

Gutachten

Duktilitätseigenschaften von **BAR TEG II**-Schraubverbindungen

Berücksichtigung der Besonderheiten bei Erdbebenbemessung

September 2006

Dieses Gutachten umfasst 8 Textseiten.

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck und Umfang der Prüfung	2
2	Numerische Simulationen	5
3	Folgerungen und konstruktive Empfehlungen	6
4	Literatur	8

1 Zweck und Umfang der Prüfung

1.1 Normative Anforderungen

Die Grundlagen der Erdbebenbemessung befinden sich in der Norm SIA 260 [1]. Die Einwirkungsnorm SIA 261 [2] umfasst die Erdbebeneinwirkung, die Einteilung in Bauwerksklassen, die konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen sowie die Tragwerksanalyse. Die spezifischen Regeln für den Betonbau sind in der SIA 262 [3] enthalten.

Es stehen grundsätzlich zwei Konzepte der Erdbebenbemessung zur Verfügung, siehe Bild 1.1. Beim Konzept des nicht-duktilen Tragwerksverhaltens erfolgt die Bemessung für Erdbeben konventionell wie für Schwerelasten oder Wind. Es sind keine besonderen Bemessungsregeln ausser den konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen (Tabelle 27 SIA 261) zu berücksichtigen. Infolge des zu erwartenden kleinen Verformungs- und Energiedissipationsvermögens des Tragwerks wird der Verhaltensbeiwert q vorsichtig angesetzt. Er beträgt $q = 1.5$ für alle Bauweisen mit Ausnahme von Stahlbetontragwerken mit Bewehrung der Duktilitätsklassen B und C, für die $q = 2.0$ angesetzt werden darf. Beim Konzept des duktilen Tragverhaltens erfolgt die Bemessung nach der Methode der Kapazitätsbemessung [4]. Dabei sind die plastifizierenden Bereiche im Tragwerk so festzulegen, dass unter Erdbebeneinwirkung ein geeigneter plastischer Mechanismus entsteht. Die plastifizierenden Bereiche sind konstruktiv für ein ausreichendes Verformungs- und Energiedissipationsvermögen unter zyklischer Beanspruchung zu gestalten. Der Verhaltensbeiwert darf für Betonstahl der Duktilitätsklasse B zu $q = 3.0$ und für C $q = 4.0$ in Rechnung gestellt werden.

Damit sich die Verformungen im plastischen Gelenk nicht in einem Riss konzentrieren (Bild 1.2 rechts), ist eine ausreichende Verfestigung des Bewehrungsstahls notwendig. Es ist eine zusätzliche Kraft zur weiteren Öffnung des Erstrisses erforderlich, welche zum Fortschreiten der Rissbildung und somit zu einer grösseren Verteilung der lokalen Verformungen führt.

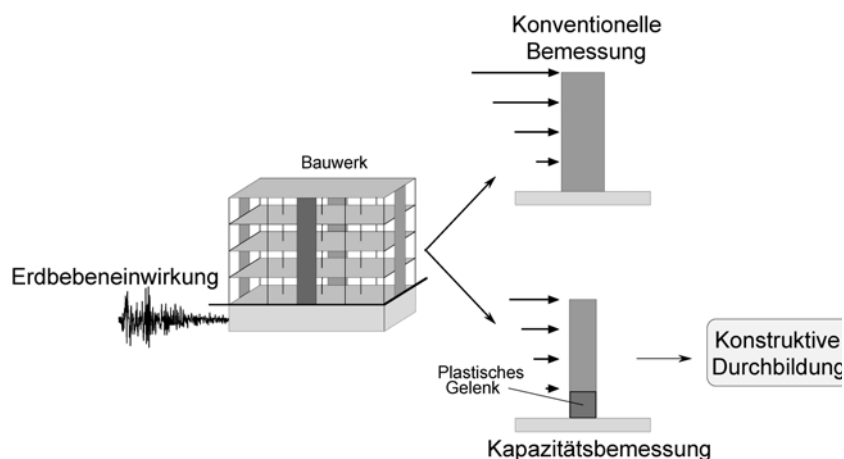


Bild 1.1– Schematische Darstellung der wesentlichen Unterschiede zwischen konventioneller Bemessung und Kapazitätsbemessung; aus [5].

