

Technische Universität Wien

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Trag- und Verformungsverhalten von Betondübelleisten unter ruhender Beanspruchung.

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Fink

E 212

Institut für Tragkonstruktion – Stahlbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Thomas Seidl

Matrikelnummer 9725287

A-1210 Wien, Angererstraße 8/6

Wien, im März 2009

eigenhändige Unterschrift

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere,

1. dass ich die Diplomarbeit selbständig verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe,
2. dass ich diese Diplomarbeit bisher weder im In- oder Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
3. dass dieses Exemplar mit der beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im März 2009

THOMAS SEIDL

KURZFASSUNG

Ziel der Untersuchung ist es, das Trag- und Verformungsvermögen von alternativen Schubverbindern zu beurteilen. Zu diesem Zweck wurden insgesamt 7 Push-Out-Versuche durchgeführt. Diese empirischen Versuche stellen eine Weiterentwicklung von Erkenntnissen einer ersten Versuchsreihe dar, welche am Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau an der Technischen Universität Wien im Jahr 2005 durchgeführt wurde.

Die Modifikationen beziehen sich auf die Betongüte und die Anzahl und Lage der Bewehrung. Die Versuchskörper lassen sich in zwei Hauptgruppen mit jeweils artgleicher Schnittführung der Lasteintragungsfläche des Stahldübels unterteilen.

Die generelle Stahldübelgeometrie der ersten Gruppe war schon Bestandteil mehrerer experimenteller Untersuchungen [10] mit sehr positiven Ergebnissen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden allerdings zu [10] variierende Abmessungen mit zum Teil zusätzlichen Adaptierungen zur Erhöhung der Duktilität untersucht.

Die Dübelgeometrie der zweiten Gruppe stellt eine neue Formgebung für den Schubverbinder dar. Diese wurde am Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau an der Technischen Universität Wien entwickelt und 2006 am Österreichischen Patentamt zum Patent für Österreich angemeldet und bereits ein Mal (Serie I) getestet.

Die dabei gewonnen Erkenntnisse bestätigen für die Gruppe 1 (Puzzleform) ein gutes Tragvermögen bei gleichzeitigem guten Verformungsvermögen. Insbesondere wird gezeigt, dass durch Adaptierungsmaßnahmen am Dübelzahn das Verformungsvermögen beträchtlich gesteigert werden kann. Die Ergebnisse für die Gruppe 2 (Kronenform) zeigen vor allem deren hohe Tragfähigkeit und ausgezeichnetes Verformungsverhalten auf.

ABSTRACT

To estimate the load-bearing capacity and ductility of alternative shear connectors, altogether 7 Push-Out-Tests were carried out. They can be divided into two main groups with in character equal loading areas each.

The main geometry of the first group has already been part of experimental research study at the Institute for Structural Engineering, Technical University of Vienna with highly positive results. Within the scope of the present study the dimensions of this geometry has been varied. Also to increase the capacity of ductility there were some adaptations too.

The geometry of the second group is defined by a complete new shaping of shear connector developed on Institute for Structural Engineering. The test results show that the specimens of group 1 are able to carry a high level of loading with sufficient results for ductility standards. Particularly, the adaptations led to a high increasing of the capacity of ductility. The results on the tests of the specimen of group 2 show their very high level of bearing load capacity.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINFÜHRUNG.....	7
1.1. Problemstellung.....	7
1.2. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	8
1.3. Aufbau der Diplomarbeit.....	9
1.4. Grundlagen	10
2. PROBEKÖRPER, MATERIALKENNWERTE, VERSUCHSAUFBAU, VERSUCHSABLAUF UND AUSWERTUNGSMODALITÄTEN	16
2.1. Probekörperherstellung.....	16
2.2. Push-Out-Versuchskörper	39
2.3. Werkstoffkennwerte	45
2.4. Experimentelle Methoden der Messtechnik	51
2.4.1. DMS (Dehnungsmessstreifen).....	53
2.4.2. Induktive Aufnehmer.....	54
2.5. Prüfraumen und Einsatz der Messtechnik	56
2.6. Auswertungsmodalitäten	63
3. ERGEBNISSE AUS DEN EMPIRISCHEN VERSUCHEN	68
3.1. Trag- und Verformungsvermögen im Allgemeinen	68
3.2. Versuchskörper der Gruppe v2_A.....	69
3.3. Versuchskörper der Gruppe v2_B	71
3.4. Rissentwicklung und Schadensbilder	73
3.5. Versagenskriterien.....	75
4. ZIELERREICHUNG UND FOLGERUNGEN AUS DEN VERSUCHSERGEBNISSEN	78
4.1. Zusammenfassung	78
4.2. Einfluss auf die Messergebnisse.....	79
4.3. Darstellung der Zielerreichung anhand der Beantwortung der Forschungszielsetzung.....	79
4.4. Ausblick.....	81
5. ANHANG	82
5.1. Auswertung der einzelnen Push-Out-Versuche.....	82
5.1.1. Allgemeines	82

5.1.1.1.	Zustand der Push-Out-Versuchskörper vor Versuchsbeginn und deren Einbausituation	82
5.1.1.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	82
5.1.1.3.	Beschreibung des Betonkörpers	82
5.1.1.4.	Beschreibung des Dübelblechs	83
5.1.1.5.	DMS-Auswertung.....	83
5.1.1.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	84
5.1.2.	Versuchsdatenblatt v2_A_a.1 (PK1)	85
5.1.2.1.	Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation	85
5.1.2.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	85
5.1.2.3.	Beschreibung des Betonkörpers	86
5.1.2.4.	Beschreibung des Dübelblechs	89
5.1.2.5.	DMS-Auswertung.....	89
5.1.2.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	92
5.1.3.	Versuchsdatenblatt v2_A_a.2 (PK5)	106
5.1.3.1.	Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation	106
5.1.3.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	106
5.1.3.3.	Beschreibung des Betonkörpers	107
5.1.3.4.	Beschreibung des Dübelblechs	110
5.1.3.5.	DMS-Auswertung.....	110
5.1.3.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	118
5.1.4.	Versuchsdatenblatt v2_A_b.2 (PK4)	132
5.1.4.1.	Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation	132
5.1.4.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	132
5.1.4.3.	Beschreibung des Betonkörpers	133
5.1.4.4.	Beschreibung des Dübelblechs	135
5.1.4.5.	DMS-Auswertung.....	136
5.1.4.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	144
5.1.5.	Versuchsdatenblatt v2_A_c.1 (PK3)	158
5.1.5.1.	Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation	158
5.1.5.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	158

5.1.5.3.	Beschreibung des Betonkörpers	159
5.1.5.4.	Beschreibung des Dübelblechs.....	161
5.1.5.5.	DMS-Auswertung.....	162
5.1.5.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	171
5.1.6.	Versuchsdatenblatt v2_B_a.1 (PK6)	185
5.1.6.1.	Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation	185
5.1.6.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	185
5.1.6.3.	Beschreibung des Betonkörpers	186
5.1.6.4.	Beschreibung des Dübelblechs.....	188
5.1.6.5.	DMS-Auswertung.....	189
5.1.6.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	194
5.1.7.	Versuchsdatenblatt v2_B_b.1 (PK7)	208
5.1.7.1.	Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation	208
5.1.7.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	208
5.1.7.3.	Beschreibung des Betonkörpers	209
5.1.7.4.	Beschreibung des Dübelblechs.....	212
5.1.7.5.	DMS-Auswertung.....	212
5.1.7.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	217
5.1.8.	Versuchsdatenblatt v2_B_c.1 (PK8)	231
5.1.8.1.	Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation	231
5.1.8.2.	Beschreibung des Versuchsablaufs	231
5.1.8.3.	Beschreibung des Betonkörpers	232
5.1.8.4.	Beschreibung des Dübelblechs.....	235
5.1.8.5.	DMS-Auswertung.....	235
5.1.8.6.	Definition des Push-Out-Versuchskörpers	240
5.2.	Abkürzungsverzeichnis	254
5.3.	Formelverzeichnis	254
5.4.	Abbildungsverzeichnis	254
5.5.	Tabellenverzeichnis	263
5.6.	Literaturverzeichnis	263

1. Einführung

1.1. Problemstellung

In den letzten Jahren wurde aus wirtschaftlichen Gründen zunehmend an einer Alternative zum Kopfbolzendübel für die Verbindung eines Stahlelements mit einem Betonelement im Stahl-Beton-Verbundbau geforscht. Vor allem die in Deutschland entwickelte Perfobondleiste ist hier hervorzuheben (Abbildung 1, [1], [2], [3], [6]). Zusätzliche Untersuchungen sowohl in Deutschland als auch in vielen weiteren Ländern haben aufgezeigt, dass diese neue Schubverbindung bzw. Abwandlungen dieser, eine funktionsfähige Alternative zum Kopfbolzendübel darstellt ([4] – [12]).

