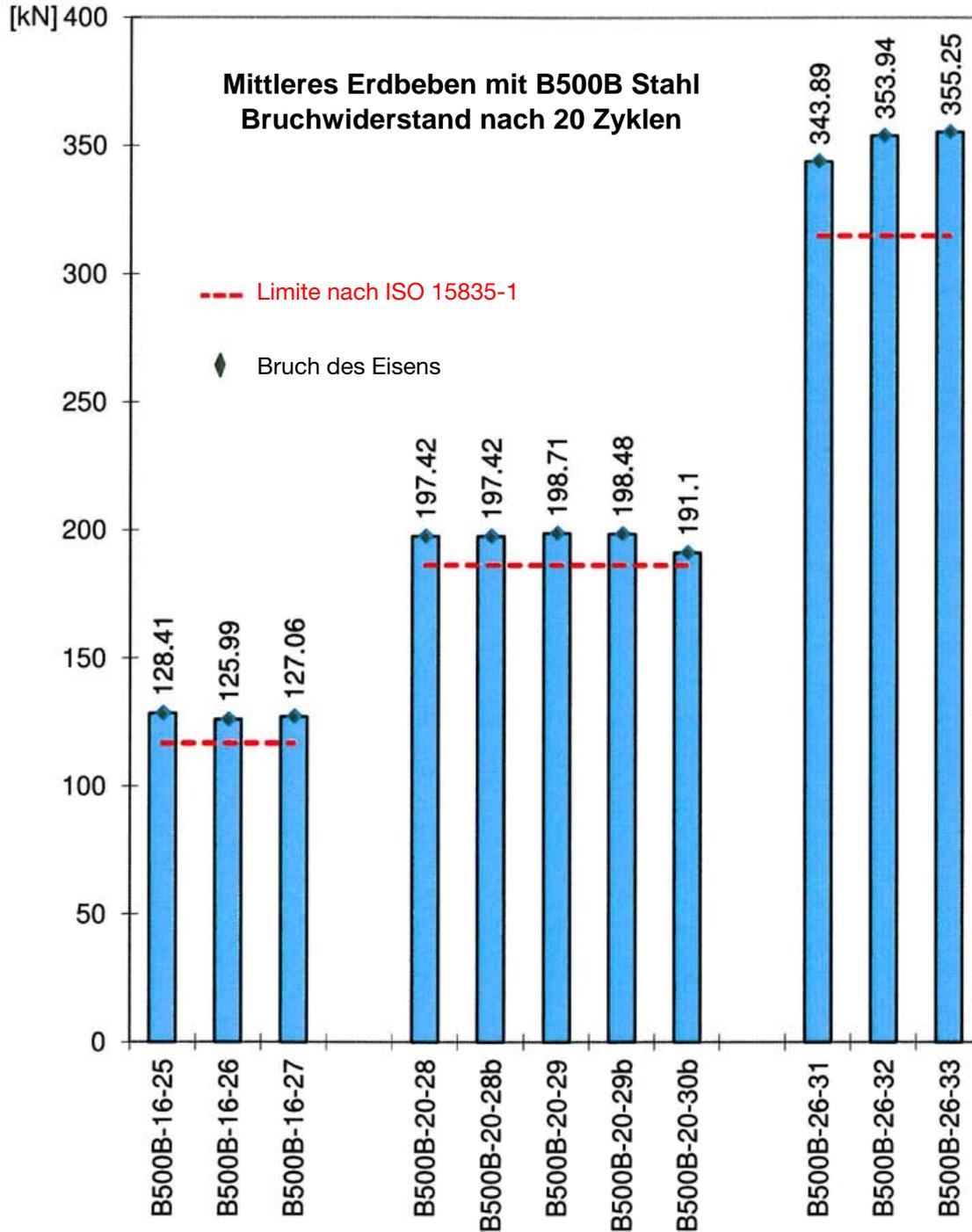


5.3.3.2 Kupplungen B500C

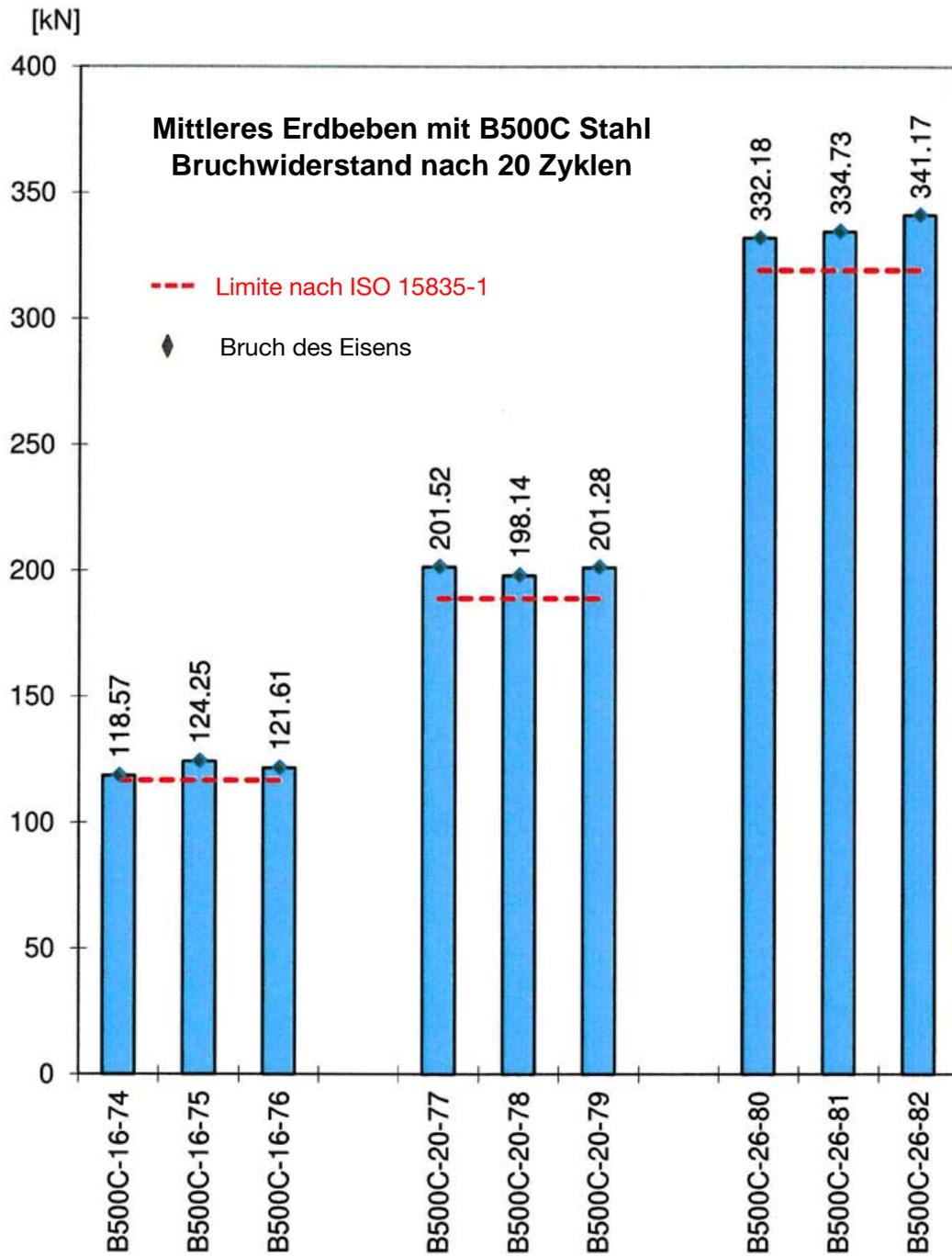


5.3.4 Diagramm der Bruchfestigkeit nach 20 Zyklen bei mittlerem Erdbeben

5.3.4.1 Kupplungen B500B



5.3.4.2 Kupplung B500C

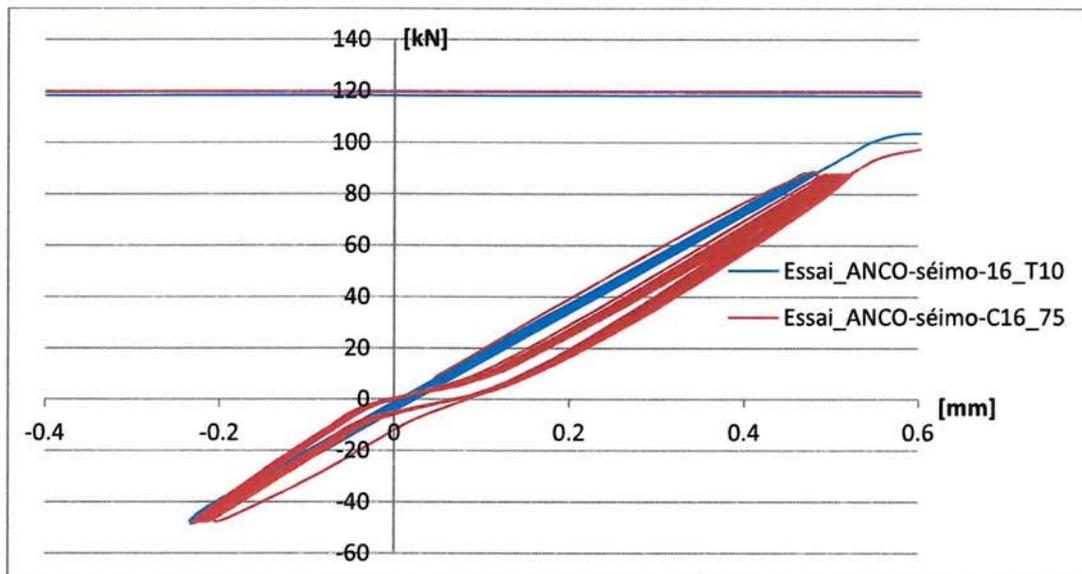


5.3.5 Vergleichsdiagramm für einen Referenzstab und eine Kupplung unter 20 Prüfzyklen bei mittlerem Erdbeben