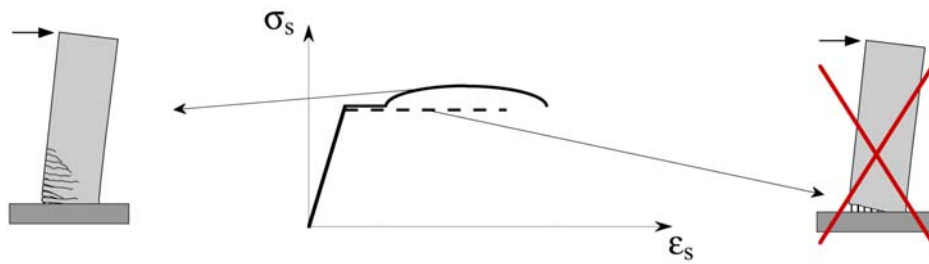


Bild 1.2–Bedeutung des Verfestigungsverhältnisses des Bewehrungsstahls für das plastische Verhalten von Betonbauten; aus [5].

Bei Tragwänden (zur Lastabtragung der Erdbebenlasten, duktiles Tragverhalten) werden in der Projektierung plastische Bereiche definiert, in denen gemäss Ziffer 5.7.3 der Norm SIA 262 "mechanische Stabverbindungen nur dann eingesetzt werden dürfen, wenn mit entsprechenden Prüfungen eine ausreichende Duktilität ausgewiesen wird". Generell fordert Ziffer 5.2.6.8, dass die Wirksamkeit des Verbindungsmittels inklusive der Auswirkungen auf das Grundmaterial nachgewiesen wird.

Gegenwärtig wird eine europäische Prüfnorm [6] zum Eignungsnachweis von Verbindungsmitteln bei Erdbebenbeanspruchung erarbeitet, welche sich stark an nordamerikanischen Angaben [7] orientiert. Die Verbindungsmittel müssen mehreren Stufen von Beanspruchungen standhalten bevor der Bruch eintreten darf. Beim 'medium scale earthquake'-Versuch darf die bleibende Verlängerung u_{20} nach 20 Zyklen zwischen den Spannungen von $0.9 f_{yk}$ auf der Zugseite und $-0.5 f_{yk}$ auf der Druckseite 0.3 mm nicht überschreiten, siehe Bild 1.3. Beim 'violent earthquake'-Versuch darf die bleibende Verlängerung u_4 nach 4 Zyklen zwischen den Dehnungen von $2 \epsilon_{yk}$ auf der Zugseite und Spannungen von $-0.5 f_{yk}$ auf der Druckseite 0.3 mm bzw. u_8 nach 4 Zyklen zwischen den Dehnungen von $5 \epsilon_{yk}$ auf der Zugseite und Spannungen von $-0.5 f_{yk}$ auf der Druckseite 0.6 mm nicht überschreiten, Bild 1.4. Dieser Entwurf der Prüfnorm [6] bildet die Grundlage für derzeitige Nachweise einer ausreichenden Duktilität bei zyklischen Beanspruchungen der Bewehrung infolge Erdbeben.