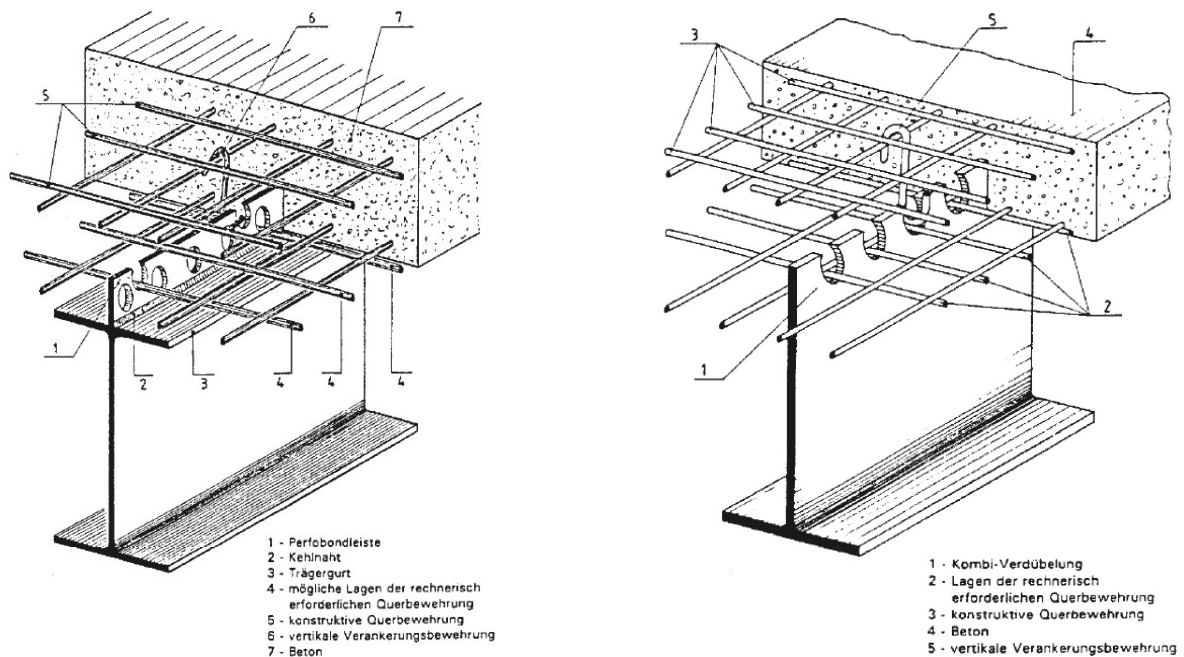


Abbildung 1: Verbundträger mit Perfobondleiste (links) [28] und mit Kombi-Verdübelung (rechts) [28]

Seit Herbst 2004 wird auch am Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau an der TU Wien im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte versucht, schon bekannte Ergebnisse anhand eigener Push-Out-Versuche nachzuvollziehen. Das ist bereits ein Mal geschehen. Die so gewonnenen Erkenntnisse werden an eigenen neuen Dübelgeometrien und anhand weiterer eigener Versuche und in Folge numerische Simulationen umgesetzt. Diese Simulationen werden anhand einer weiteren, darauf basierenden Diplomarbeit detailliert vorgenommen [13].

Am Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau wurde im Rahmen dieser Arbeit eine umfangreiche experimentelle Untersuchung anhand von 7 Push-Out-Versuchen nach Eurocode 4 Anhang B.2 [14] mit jeweils unterschiedlichen Schubverbindern sowohl in Puzzleform (Abbildung 2, links), als auch in Kronenform (Abbildung 2, rechts) durchgeführt, um deren Dübeltragfähigkeit und Duktilität zu ermitteln. Im Gegensatz zur Serie I wurden sowohl die Betongüte als auch der Bewehrungsgrad verändert. Die Dübelgeometrien hingegen wurden nicht verändert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden nachfolgend dargestellt.

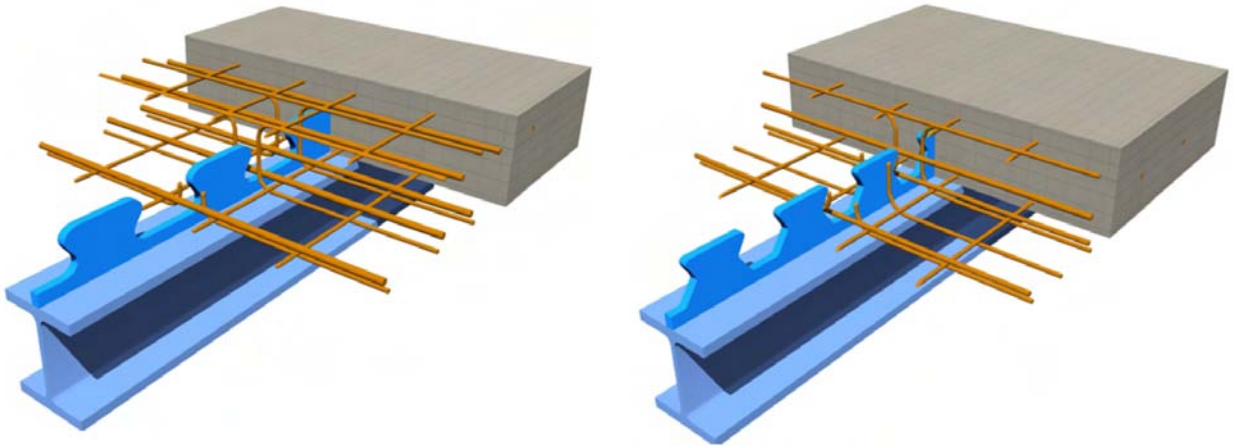


Abbildung 2: Dübelleisten in Puzzleform (links) [30] und Kronenform (rechts) [30]

1.2. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Das angestrebte Ziel der Arbeit von Dipl.-Ing. Thomas Petraschek ist es, neue Erkenntnisse zum Thema alternativer Lösungen für die Verbindung eines Stahlelements mit einem Betonelement im Stahl-Beton-Verbundbau zu gewinnen. Kurz formuliert, das Ersetzen des gängigen Kopfbolzendübels durch einen alternativen Schubverbinder, der folgende Vorteile in sich vereinigen soll:

- Unter Gebrauchslastniveau eine nahezu starre und im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine die Anforderungen der gültigen Normenwerke an die Duktilität einhaltende Verbindung zwischen Betongurt und Stahlträger auf hohem Lastniveau.
- Einfache Herstellung mit minimalem Materialverbrauch mit der Möglichkeit der Automatisierung beim Herstellungsprozess.

- Einfache Befestigung auf dem Stahlträgerobergurt mit der Möglichkeit der Automatisierung des Befestigungsprozesses.
- Einfachere und vor allem schnellere Überprüfung der Befestigung (Schweißnähte). Geringhalten des Aufwands für den Einbau der Bewehrung und das Einbringen des Betons auf der Baustelle.
- Anwendung sowohl im Hochbau als auch im Brückenbau.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Beantwortung der zuvor aufgezählten Forschungsfragen zu leisten. Konkret wird in dieser Diplomarbeit folgendes dargestellt:

- Die Herstellung der Versuchskörper zur Ermittlung der Materialkennwerte
- Die Herstellung der Push-Out-Versuchskörper
- Die Durchführung aller Prüfungen
- Die Erstellung der einzelnen Dübelkennlinien
- Die Auswertung der DMS-Messdaten
- Die Analyse der Bruchbilder

1.3. Aufbau der Diplomarbeit

Die Arbeit ist in 6 Kapitel unterteilt wie in Abbildung 3 dargestellt.