5.3.5.1 Kupplung B500C

Blaue Kurve: Referenzstab T10, Ø 16 mm B500C

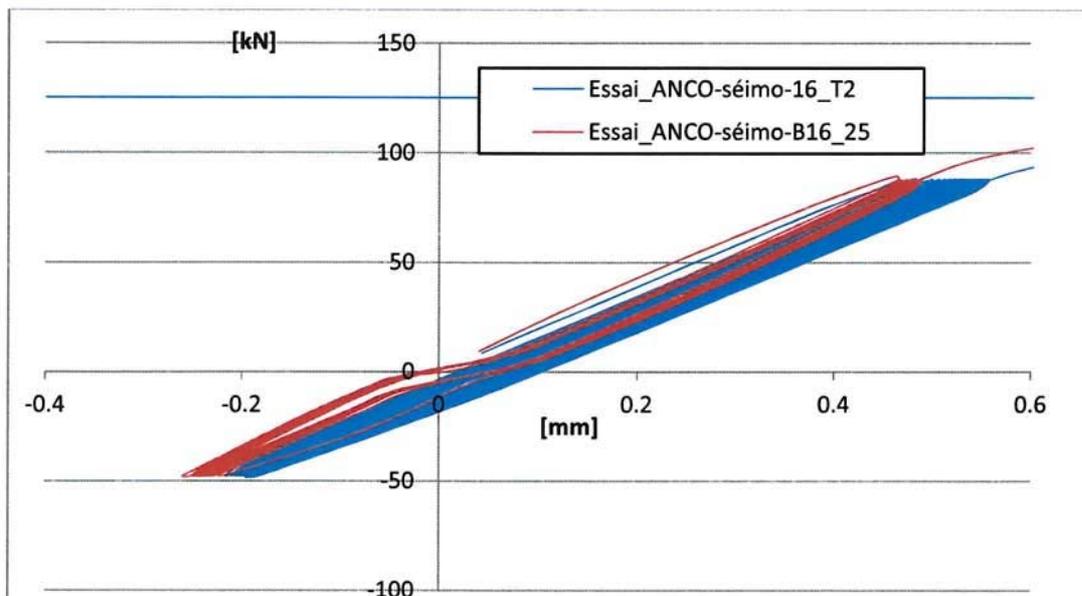
Rote Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 16 mm B500C



5.3.5.2 Kupplung B500B

Blaue Kurve: Referenzstab T2, Ø 16 mm B500B

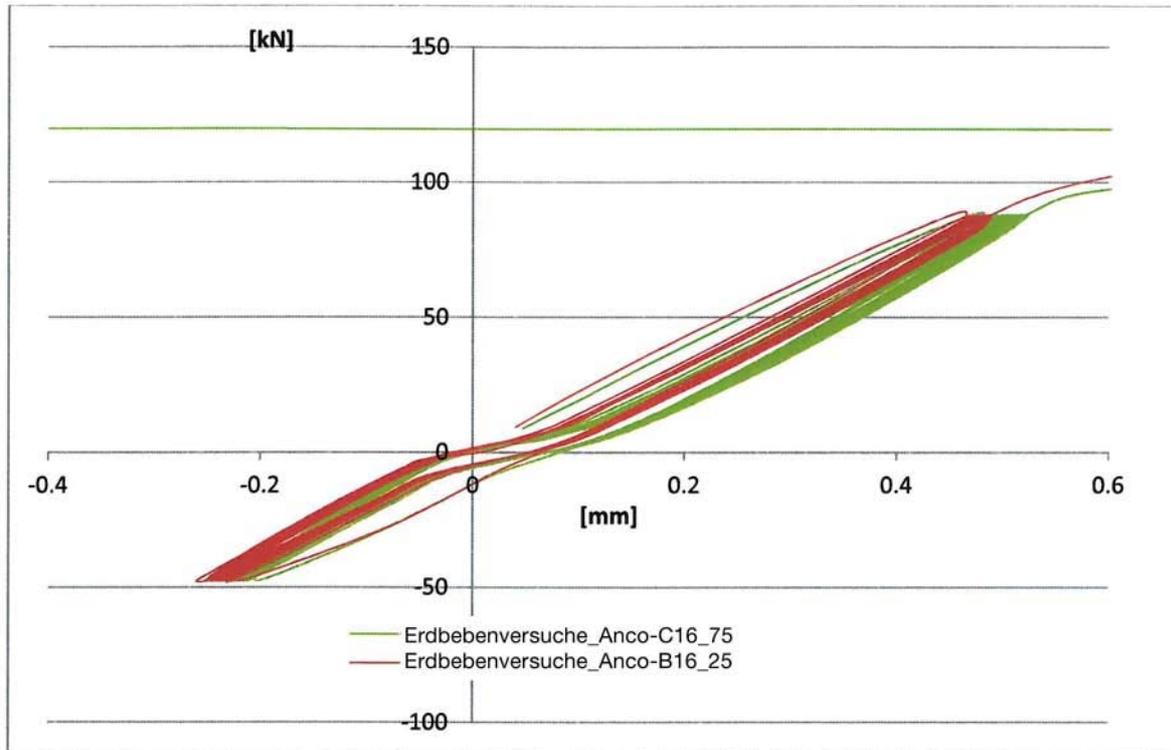
Rote Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 16 mm B500B