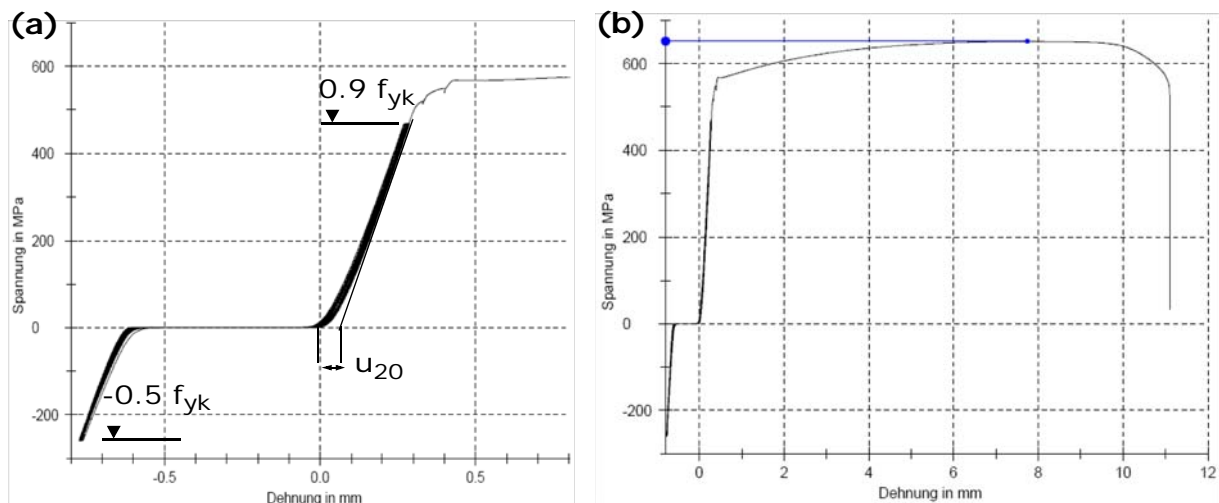


Bild 1.3–'medium scale earthquake'-Versuche an Ø20 mm: (a) Ausschnitt der 20 Zyklen; (b) Spannungs-Dehnungs-Diagramm bis zum Bruch.

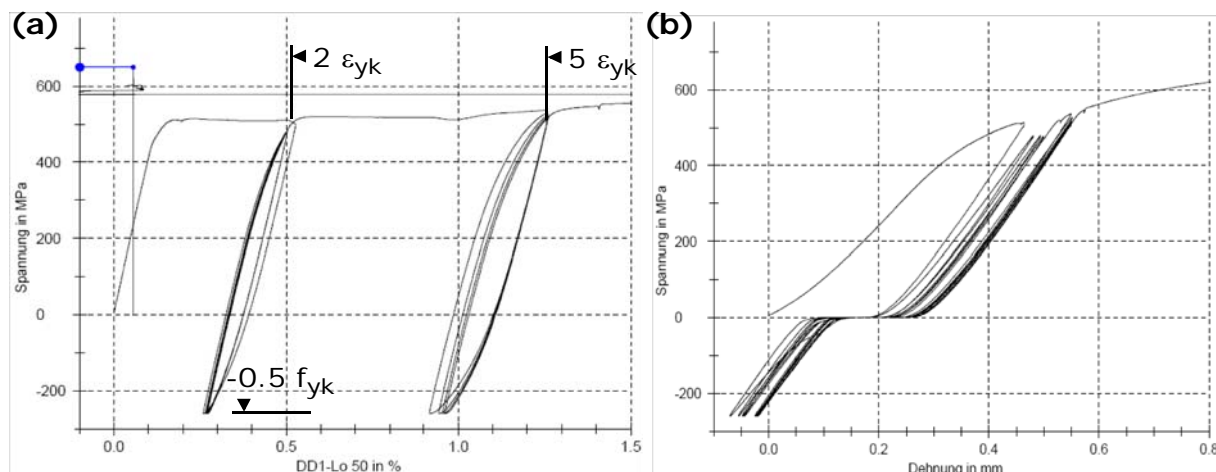


Bild 1.4– ‘violent earthquake’-Versuche an Ø20 mm: (a) Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Versuchssteuerung; (b) Verlängerung im Bereich der Schraubverbindung.

1.2 Zielsetzung

Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes ist es, die ausreichende Duktilität der BARTEC[®]-Schraubverbindung unter Berücksichtigung der Besonderheiten bei Erdbebenbemessung rechnerisch und experimentell auszuweisen, die Bemessungsgrundlagen für die Projektierung bereitzustellen und Empfehlungen für die konstruktive Durchbildung der Verbindungsbereiche zu erarbeiten.

1.3 Prüfumfang

Die Zugversuche mit zyklischer Beanspruchung wurden an der EMPA in Dübendorf durchgeführt [8]. Die Probenzahl ist aus der Tabelle 1.1 ersichtlich.

Stabdurchmesser	Ø12 mm	Ø20 mm	Ø34 mm
Referenzstäbe	3	3	3
Referenzstäbe mit Muffe BARTEC [®]	3	3	3
‘medium scale earthquake’-Versuche	3+1	3+1	-
‘violent earthquake’-Versuche	6	6	6

Tabelle 1.1–Versuchsumfang zyklische Zugversuche; topar-S 500C & BARTEC[®] mit Standard-Kupplung Typ C.

1.4 Prüfergebnis

Die Anforderungswerte der CUAP [6] bezüglich der bleibenden Verformungen u_4 und u_8 wurden gemäss EMPA-Prüfbericht [8] bei allen 18 ‘violent earthquake’-Versuchen erreicht. Die Zugfestigkeit nach erfolgten Belastungszyklen ist bei allen Prüfungen höher als der nominelle Wert des Betonstahls und liegt auch über dem Mittelwert der Zugfestigkeit der jeweiligen Referenzstäbe. Der Bruch erfolgte bei allen Versuchen ausserhalb des Kupplungsbereichs im freien Teil des Betonstahls. Auch die Anforderungswerte bezüglich der bleibenden Verformungen u_{20} wurden bei allen 8 ‘medium scale earthquake’-Versuchen erreicht.