Kapitel 1	Einleitung
Kapitel 2	Versuchsaufbau, Probekörper, Materialkennwerte, Versuchsablauf und Auswertungsmodalitäten
Kapitel 3	Ergebnisse aus den empirischen Versuchen
Kapitel 4	Zielerreichung und Folgerungen aus den Versuchsergebnissen
Kapitel 5	Anhang, Auswertung der einzelnen Push-Out-Versuchskörper

Abbildung 3: Aufbau der Arbeit

Im Kapitel 1 wird die Problematik bezüglich der Verwendung von Betondübelleisten einführend erläutert. Anschließend wird die Zielsetzung dieser Arbeit sowie das Forschungsvorhaben formuliert. Einen weiteren Teil des ersten Kapitels bilden die Grundlagen zu dieser Arbeit.

Darauf aufbauend wird im 2. Kapitel der Arbeit die Planung, Herstellung und Durchführung des empirischen Teils dargelegt. Hierbei werden die experimentellen Versuche detailliert eingeleitet und sowohl die verwendeten Baustoffe als auch Messverfahren beschrieben.

Danach werden im Kapitel 3 die Versuchungsergebnisse zusammengefasst welche im anschließenden Kapitel 4 analysiert und Erkenntnisse daraus abgeleitet werden.

Im Kapitel 4 wird zuerst eine Zusammenfassung der Untersuchungserkenntnisse gegeben. Eine rückblickende Betrachtung über die Zielerreichung in Hinblick auf die Forschungsfragestellungen sowie ein abschließender Ausblick vervollständigen diese wissenschaftliche Arbeit.

Das abschließende 5. Kapitel stellt eine detaillierte Auswertung der einzelnen Push-Out Versuchskörper dar.

1.4. Grundlagen

Verbundbau ist eine Bauweise, bei der räumlich getrennte Querschnitte, durch Verbindungsmittel an einer Verbundfuge miteinander kraftschlüssig verbunden werden.

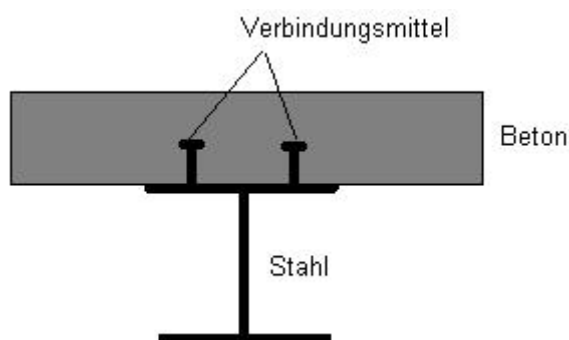


Abbildung 4: Schema Verbundbau

Der Verbund kann sich zwar auch auf andere unterschiedliche Bau- oder Werkstoffe beziehen, jedoch ist mit Verbundbau im Allgemeinen Stahlverbundbau, bestehend aus Stahlbeton und Stahl gemeint. Wesentliche Voraussetzung für die gemeinsame Tragwirkung ist die Aufnahme des Schubflusses in der Kontaktfuge zwischen Stahl- und Stahlbetonbauteil durch ein Verbindungsmittel.

Die Tragfähigkeit eines Verbundträgers wird nachhaltig durch die Art und die Anzahl der eingesetzten Verbundmittel beeinflusst. [14] und [15] ermöglichen neben dem heute fast ausschließlich zur Ausführung kommenden Kopfbolzendübel die Verwendung anderer Verbundmittel wie Blockdübel, Haken- und Schlaufenanker, Winkeldübel und Reibungsverbund mittels hochfester, vorgespannter Schrauben. (Abbildung 5) Diese sind aber im Vergleich zum Kopfbolzendübel von untergeordneter Rolle.

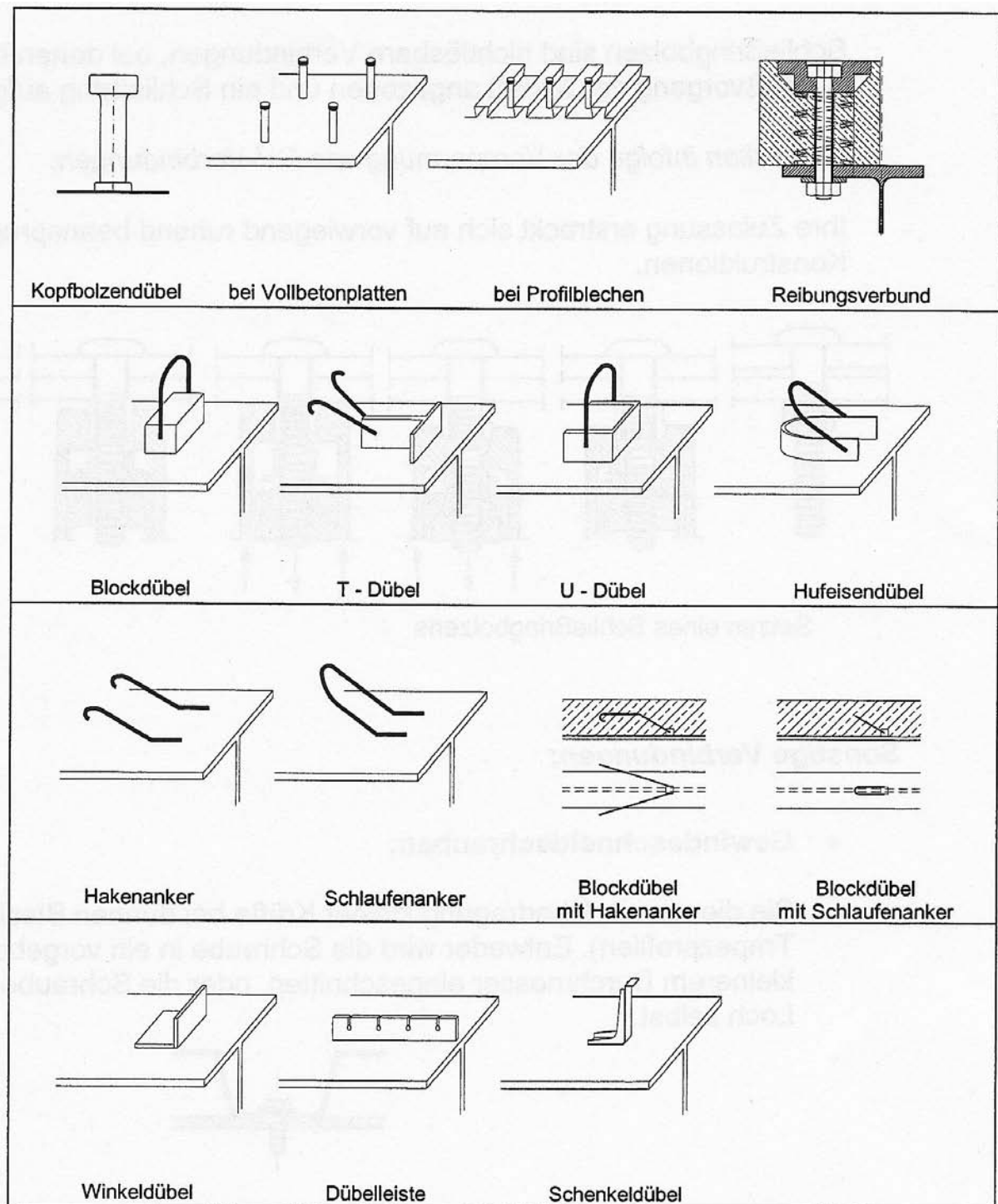


Abbildung 5: Übersicht genormter Verbundmittel im Stahl-Beton Verbundhochbau bzw. Verbundbrückenbau [24]

Der Kopfbolzen ist die im Stahlverbundbau heute gängigste Verankerungsart. Dabei wird durch die „pilzförmige“ Konstruktion des Ankers ein guter Verbund vom Stahlteil zum angrenzenden Beton und somit eine Kraftübertragung erreicht.

Er kann sowohl Schub-, als auch Zugkräfte übertragen. Die Anbringung des Kopfbolzendübels auf einem Stahlbauteil geschieht durch eine Bolzenschweißpistole wie in Abbildung 7, links zu sehen.