5.3.6 Vergleichsdiagramm für eine Kupplung B500B und eine Kupplung B500C unter 20 Zyklen bei mittlerem Erdbeben

Grüne Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 16 mm B500C

Rote Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 16 mm B500B



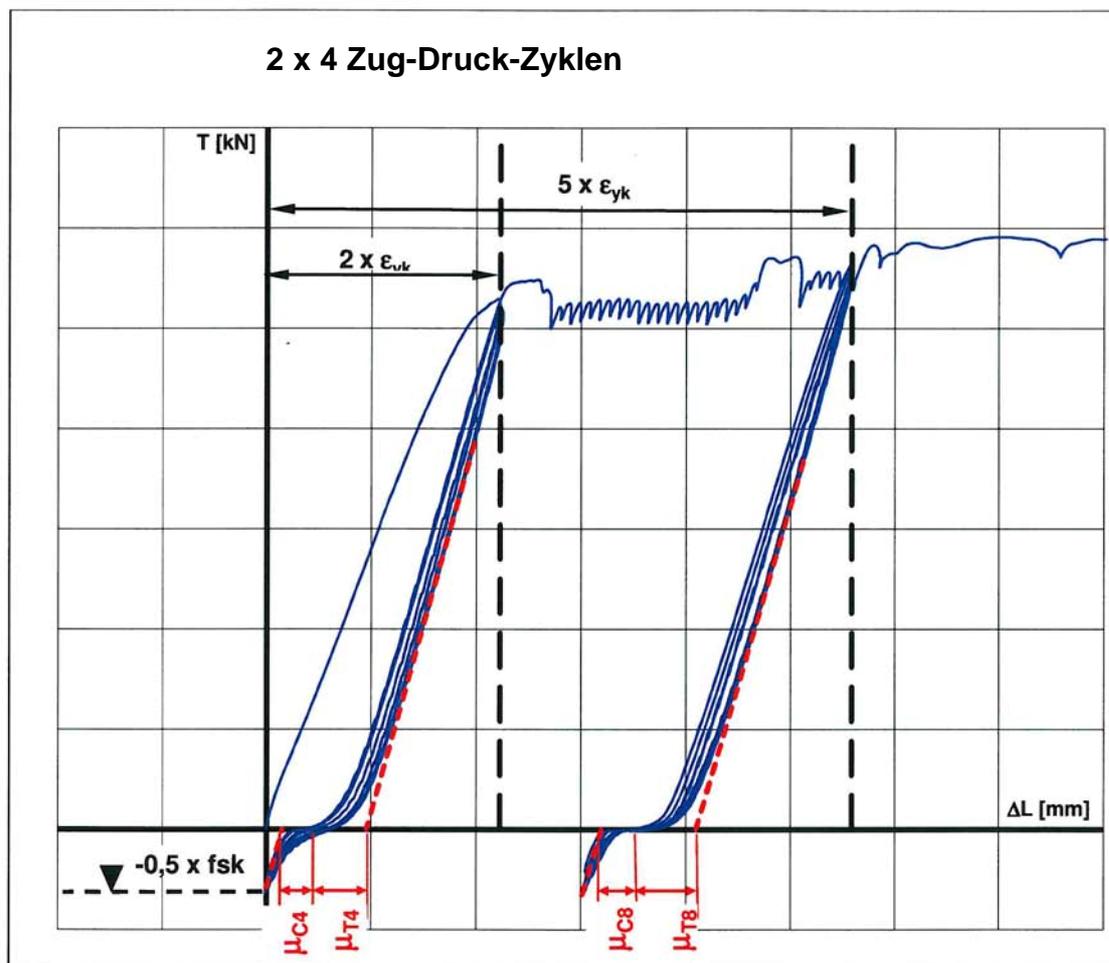
6 Starkes Erdbeben

6.1 Zyklische Prüfungen

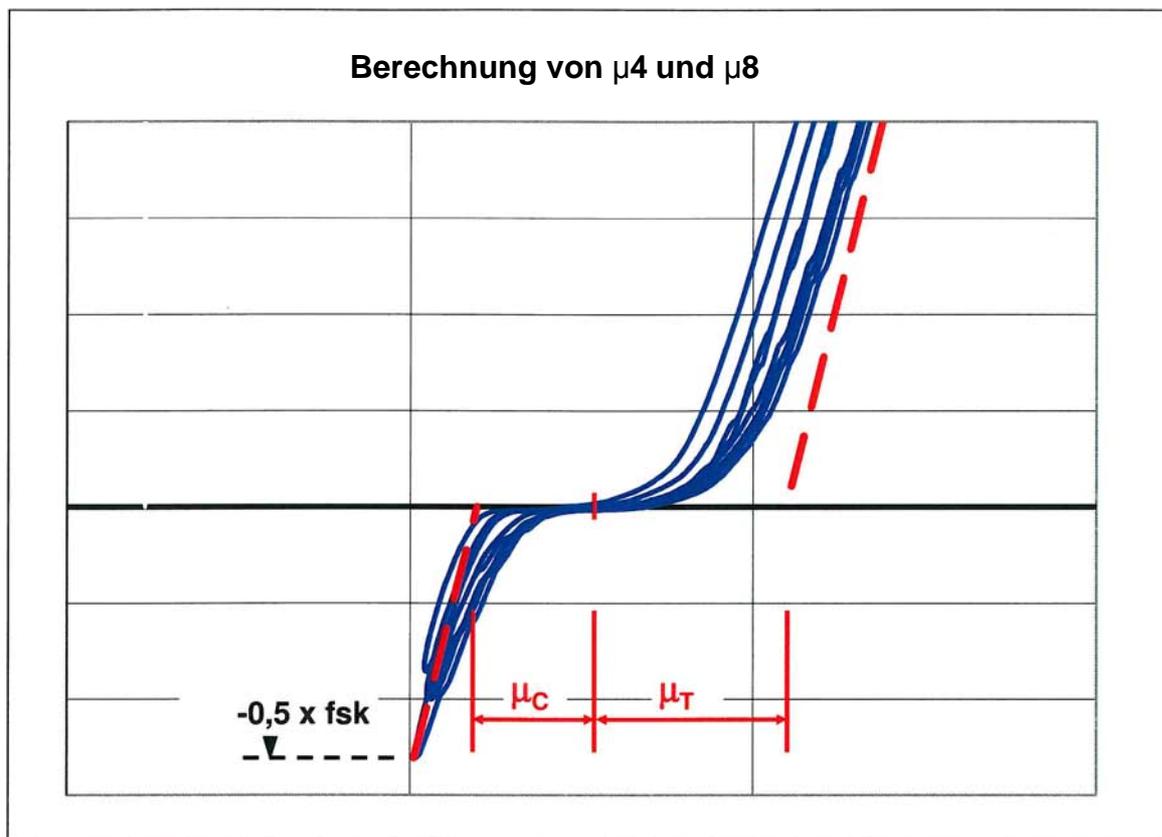
Dynamische Prüfungen mit 4 Zyklen zwischen dem Dehnungswert $2 \varepsilon_{yk}$ und der Druckbeanspruchung $-0.5 f_{yk}$

Dynamische Prüfungen mit 4 Zyklen zwischen dem Dehnungswert $5 \varepsilon_{yk}$ und der Druckbeanspruchung $-0.5 f_{yk}$

Für jede Kupplung wird der Wert μ_4 und μ_8 ermittelt.