Der Nachweis der Erdbebentauglichkeit nach CUAP [6] konnte somit an den geprüften BARTEC[®]-Schraubverbindungen mit Standard-Kupplung Typ C erbracht werden.

2 Numerische Simulationen

2.1 Verformungsberechnungen

Die numerischen Verformungsberechnungen wurden am konkreten Beispiel eines 7-stöckigen Gebäudes durchgeführt, siehe Bild 2.1. Die Verformbarkeit einer Stahlbetontragwand wird im Wesentlichen von der im Verbund erreichbaren Bruchdehnung des Bewehrungsstahls bestimmt. Die Zugzone der Tragwand wurde herausgelöst und als zentrisch beanspruchtes Stahlbetonzugglied untersucht. Einflüsse infolge Biegung und Querkraft auf das Verformungsverhalten der Zugzone wurden vernachlässigt. Die Höhe der plastischen Zone am Wandfuss wurde vereinfachend zu $h_{pl} = 3$ m festgelegt. Die Längsbewehrung ($10\phi 30$ mm) wird durch die Verbügelung alle 150 mm stabilisiert. Die Rissabstände für eine Zugbeanspruchung sind somit auf ein Vielfaches von 150 mm begrenzt. Es wurden unterschiedliche Spannungs-Dehnungs-Beziehungen untersucht: bilinear mit Verfestigung [3], naturhart mit ausgedehntem Fließplateau (entsprechend dem verwendeten topar-S 500C) sowie mit kaltverformter Charakteristik.

Bild 2.2 zeigt die Verformungsfähigkeit eines 3 m langen Stahlbeton-Zugglieds in Abhängigkeit der Muffenanordnung. Die Normalkraft-Verlängerungs-Beziehungen in Bild 2.2 (a) zeigen, dass mit zunehmendem Abstand von zwei in der Stosslage versetzten Muffenreihen gemäss Bild 2.2 (b) die Verformungsfähigkeit abnimmt. Werden alle Muffen im selben Schnitt gestossen, verringert sich die