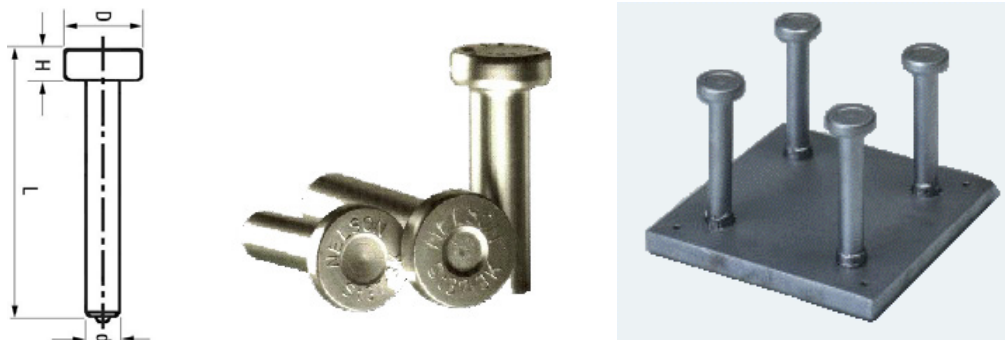


Abbildung 6: Kopfbolzendübel [25]



Abbildung 7: Montage der Kopfbolzendübel (links) und fertig bestückte Träger (rechts)

Beide Baustoffe werden durch die gemeinsame Tragwirkung optimal ausgenutzt, denn der Stahl ist besser geeignet für die Übernahme von Zugkräften und der Beton für das Abtragen von Druckkräften. Die Verbund-Bauweise ist daher im Vergleich mit reinen Stahl- oder Betonbauten sehr wirtschaftlich und konstruktiv vorteilhaft.

Angewandt wird der Verbundbau bei Bauwerken des Hochbaus, Industriebaus und Brückenbaus für Träger, Stützen und Decken. Der Querschnitt dieser Bauteile wird während des Baus aus den einzelnen Querschnittsteilen zusammengesetzt.

Die Vorteile der Stahlverbundbauweise sind verglichen mit Betonkonstruktionen:

- schlankere Konstruktionen mit größeren Spannweiten
- die Vergrößerung der Nutzfläche
- eine witterungsunabhängige,
- kürzere Bauweise durch Vorfertigung und stahlbaumäßige Anschlusskonstruktionen
- geringeres Eigengewicht
- ein geringer Flächenbedarf bei der Baustelleneinrichtung und der Montage

und verglichen mit reinen Stahlbauwerken:

- kostengünstiger
- erhöhter Feuerwiderstand
- erhöhter Schallschutz
- größere Wärmespeicherkapazität

Folgende Normen behandeln den Bereich der Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton. Darüber hinaus geben sie wichtige Hinweis zum Verbundmittel:

ÖNORM EN 1994-1-1 Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

ÖNORM EN 1994-1-2 Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung im Brandfall

ÖNORM EN 1994-2 Verbundbrücken

Tabelle 1: Normen

Auch wenn sich der Kopfbolzendübel heute als Verbindungsmittel am Markt durchgesetzt hat, gibt es doch einige Punkte, die verbesserungs- oder änderungswürdig erscheinen. Zu aller erst ist der Kopfbolzendübel nicht gerade günstig in der Anschaffung. Die Montage am Stahlbauteil kann nicht vollständig automatisiert werden. Aus diesem Grund ist auch eine aufwendigere Kontrolle der Schweißnähte erforderlich.

Für den praktischen Einsatz von Betondübeln zur Herstellung von Verbundträgern sind grundsätzlich zwei Ausführungsarten möglich. Bei der Verwendung von einem doppelsymmetrischen Stahlprofil mit Kopfbolzendübel gelten die Anwendungsgrenzen nach Eurocode 4 [14] gleichermaßen, wie bei der Verwendung von aufgeschweißten Dübeln zur Schubsicherung. Insofern gibt es von dieser Seite keine Einschränkungen gegenüber der Variante mit Kopfbolzendübel.

Die untersuchte Dübelleiste wäre relativ einfach und kostengünstig aus Stahlblech durch Brennschnitt herzustellen. Das Verschweißen kann automatisch durch das Unterpulverschweißverfahren (UP-Schweißen) erfolgen.

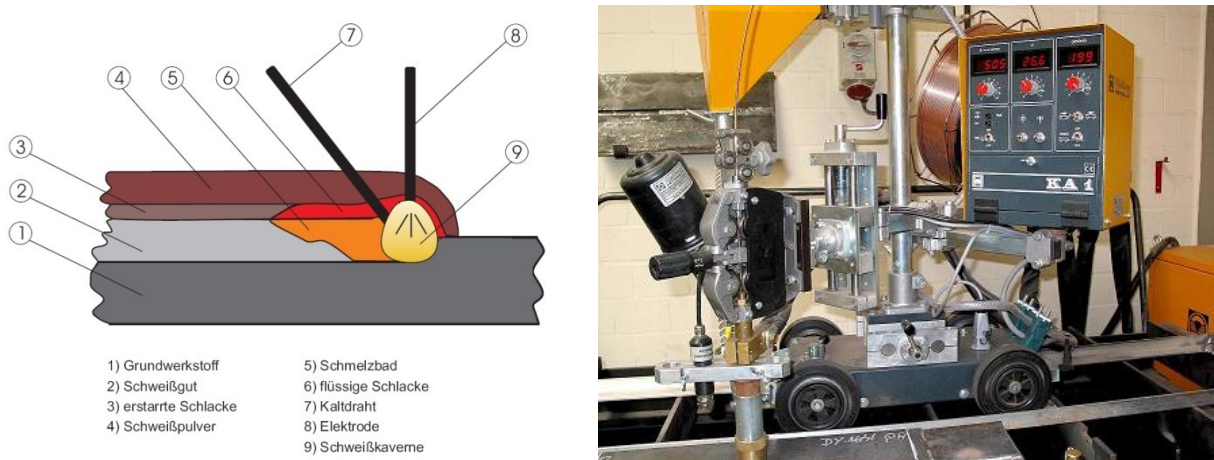


Abbildung 8: Schema UP-Schweißen (links) [26] und UP-Anlage (rechts) [27]

Das Unterpulverschweißen (UP-Schweißen) ist ein voll mechanisiertes Lichtbogenschweißverfahren, mit dem hohe Abschmelzleistungen erzielt werden können. Es wird industriell vor allem zum Schweißen langer Nähte häufig eingesetzt und eignet sich nicht zur manuellen Ausführung.

Beim Unterpulverschweißen wird der Schweißprozess von einer Schicht aus grobkörnigem, mineralischem Schweißpulver bedeckt. Dieses schmilzt durch die vom Lichtbogen emittierte Wärme und bildet eine flüssige Schlacke, die aufgrund ihrer geringeren Dichte auf dem metallischen Schmelzbad schwimmt. Durch die Schlackeschicht wird das flüssige Metall vor Zutritt der Atmosphäre geschützt. Der Lichtbogen brennt in einer gasgefüllten Kaveme unter Schlacke und Pulver. Nach dem Schweißvorgang löst sich die Schlackeschicht oft von selbst ab, das nicht aufgeschmolzene Pulver kann wiederverwendet werden. Wegen der Abdeckung des Prozesses hat das Verfahren einen hohen thermischen Wirkungsgrad, was jedoch den Einsatz auf große Blechdicken beschränkt. Bei diesem Schweißverfahren ist wegen der Abdeckung mit Schweißpulver keine unmittelbare Sichtkontrolle des Prozesses möglich. Jedoch werden im allgemeinen Nähte sehr hoher Qualität erzielt, sofern geeignete Schweißparameter verwendet werden. Eine Kontrolle mittels Ultraschallverfahren ist schnell durchgeführt und liefert genaue Ergebnisse.

Das Ultraschallverfahren ist eine der universalsten Prüfmethoden überhaupt. Von der Blechprüfung auf Doppellung bis zur Schweißnahtprüfung ab 7,0 mm Wanddicke und dort, wo eine Röntgenprüfung nicht mehr möglich ist, stellt sie eine der billigsten Prüfungen überhaupt dar. Insofern kann man sagen, dass der Markt durchaus nur auf eine solche Alternative wartet.