6.1.1 Berechnungsdetails für μ_4 und μ_8

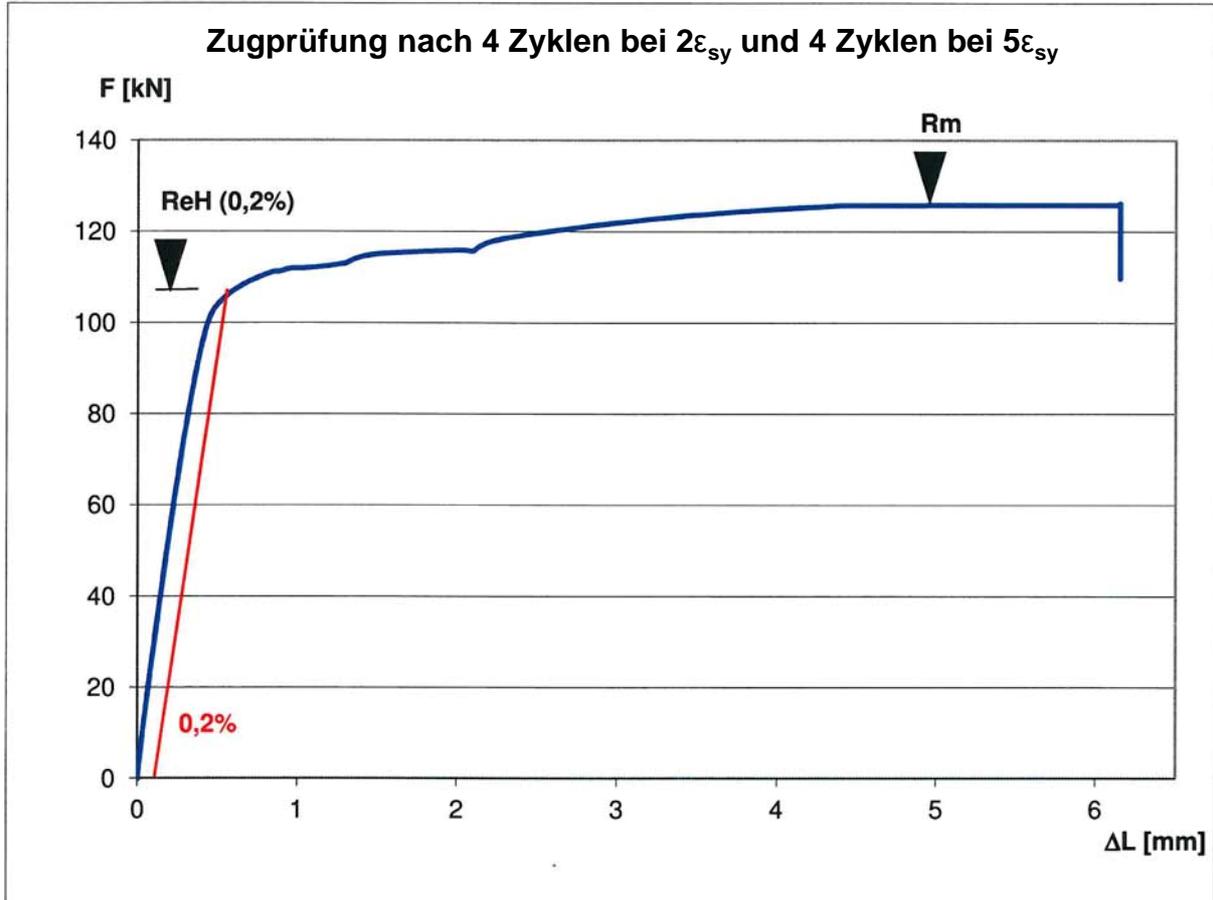


$$\mu_4 = \frac{\mu_{C4} + \mu_{T4}}{2}$$

$$\mu_8 = \frac{\mu_{C8} + \mu_{T8}}{2}$$

6.2 Druckprüfungen bis zur Zerstörung

Jeder Bewehrungsstab wurde nach der zyklischen Prüfung bis zum Versagen gezogen. Der Wert R_m wird in der Datei zur Prüfung erfasst.



6.3 Für starkes Erdbeben gemessene Werte

6.3.1 Kupplungen B500B

Bezeichnungen der Stäbe	Effektive bleibende Dehnung u4	Max. bleibende Dehnung u4	Zustand	Effektive bleibende Dehnung u8	Max. bleibende Dehnung u8	Zustand	Festigkeit min. $\geq \frac{R_m}{ReH,spé}$	Bruchfestigkeit Fu nach Zyklen	Art des Bruchs
	ΔL	ΔL		ΔL	ΔL			Fu	
	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[kN]	[kN]	
B500B-16-13	0.0772	0.3	OK	0.1133	0.6	OK	116.6	127.5	Stab
B500B-16-14	0.0847	0.3	OK	0.0895	0.6	OK	116.6	119.1	Stab
B500B-16-15	0.0793	0.3	OK	0.1025	0.6	OK	116.6	126.3	Stab
B500B-20-04	0.2537	0.3	OK	0.1765	0.6	OK	186.2	202.6	Stab
B500B-20-05	0.2389	0.3	OK	0.1877	0.6	OK	186.2	199.3	Stab
B500B-20-06	0.2332	0.3	OK	0.1736	0.6	OK	186.2	200.8	Stab
B500B-26-19	0.2944	0.3	OK	0.2837	0.6	OK	314.8	354.1	Stab
B500B-26-19b	0.2604	0.3	OK	0.3488	0.6	OK	314.8	355.8	Stab
B500B-26-20b	0.2974	0.3	OK	0.3975	0.6	OK	314.8	355.4	Stab
B500B-26-21b	0.2944	0.3	OK	0.5085	0.6	OK	314.8	349.9	Stab