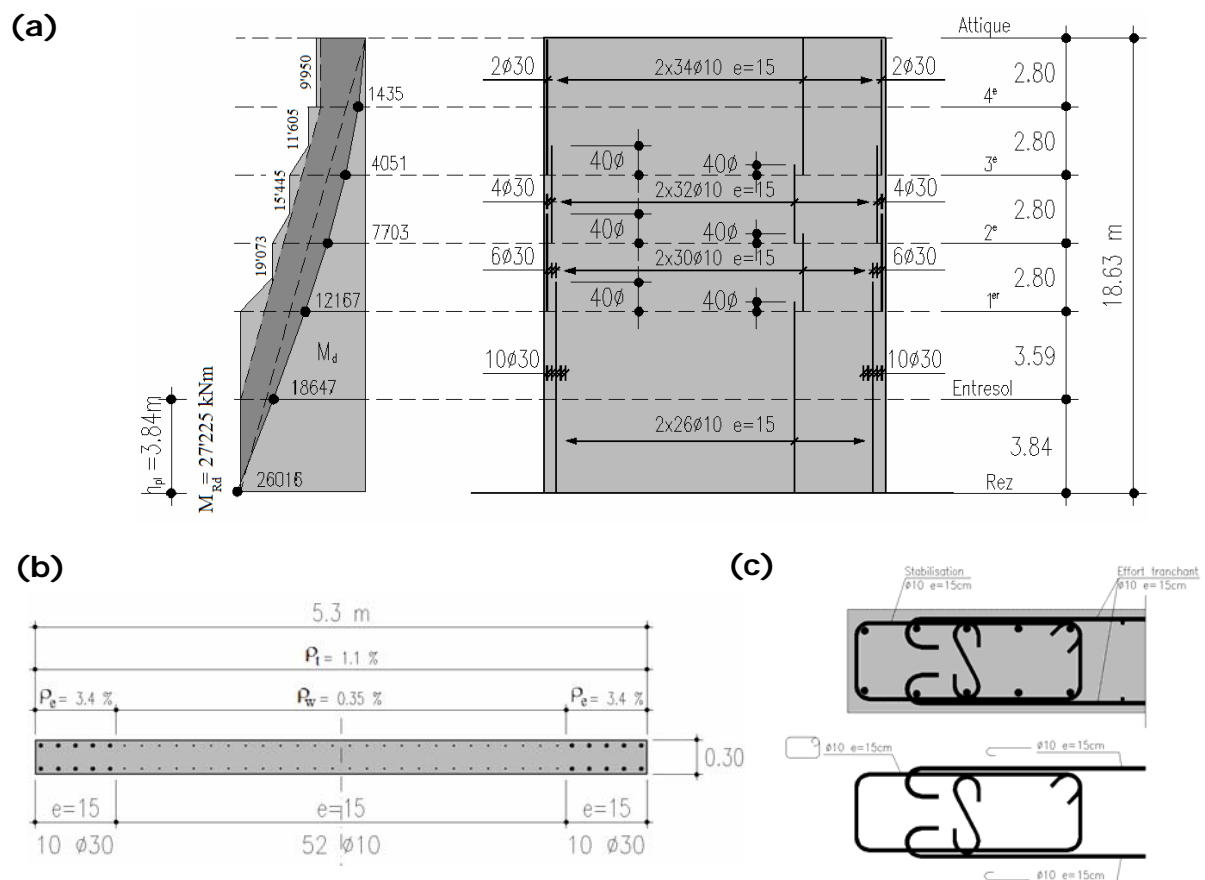


Bild 2.1–Konkrete Tragwand aus [9]: (a) Biegebeanspruchung und Bewehrungslayout; (b) Konzentration der Bewehrung in den Randbereichen; (c) Verbügelung.

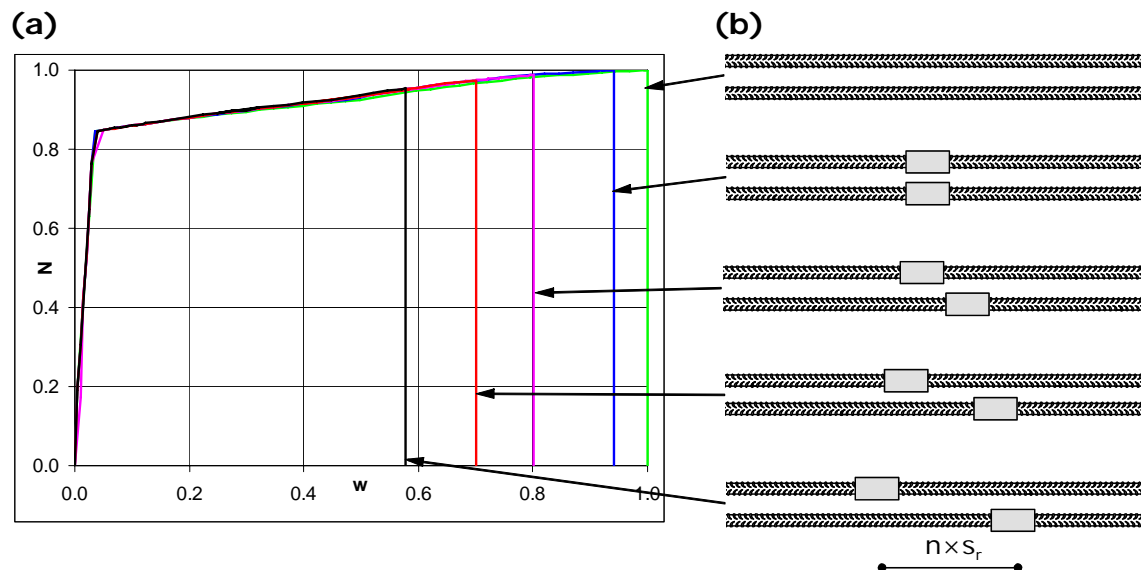


Bild 2.2–Verformungsfähigkeit in Abhängigkeit der Muffenanordnung: (a) Berechnung der Normalkraft-Verlängerungs-Beziehung Ø30 mm und $s_r = 150$ mm; (b) untersuchte Muffenanordnungen.