2. Probekörper, Materialkennwerte, Versuchsaufbau, Versuchsablauf und Auswertungsmodalitäten

2.1. Probekörperherstellung

In diesem Abschnitt wird die Probekörperherstellung der Versuchskörper beschrieben. Zuerst wird die Herstellung der Push-Out-Versuchskörper (Abbildung 9) zum allgemeinen Verständnis detailliert beschrieben. Dadurch soll die Nachvollziehbarkeit für aufbauende und weiterführende Versuche gewährleistet werden. Danach wird auf die Herstellung der Betonwürfel und Betonprismen eingegangen.

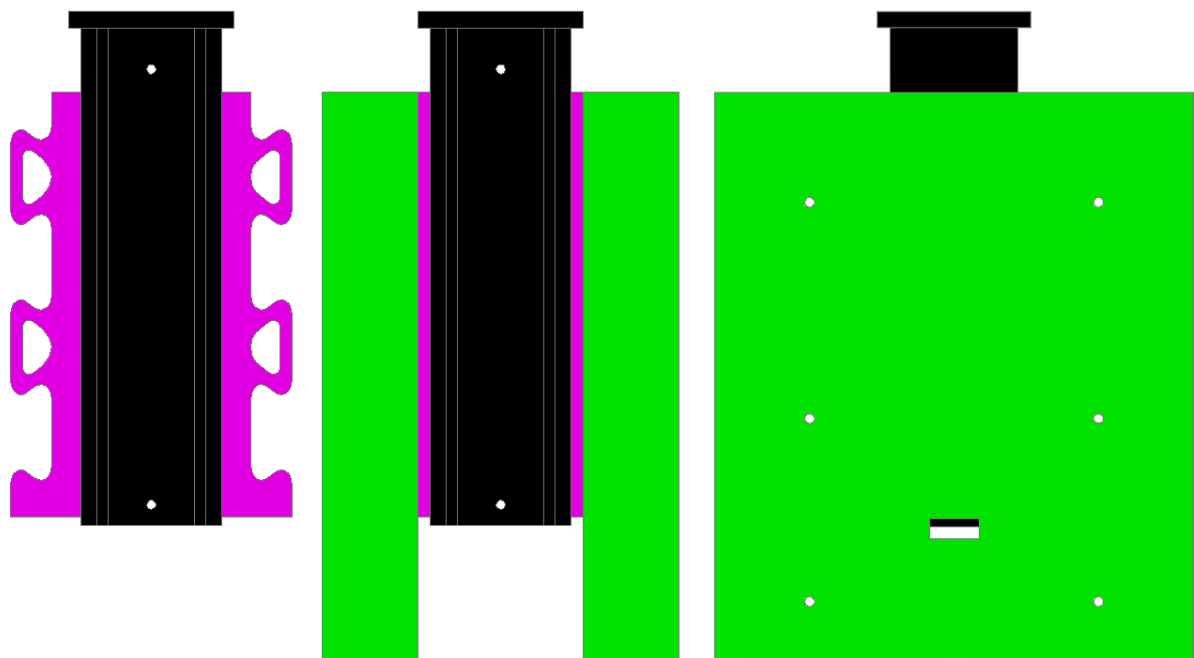


Abbildung 9: Aufbau Push-Out-Versuchskörper v2_A_a.2

Die bereits in der ersten Serie verwendeten Stahlteile der Push-Out-Versuchskörper (Abbildung 10) wurden in der Versuchsserie für diese Diplomarbeit wieder verwendet. Die Reinigung, vor allem der Ausnehmungen für die DMS, erfolgte mittels Sandstrahlen (Abbildung 11).



Abbildung 10: Stahlteile des Push-Out-Versuchskörpers v2_A_a.2

Zur Herstellung dieser Push-Out-Versuchskörper wurden 20 mm starke Stahlbleche anhand vorgegebener Pläne im Brennschnittverfahren zugeschnitten. Für die Dehnmessstreifen (DMS) und deren Verkabelung wurden außerdem Ausnehmungen und Schlitzte gefräst. Diese Dübelbleche wurden dann hochkant mit einer rundum laufenden Schweißnaht auf den Gurt eines Stahlträgers aufgeschweißt. Am lastnahen Ende dieses Stahlträgers wurde eine Kopfplatte angeschweißt, damit eine definierte Lasteinleitungsfläche vorliegt.

In weiterer Folge wurden die DMS-Rosetten vom Typ RY61 der Firma HBM, zur Ermittlung der Eigenspannungen in den Stahldübeln angebracht. Dazu wurden die DMS-Rosetten in die gefrästen Ausnehmungen des Dübelblechs geklebt (siehe Abbildung 11, links). Pro DMS wurden je 2 lackierte Kupferdrähte angelötet. Also wurden in Summe pro DMS-Rosette 6 lackierte Kupferdrähte angelötet und verlegt (Abbildung 11, rechts).

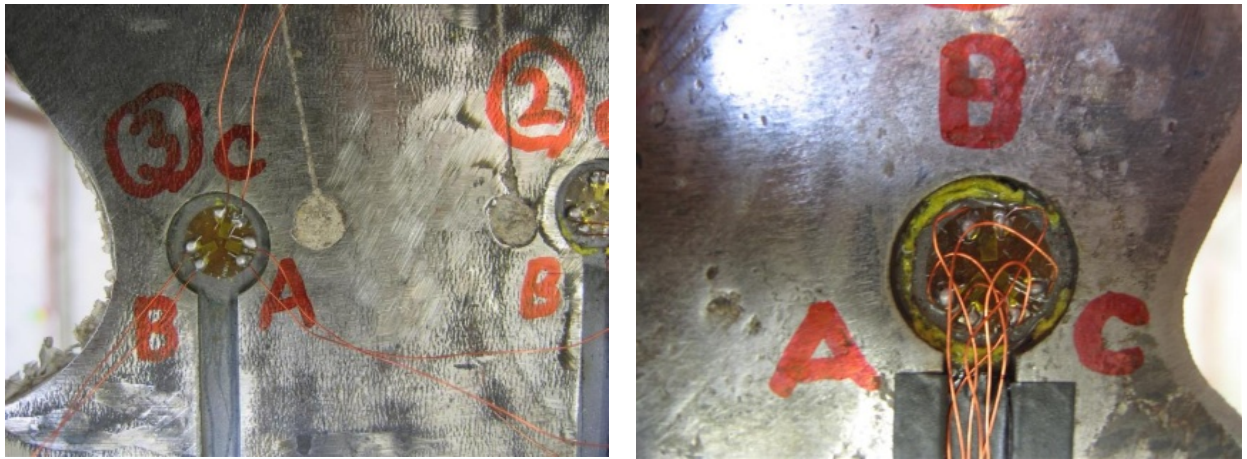


Abbildung 11: DMS aufgeklebt (links) und alle 6 Drähte angelötet (rechts)

Nachdem alle sieben Stahlteile derart vorbereitet waren, wurden weiche Kunststoffstreifen auf die DMS (siehe Abbildung 12) und auf die lackierten Kupferdrähte in den Kanälen gelegt und mit Isolierband fixiert



Abbildung 12: Fertig verkabelte Probekörper

Als zusätzlicher Schutz der DMS wurde ein dünnes Stahlblech passend zugeschnitten und mit Silikon auf den Dübelzahn geklebt (siehe Abbildung 13).