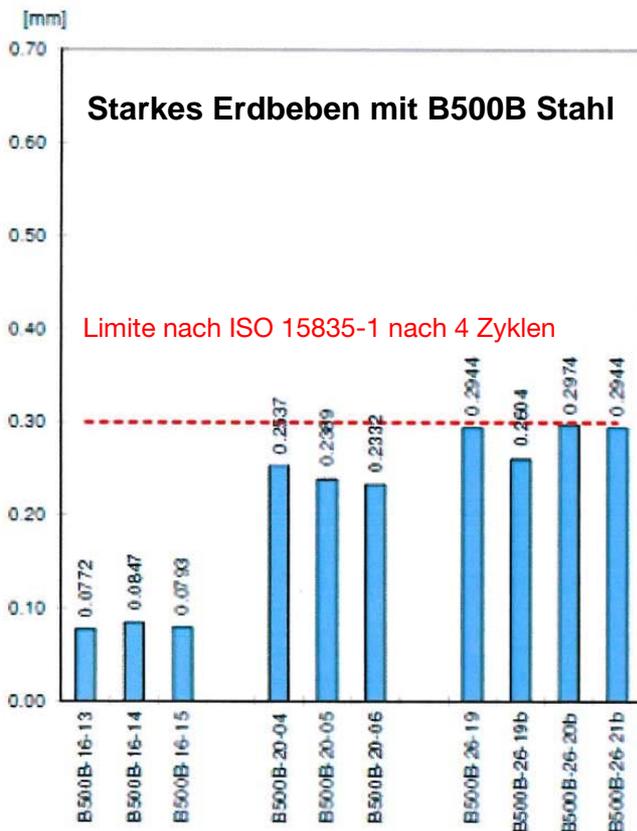
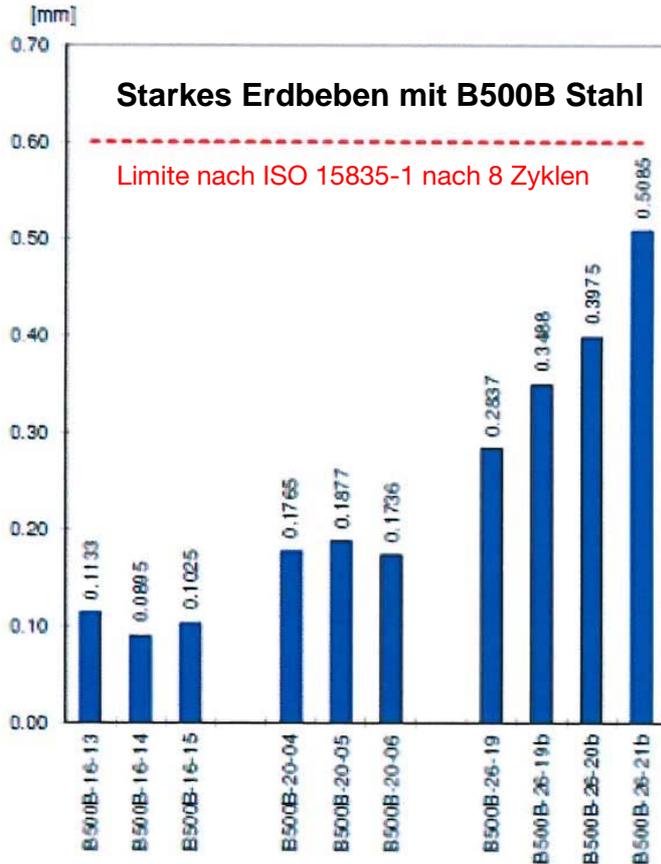
6.3.2 Kupplungen B500C

Bezeichnungen der Stäbe	Effektive bleibende Dehnung u4	Max. bleibende Dehnung u4	Zustand	Effektive bleibende Dehnung u8	Max. bleibende Dehnung u8	Zustand	Festigkeit min. $\geq \frac{R_m}{ReH,spé}$	Bruchfestigkeit Fu nach Zyklen	Art des Bruchs
	ΔL	ΔL		ΔL	ΔL			Fu	
	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[kN]	[kN]	
B500C-16-62	0.118	0.3	OK	0.120	0.6	OK	116.6	120.9	Stab
B500C-16-63	0.156	0.3	OK	0.161	0.6	OK	116.6	112.7	Stab
B500C-16-64	0.103	0.3	OK	0.120	0.6	OK	116.6	120.6	Stab
B500C-20-65	0.214	0.3	OK	- (*)	-	-	188.9	200.4	Stab
B500C-20-66	0.191	0.3	OK	- (*)	-	-	188.9	198.3	Stab
B500C-20-67	0.194	0.3	OK	- (*)	-	-	188.9	198.7	Stab
B500C-26-19b	0.29884	0.3	OK	0.51306	0.6	OK	314.8	353.0	Stab
B500C-26-21b	0.28785	0.3	OK	0.40367	0.6	OK	314.8	352.6	Stab

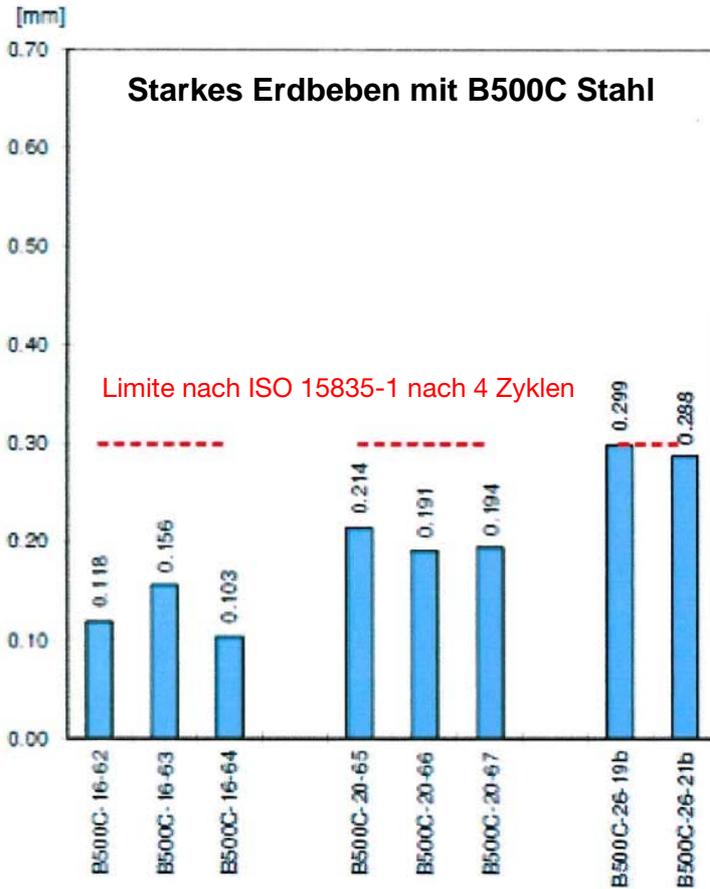
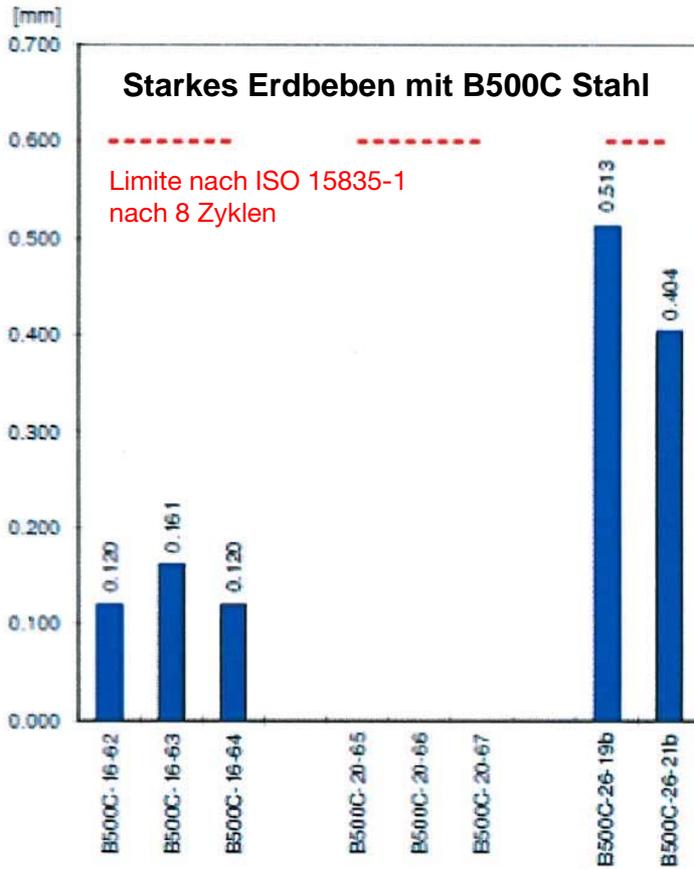
- (*) Problem bei der Programmierung der Zugprüfmaschine