Verformungsfähigkeit gegenüber dem muffenfreien Zugglied um 6 %. Werden die zwei Muffenstöße um 150 mm versetzt, verringert sich die Verformungsfähigkeit um weitere 14 %. Diese Reduktion der Verformungsfähigkeit wird umso grösser, je weiter die Muffenstöße (2×150 mm bzw. 3×150 mm) auseinander liegen. Es zeigte sich auch bei allen numerischen Untersuchungen, dass die Reduktion dann am geringsten ausfällt, wenn die Stosslänge so kurz wie möglich ausgeführt wird. Dieser Umstand ist durch die unterschiedlichen Steifigkeiten der Bewehrung bzw. der Muffe im Rissquerschnitt begründet. Des Weiteren kann die Verfestigung nicht mehr voll ausgeschöpft werden und die maximal erreichbare Zugkraft wird kleiner.

3 Folgerungen und konstruktive Empfehlungen

- Die Anforderungen der europäischen Prüfnorm [6] sind experimentell untersucht und werden erreicht [8]. Damit wird der Nachweis der ausreichenden Duktilität gemäss Ziffer 5.7.3 [3] erfüllt. Die Untersuchungen beschränken sich auf die Verschraubung von Stäben aus topar-S 500C mit BARTEC[®]-Schraubverbindungen mit Standard-Kupplung Typ C.
- Der Bruch fand bei allen Versuchen in der freien Stablänge statt. Damit bleibt die Festigkeit und die Verformungsfähigkeit inkl. der Verfestigung der verwendeten Bewehrung erhalten. Die BARTEC[®]-Schraubverbindungen sind sowohl für statische wie auch für zyklische Beanspruchungen ausreichend bemessen und stellen keine Schwächung der Festigkeit dar.
- Im Bereich der BARTEC[®]-Schraubverbindungen ist die Verformungsfähigkeit des Stahlbetonbauteiles lokal verringert, da sich die Verbindung nicht plastisch verformen darf. Der Einfluss der Verbindung auf die Verformungsfähigkeit des Stahlbetonbauteiles ist gering und nimmt mit abnehmendem Muffenabstand ab.
- Die Hauptbewehrung soll in einem Schnitt gestossen werden, falls es die Platzverhältnisse (Betonierbarkeit) erlauben. Ansonsten kann die Verformungsreduktion mit einer Stossanordnung gemäss Bild 3.1 (a) klein gehalten werden.

Die Platzierung dieser Stösse sollte möglichst im oberen Drittel der plastischen Zone einer Tragwand angeordnet werden, siehe Bild 3.1 (c).

- Die Stösse müssen wie die übrige Hauptbewehrung gemäss Ziffer 5.7.3 [3] mit gut verankerten Bügeln umschnürt werden, siehe Bild 3.1 (b).
- Die konstruktiven Empfehlungen gemäss Bild 3.1 sind im Grundsatz auch auf mit topar-S 500C vergleichbare Bewehrungen übertragbar.
- Die konstruktiven Empfehlungen gemäss Bild 3.1 sind im Grundsatz auch auf weitere Bauteile wie z.B. Brückenstützen, Anschlüsse an Fundamentbewehrungen übertragbar.