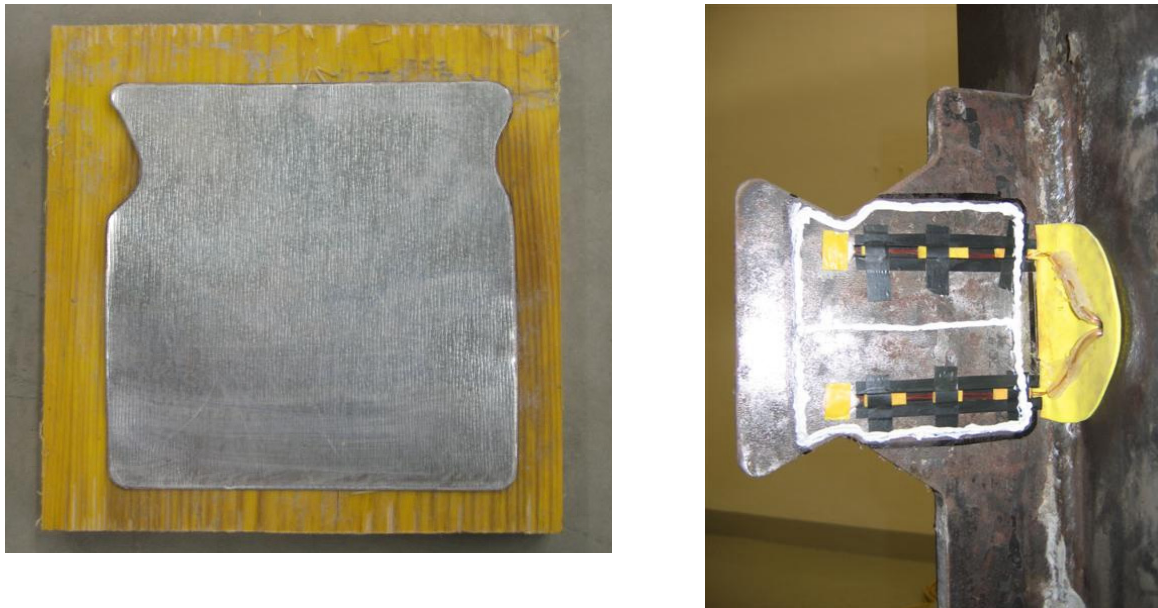


Abbildung 13: Abdeckung aus Stahlblech (links), Für die Abdeckung vorbereiteter Stahldübel (rechts)

Bis zur Aushärtung des Silikons wurde das Stahlblech mit einer zugeschnittenen Schalttafel und Schraubzwingen gesichert. Nach dem Aushärten wurden die Kanten des Stahlbleches mit Gewebeklebeband abgeklebt, um das Eindringen von Zementschlänpe bei möglichen Fehlstellen der Klebung zu verhindern (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Aushärten der Klebung (links), Abdecken mit Gewebeklebeband (rechts)

Die Bewehrungsstäbe wurden nach vorgegebenen Plänen von einer externen Firma gebogen und anschließend vor Ort verknüpft. Wesentlich dabei war, dass die Anordnung um die Öffnung für spätere Dübelleiste genau nach Plan ausgeführt wird, (siehe Abbildung 15, links und rechts) da es beim Zusammensetzen (Abbildung 16, rechts) sonst zu Problemen kommt und der Korb teilweise aufgebunden werden muss.



Abbildung 15: Geflochtener Bewehrungskorb: Draufsicht (links), Seitenansicht (rechts)

Anschließend wurden an die Körbe fertige Betonklötzen gebunden. Diese gewährleisten konstante Überdeckung der Bewährung (siehe Abbildung 22).

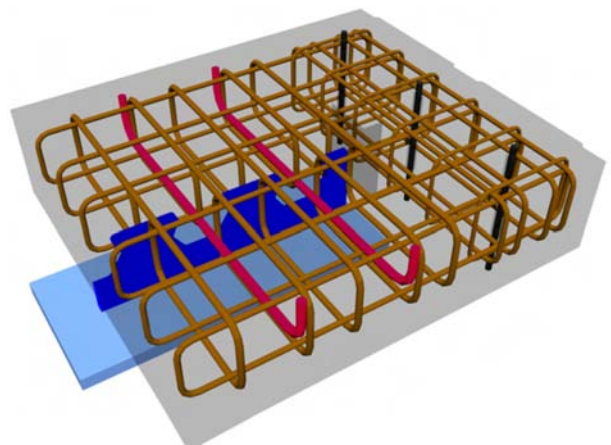


Abbildung 16: Bewehrungskorb mit Klötzchen (links), Anordnung um die Dübel (rechts) [30]

Für den Push-Out-Versuch ist die plan-parallele Ausrichtung der lastfernen Seite der Betonscheiben und der Kopfplatte entscheidend. Eine Verdrehung oder ein Niveauunterschied der beiden Platten hätte einen großen Einfluss auf die Aussagekraft der Messwerte, da bei

Belastung zuerst diese Fehlstellung durch Verformung sowohl des Probekörpers als auch am Prüfraum ausgeglichen würde. Diese genaue Ausrichtung wurde durch einen eigens verlegten Schalboden im Planum gewährleistet. Damit die Schalungen zügig errichtet werden konnten, wurden die benötigten Schalplatten, Staffeln, Holzklötzchen, etc. im Vorhinein zugeschnitten (siehe Abbildung 17).



Abbildung 17: Zuschnitt im Vorhinein

Danach erfolgte die Errichtung der Schalung für die Probekörper. Begonnen wurde mit dem Bau einer massiven Unterkonstruktion (siehe Abbildung 18, links), die den Stahlkörper tragen sollte. Somit konnte der Stahlträger eingehoben, positioniert und lotrecht ausgerichtet werden (siehe Abbildung 18, rechts).



Abbildung 18: Unterkonstruktion (links), Positionieren der Stahlträger (rechts)

Danach wurde die Schalung an den Gurten des Trägers hochgezogen und Ausnehmungen für die Kabeldurchführungen der DMS geschnitten (siehe Abbildung 19).



Abbildung 19: Ausschnitt für Verkabelung

Anschließend wurden diese Öffnungen zum Schutz der Verkabelung mit XPS ausgestopft und mit Gewebeklebeband überklebt (siehe Abbildung 20, links und rechts). Die Fugen um die Dübelleisten wurden mit Silikon abgedichtet.



Abbildung 20: Ausstopfen (links), Abkleben (rechts) des Ausschnitts

Nachdem die Seitenwände montiert waren und die gesamte Schalung mit Schalöl eingestrichen war, konnte der Bewehrungskorb eingesetzt werden (siehe Abbildung 21).



Abbildung 21: Einsetzen der Bewehrungskörbe

Die Gewindestangen zum Zusammenspannen der Schalung wurden eingeschoben und die PE-Hüllrohre darüber geschoben. Danach konnte die Schalung geschlossen und mit Hilfe von

Querbalken und den Gewindestangen zusammengespannt werden (siehe Abbildung 22). Die Öffnung unter dem Dübelblech wurde danach mit einem genau zugeschnittenen und mit einer Lage 1,0 mm-Blech verstärkten XPS-Pfropfen verschlossen (siehe Abbildung 22). Um ganz sicher zu gehen, wurde auch diese Fuge mit Silikon versiegelt.



Abbildung 22: Schließen der Schalung

Die Schalungen zum Betonieren der Würfel (siehe Abbildung 23, links) wurden vom Labor der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt (TVFA) zur Verfügung gestellt und mussten somit nicht eigens angefertigt werden. Die Schalung für die 6 Prismen zur Ermittlung des E-Moduls wurde aus Schaltafeln hergestellt (siehe Abbildung 23, rechts). Im Nachhinein stellte sich heraus, dass diese aufgrund der Größe und des sich daraus ergebenden Gewichtes nicht mehr bewegt werden konnte.

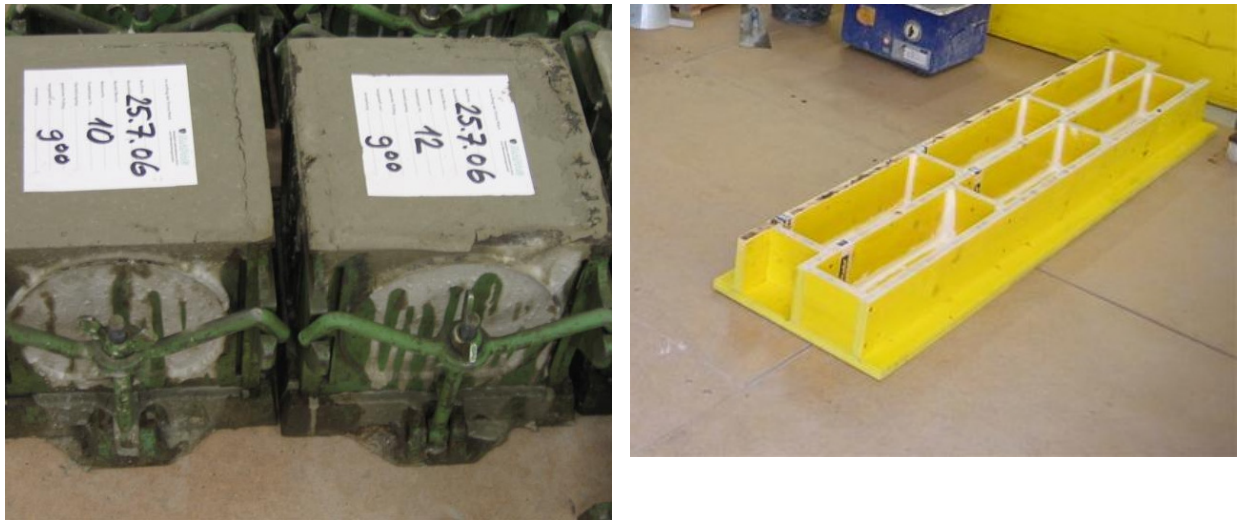


Abbildung 23: Würfel (links), Schalung für Prismen (rechts)

Vor dem Betonieren wurde der vordere Teil des Betonbaulabors der TU-Wien großflächig mit Folie abgeklebt. Jene Bereiche, die häufig begangen werden würden, waren mit Holzfaserverplatten geschützt (siehe Abbildung 24).