6.3.3 Diagramm der Verformungen μ_4 und μ_8 bei starkem Erdbeben

6.3.3.1 Kupplungen B500B

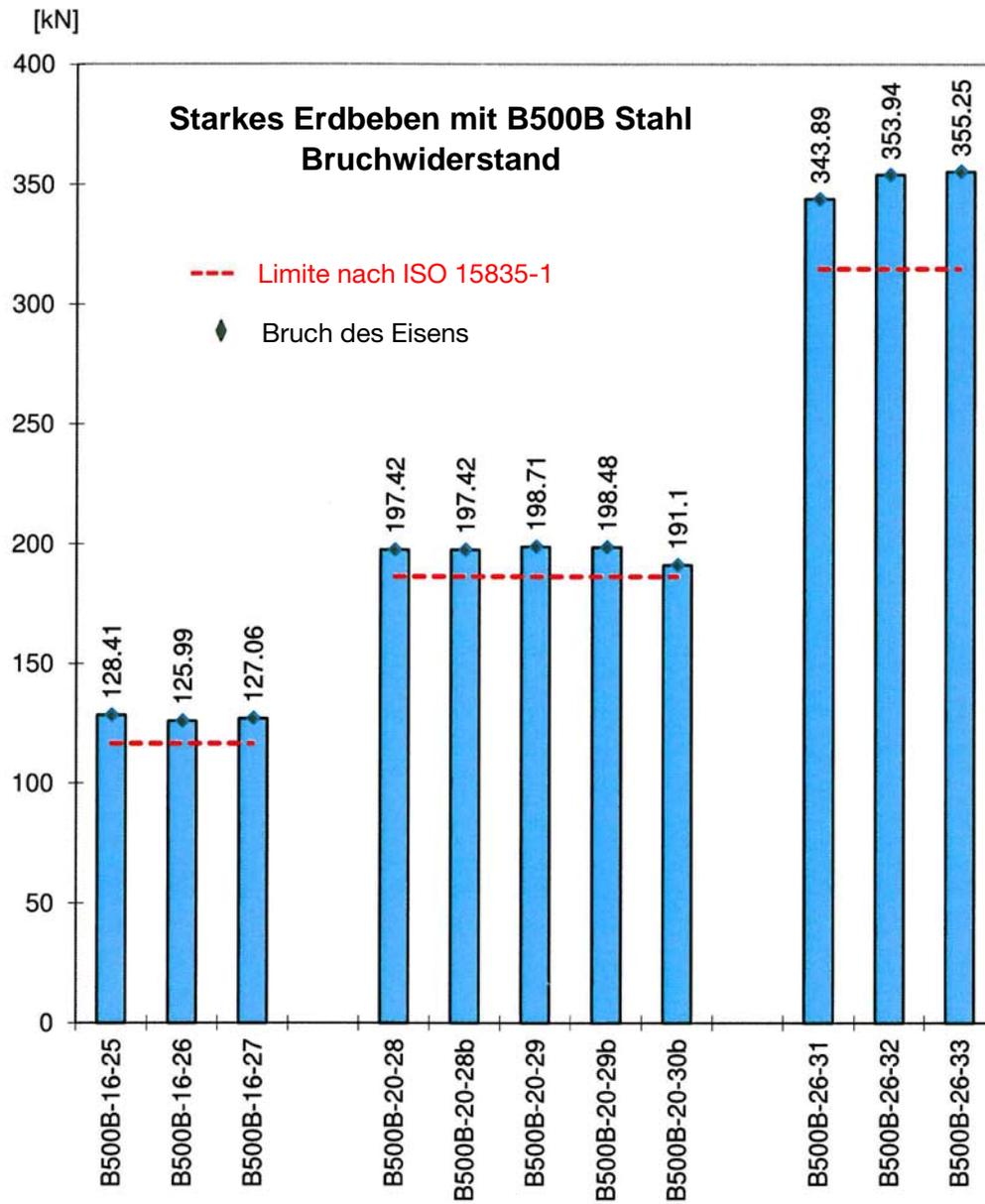


6.3.3.2 Kupplungen B500C

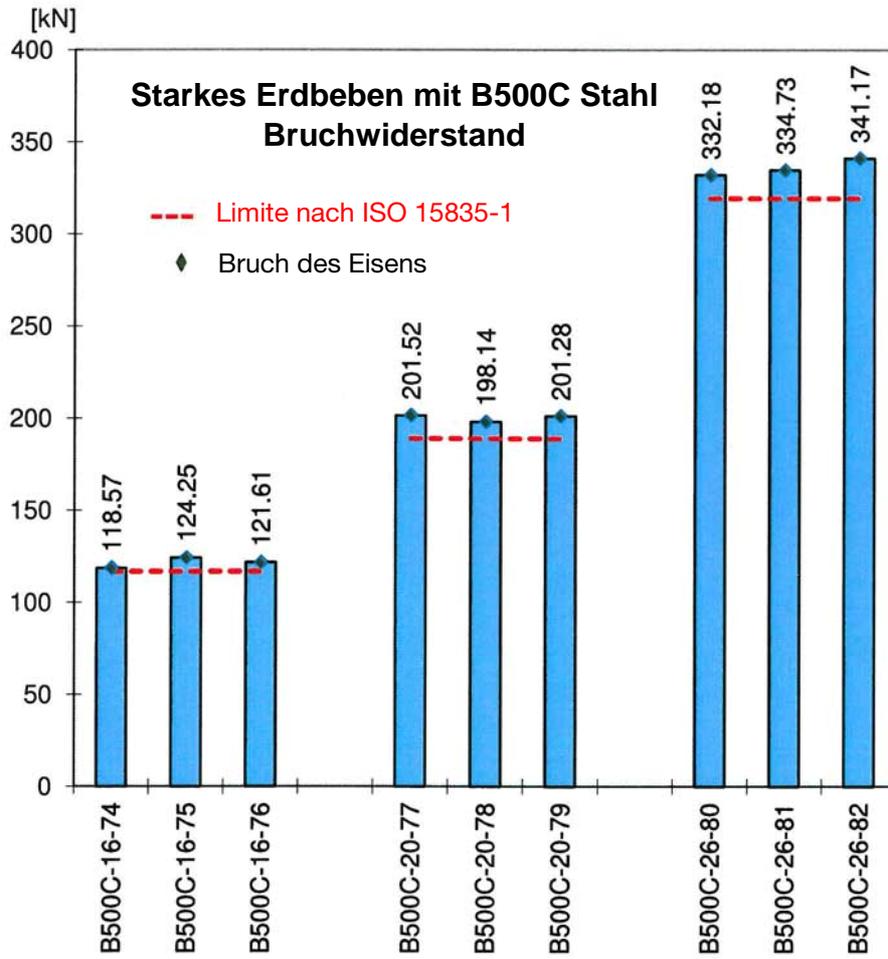


6.3.4 Diagramm der Bruchfestigkeit nach 2 x 4 Zyklen bei starkem Erdbeben

6.3.4.1 Kupplungen B500B