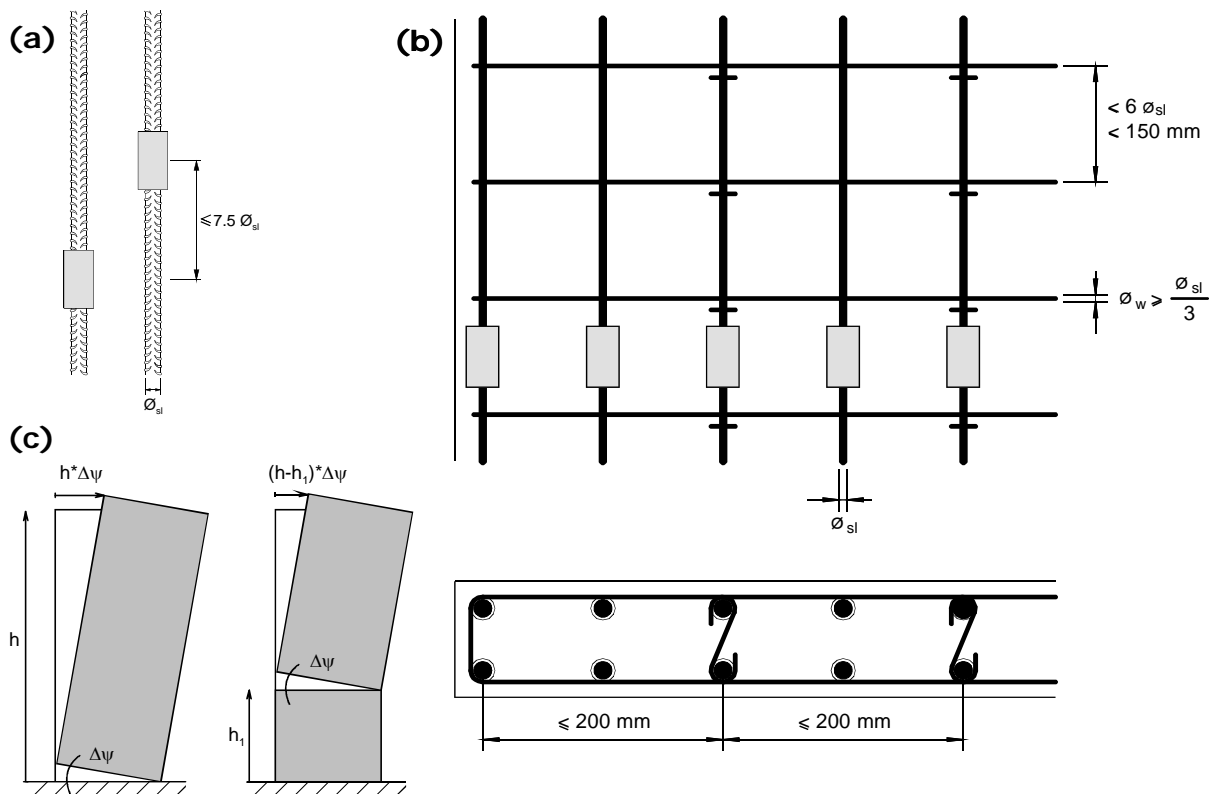


Bild 3.1– Konstruktive Empfehlungen: (a) Versatz der BARTEC[®]-Schraubverbindungen; (b) Verbügelung der Hauptbewehrung; (c) Einfluss der Stosslage auf die Wandverformung.

Rapperswil, 27.09.2006

A. Kenel

Dr. A. Kenel

Im Auftrag von:

- BARTEC Systèmes Constructifs, 113, cours Albert Thomas, F-69003 Lyon
Tel +33 (0) 472 34 95 15
Fax +33 (0) 472 34 95 35
- Davum Construction SA, Z.I. en Orlons, CH-1860 Aigle
Infotel 0844 80 88 18
- Debrunner Acifer Management AG, Hinterlauben 8, CH-9004 St. Gallen
Infotel 0844 80 88 18

4 Literatur

- [1] SIA, *Norm SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Grundlagen*, Norm Ausgabe 2003, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2003, 44 pp.
- [2] SIA, *Norm SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke*, Norm Ausgabe 2003, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2003, 114 pp.
- [3] SIA, *Norm SIA 262 Betonbau*, Norm Ausgabe 2003, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 2003, 90 pp.
- [4] Paulay T., Priestley M.J.N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, 1992, 744 pp.
- [5] Lestuzzi, P., "Erdbebenbemessung", *SIA Dokumentation D 0191 – Bemessungsbeispiele zu den Normen 260 und 261*, Hrsg. Dupraz P., Kenel A. und Lestuzzi P., 2004, pp. 34-75.
- [6] DIBt, *Couplings for standardised reinforcing bars*, Common Understanding of Assessment Procedure CUAP, Deutsches Institut für Bautechnik, Second draft, May 2005, for Presentation to EOTA Technical Board for a European Technical Approval according to Article 9.2 of the Construction Products Directive, 2005, 22 pp.
- [7] ICC Evaluation Service, *AC133-1004-R1 Proposed Revisions to the Acceptance Criteria for Mechanical Connectors for Steel Bar Reinforcement*, September 2004, 21 pp.
- [8] Belastungsversuche "Low-cycle fatigue test simulated violent earthquake" an BARTEC-Betonstahlkupplungen in Anlehnung an CUAP – Couplings for standardised reinforcing bars (second draft, May 2005), *EMPA Prüfbericht Nr. 443'127*, 18. Sept. 2006, 16 pp.
- [9] Lestuzzi, P. et al., "Beispiel nach den Normen SIA 261 und 262", *SIA Dokumentation D 0191 – Bemessungsbeispiele zu den Normen 260 und 261*, Hrsg. Dupraz, P., Kenel, A. und Lestuzzi, P., 2004, pp. 76-104.