Abbildung 24: Abkleben des Fußbodens

Die für die Bestimmung des Ausbreitmaßes notwendigen Geräte, wie Ausbreittisch (siehe Abbildung 25, links) und Trichter, sowie die Schalungen und ein elektrischer Rütteltisch, zur Herstellung der Würfel und Prismen wurden bereit gestellt (siehe Abbildung 25, rechts).

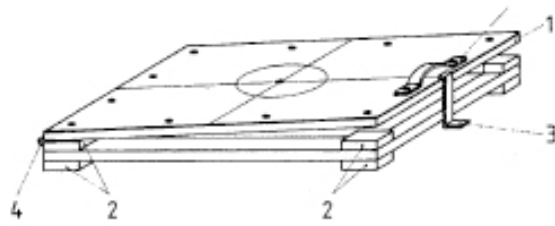


Abbildung 25: Ausbreittisch [29] (links), Vorbereitung zum Betonieren (rechts)

Ein direktes Befüllen der Schalungen aus dem Mischwagen war aufgrund der vorhandenen Kranbahn und der daraus resultierenden niedrigen Durchfahrtshöhe nicht möglich. Zum Befüllen wurde der Betonkübel per Kran in eine Montagegrube beim Hallentor abgesenkt und über eine Verlängerung der Rutsche des Mischwagens, wie in Abbildung 26 zu sehen ist, befüllt.



Abbildung 26: Befüllen des Betonkübels

Für die Prüfung des Konsistenzbereichs des Betons wurde das Ausbreitmaß mit Hilfe des Ausbreittisches (Abbildung 25, links und Abbildung 27) bestimmt. Die in Kapitel 2.3. angegebene Konsistenzklasse F52 wurde für den ersten Kübel erreicht. Um beim zweiten Kübel ebenfalls diese Konsistenzklasse zu erreichen, musste ein Verflüssiger beigemischt werden.



Abbildung 27: Bestimmung des Ausbreitmaßes

Danach wurden sieben der insgesamt 15 Würfelschalungen gemäß [18] mit Beton gefüllt und am Rütteltisch verdichtet (siehe Abbildung 28, links). Außerdem wurden die sechs Prismen betoniert. Mit Hilfe des Betonkübels am Kran, der direkt vom Mischwagen gefüllt werden konnte, wurden die Schalungen der Probekörper schichtweise gefüllt und mit insgesamt zwei Rüttelflaschen verdichtet (siehe Abbildung 28, rechts).



Abbildung 28: Verdichtung am Rütteltisch (links), Verdichten mit der Rüttelflasche (rechts)

Danach wurden die restlichen 8 Würfelschalungen gefüllt. Zum Schluss wurden die Probekörper, Würfel und Prismen mit Uhrzeit und Datum zur Nachvollziehbarkeit beschriftet (siehe Abbildung 29, links).



Abbildung 29: Beschriften der Würfel (links), Abdecken der Push-Out-Versuchskörper (rechts)

Neben der richtigen Zusammensetzung und einer vollständigen Verdichtung ist die Nachbehandlung eine der wichtigsten Maßnahmen, um die geforderte Betonqualität auch tatsächlich zu erreichen. „Junger“ Beton muss während der ersten Zeit des Erhärtens vor schädigenden Einflüssen geschützt werden, wie z.B. Erschütterungen, starker Regen, strömendes Wasser, chemischer Angriff, Frosteinwirkung, insbesondere aber vor zu schnellem Austrocknen. Hohe Temperaturen, Sonneneinstrahlung sowie Wind entziehen dem Beton an der Oberfläche zusätzlich Wasser. Gegenmaßnahmen sind beispielsweise ein längeres Belassen des Betons in der Schalung, das Abdecken mit Kunststoff-Folien das Aufbringen feuchter Abdeckungen, Besprühen mit Wasser oder das Auftragen von schutzfilmbildenden Nachbehandlungsmitteln.

Die Nachbehandlung der Probekörper, Würfel und Prismen erfolgte nach den Vorschriften der ÖNORM B 3303 [18] und ÖNORM B4710-1 [17] durch Besprühen mit Wasser und anschließendem Abdecken mit Folien (siehe Abbildung 29, rechts). Diese Maßnahme wurde während der Aushärtung mehrmals wiederholt und gewährleisteten somit die geforderte Betonqualität. Nach der Mindestaushärtezeit gemäß [17] begann das Ausschalen. Die Würfel ließen sich sehr unkompliziert aus ihrer Schalung befreien. Bei den Prismen gestaltete sich das Ausschalen aufgrund des hohen Gewichtes und der Unzugänglichkeit der Verschraubung etwas schwieriger.

Das Ausschalen der Probekörper war zeit- und kraftaufwendiger als angenommen. Trotz aller Vorkehrungen konnte der Beton in einige PE-Hüllrohre eindringen und daher war das Herausziehen der Gewindestangen schwieriger. Danach ließ sich die Schalung relativ einfach demontieren. Einzig bei der Schalungsrückwand kam es bei einigen Probekörpern vor, dass sie zwischen dem Trägerflansch und der Betonplatte eingeklemmt war (siehe Abbildung 30).



Abbildung 30: Ausschalen der Probekörper

Nach dem Ausschalen konnte damit begonnen werden, adaptierte Halterungen aus der ersten Serie für die Messtechnik - in diesem Fall induktive Wegaufnehmer - zu montieren. Dazu mussten an den Prüfkörpern entsprechende Halterungen angebracht werden. Aus wirtschaftlichen Gründen war nur ein Satz an Halterungen – bestehend aus vier Teilen –

vorhanden. Dieser musste daher so konzipiert sein, dass die unterschiedlichen Probekörpergeometrien kein Problem darstellten. Um die Abhebung der Betonplatten messtechnisch erfassen zu können, wurden an der Stirnseite der Betonplatten in Besenklammern die Wegaufnehmer angebracht, die direkt an den Flansch stießen (siehe Abbildung 31, links). Die Wegaufnehmer zur Messung der Längsverschiebung der Betonplatten wurden an der Seite des Trägerflansches montiert (siehe Abbildung 31, rechts).



Abbildung 31: Anbringen der Wegaufnehmer für Abheben (links), für Längsverschiebung (rechts)

Als Gegenstück für den Messfühler diente ein Stahlblech, welches an die Halterung der Abhebewegaufnehmer geschweißt wurde (siehe Abbildung 32).

In vorhergegangenen Versuchen am Institut hat sich gezeigt, dass vor allem der An- und Abbau der Verkabelung beim Wechsel der Probekörper im großen Prüfraumen sehr viel Zeit in Anspruch nahm. Deshalb wurde bei dieser Versuchsreihe ein Art Verteiler, bestehend aus einem Stück Schalttafel und Blockklemmen mit einseitiger Steckfixierung, direkt am Probekörper montiert. Somit mussten lediglich die Kabel der DMS ein- bzw. ausgesteckt werden (siehe Abbildung 33, links). Um die Wegmessung nicht zu behindern wurde das Klemmbrett direkt an den Steg des Stahlträgers geschraubt (siehe Abbildung 33, rechts).