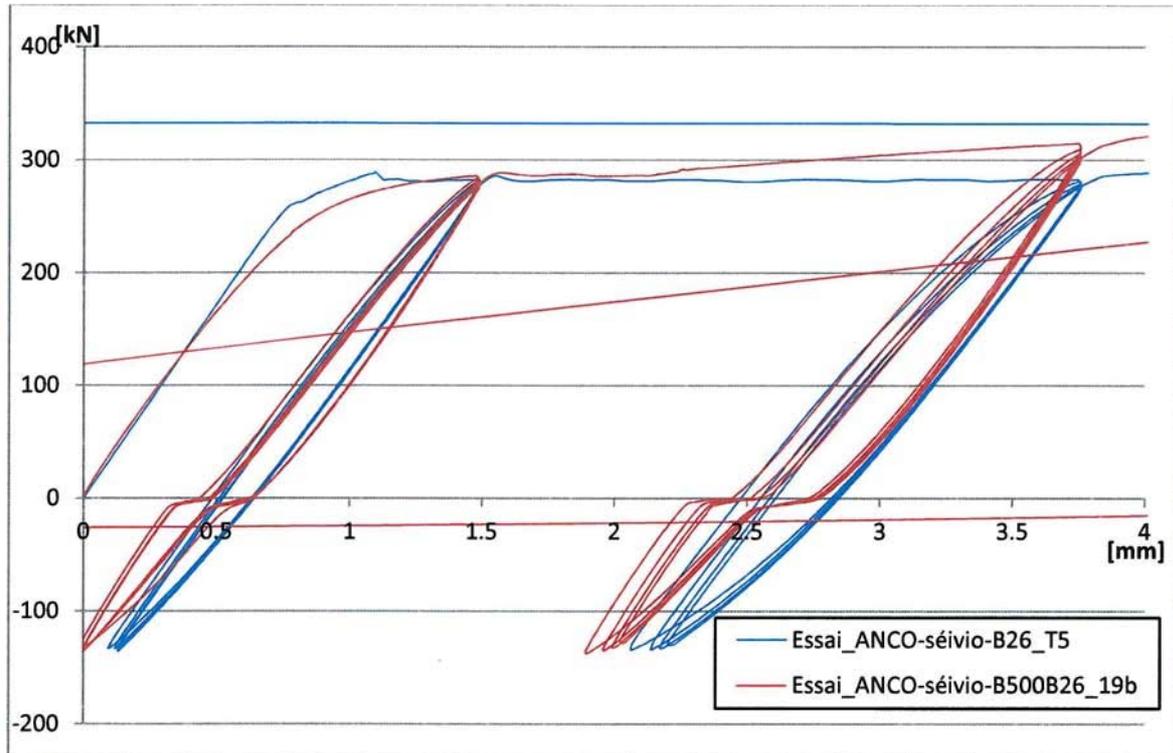
6.3.4.2 Kupplungen B500C



6.3.5 Vergleichsdiagramm für einen Referenzstab und eine Kupplung unter 2 Prüfzyklen bei starkem Erdbeben

Blaue Kurve: Referenzstab, Ø 26 mm B500B

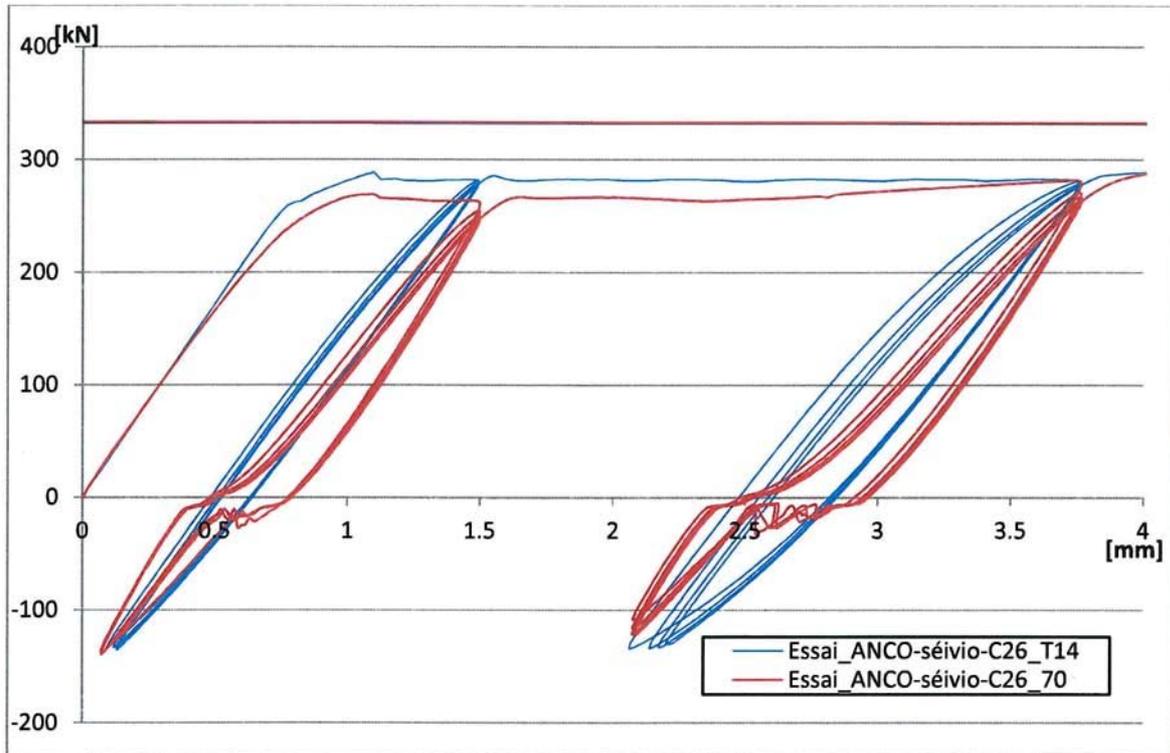
Rote Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 26 mm B500B



6.3.6 Vergleichsdiagramm für einen Referenzstab und eine Kupplung unter 2 x 4 Prüfzyklen bei starkem Erdbeben

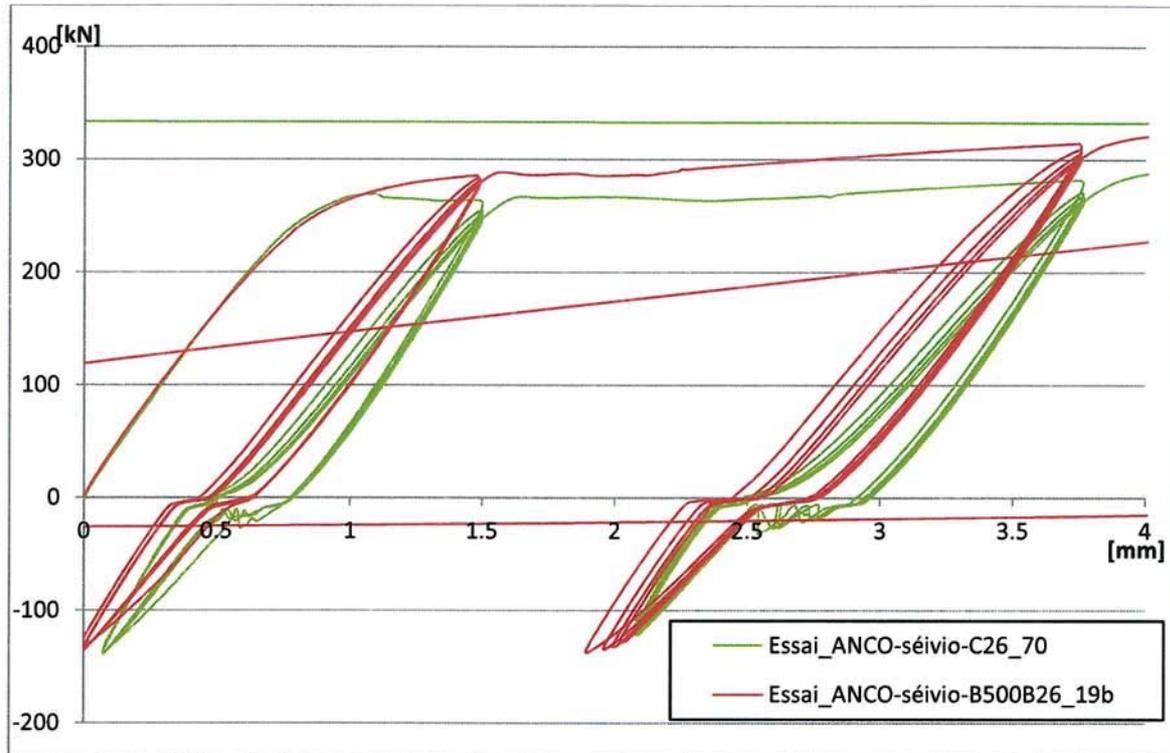
Blaue Kurve: Referenzstab, Ø 26 mm B500C

Rote Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 26 mm B500C

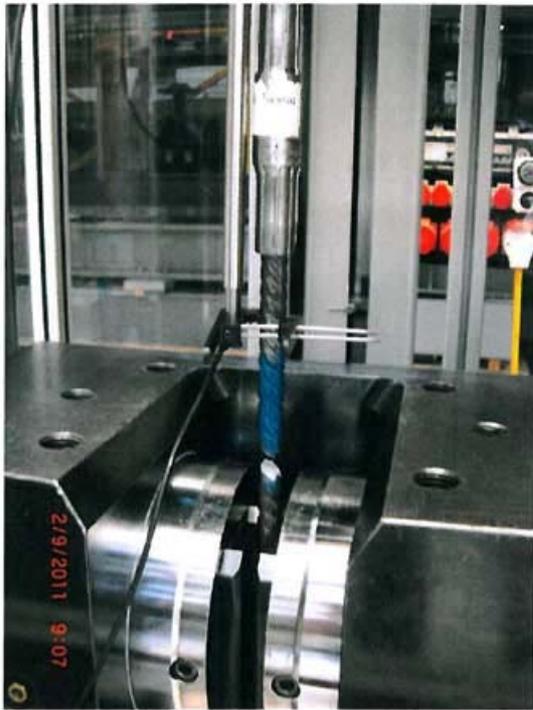


6.3.7 Vergleichsdiagramm für eine Kupplung B500B und eine Kupplung B500C unter 2 x 4 Zyklen bei starkem Erdbeben

Grüne Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 26 mm B500C
Rote Kurve: Stab mit Kupplung BARON-C, Ø 26 mm B500B



7 Fotos der gebrochenen Prüfstäbe



8 Schlussfolgerung

8.1 Mittleres Erdbeben

Die nach 20 Zug-Druck-Zyklen gemessenen bleibenden Verformungen sind bei allen geprüften Stäben kleiner als die maximal zulässige Verformung von $\mu_{20} = 0,3$ mm. Weiter erfüllt die Zugfestigkeit der Stäbe nach 20 Zyklen das Kriterium der internationalen Norm ISO15835-1 (01.04.2009). Bei den auf die zyklischen Versuche folgenden Zugprüfungen, fand bei allen Prüflingen ein Bruch im Bewehrungsstab statt. Daher kann bestätigt werden, dass die BARON-C Kupplungen keinen Einfluss auf die Festigkeit der Bewehrungsstäbe haben.

8.2 Starkes Erdbeben

Die nach 4 Zug-Druck-Zyklen gemessenen bleibenden Verformungen, nach einer Verformung von $2 \times \epsilon_{yk}$, sind bei allen geprüften Stäben kleiner als die maximal zulässige Verformung von $\mu_4 = 0,3$ mm. Zudem sind die nach 4 Zug-Druck-Zyklen gemessenen bleibenden Verformungen, nach einer Verformung von $5 \times \epsilon_{yk}$, bei allen geprüften Stäben kleiner als die maximal zulässige Verformung von $\mu_8 = 0,6$ mm. Die Zugfestigkeit der Stäbe erfüllt nach den zyklischen Versuchen das Kriterium der internationalen Norm ISO15835-1 (01.04.2009).

Bei den auf die zyklischen Versuche folgenden Zugprüfungen, fand bei allen Prüflingen ein Bruch im Bewehrungsstab statt. Daher kann bestätigt werden, dass die BARON-C Kupplungen keinen Einfluss auf die Festigkeit der Bewehrungsstäbe haben.

8.3 Allgemeine Schlussfolgerung

Anhand der durchgeführten Prüfungen konnte die Konformität der Kupplungen BARON-C mit oligozyklischen Spannungswechseln im elastoplastischen Bereich gemäss der Norm ISO15835-1 (01.04.2009) überprüft werden. Das Verhalten der Kupplungen BARON-C ist mit den Anforderungen der vorgeschriebenen Richtlinien konform. Die Kupplungen BARON-C garantieren eine einwandfreie Duktilität und Übertragung der Belastung in den Bewehrungsstahl gemäss den gestellten Anforderungen. Die Muffen BARON-C haben angesichts der Tatsache, dass die Brüche in den Bewehrungsstäben eintraten, keinen Einfluss auf die Festigkeit der Bewehrungsstäbe. Die Verwendung von Topar-Bewehrung mit hoher Duktilität bewirkt keine signifikante Verbesserung des Verhaltens der Kupplung. Bewehrungskupplungen mit Stahl der Qualität Topar B500B reichen aus, um die Vorschriften einzuhalten.

ANCOTECH SA BULLE
M. Barras

Ingénieur civil ETS/UTS