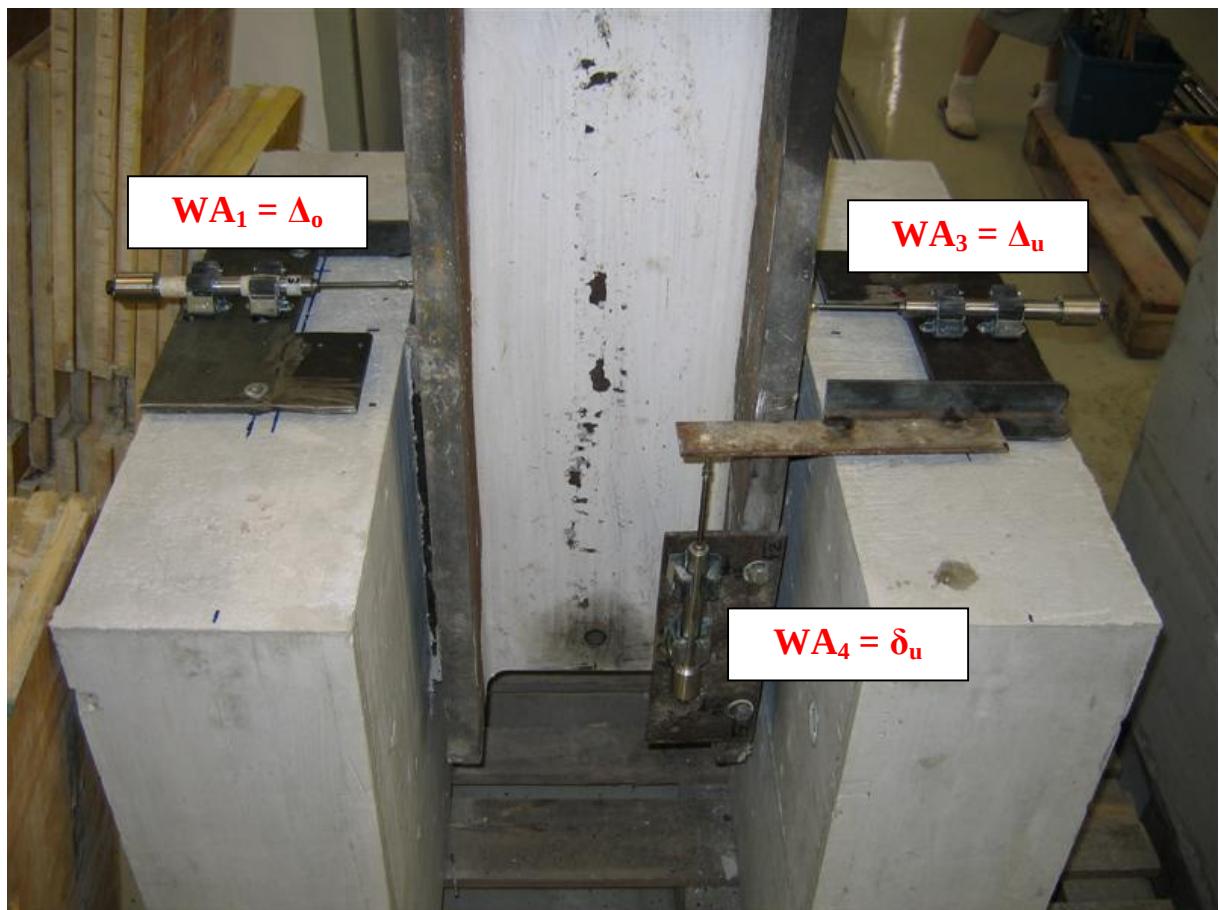


Abbildung 32: Anordnung der Wegaufnehmer



Abbildung 33: Kabelklemmbrett (links), Montage der Halterungen für die Messtechnik (rechts)

Der große Prüfraum musste an die Abmessungen entsprechend der Probekörperlänge angepasst werden. Durch Anordnen der unterschiedlich langen Zwischenstücke (siehe Abbildung 35, links) wurde eine passende Position der Gegenplatte erreicht (siehe Abbildung 35, rechts). Einerseits war ein zügiges Einheben der Push-Out-Versuchskörper zwischen die Druckplatten möglich und andererseits blieben noch genügend Reserven im Spielraum der Hydraulikzylinder.



Abbildung 34: Zwischenstücke (links), fixe und bewegliche Druckplatte (rechts)

Die Push-Out-Versuchskörper wurden aus der vertikalen Lagerposition mit Hilfe des Hallenkran in eine horizontale Lage gebracht. Am unteren Ende wurden die Betonplatten mit Gewindestangen und Muttern verbunden, um ein eventuelles Versagen und damit verbundenes Herabstürzen der unteren Betonplatte während und nach der Prüfung beim Ausheben zu verhindern. Die Probekörper wurden an Bandschlingen hängend mit dem Kran zwischen die Druckplatten eingehoben (siehe Abbildung 35).



Abbildung 35: Einhaben der Push-Out-Versuchskörper

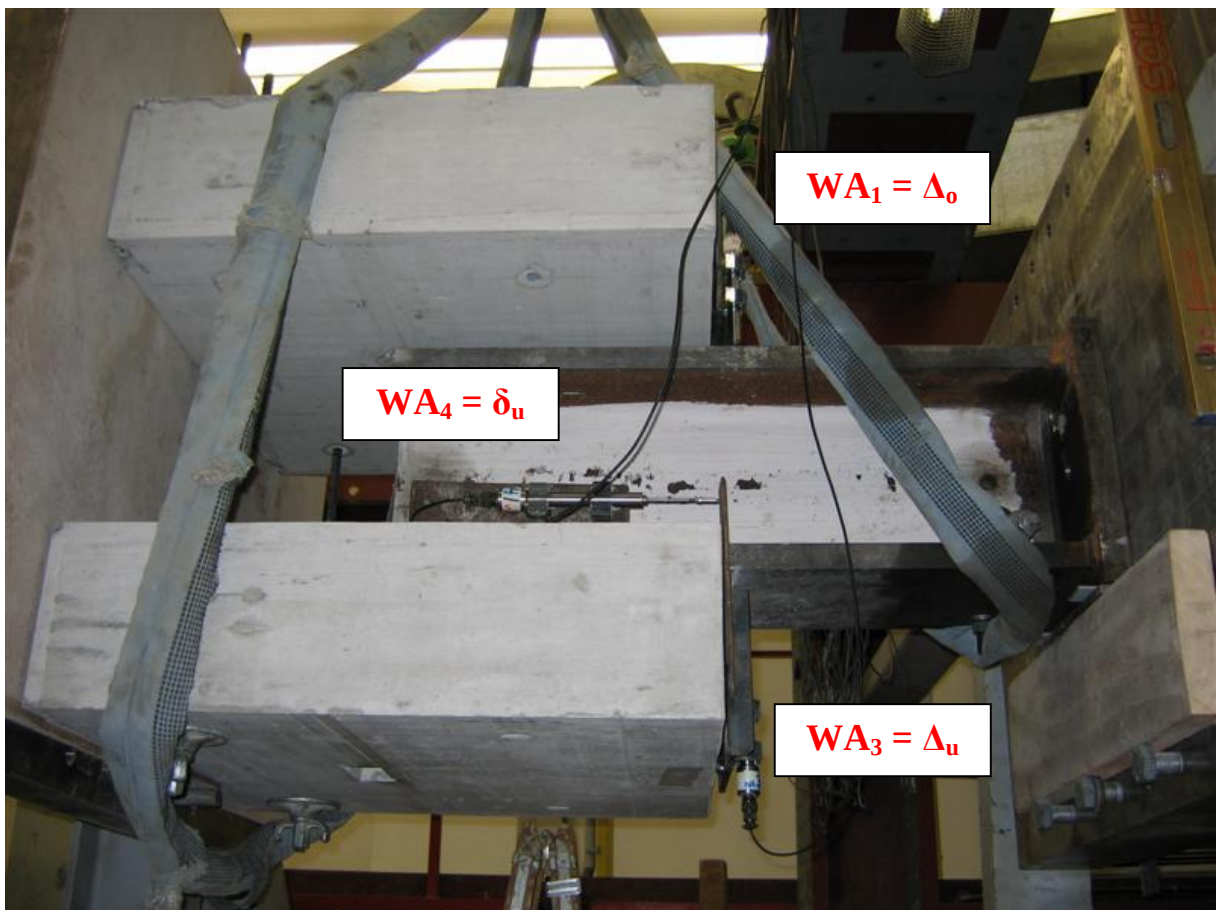


Abbildung 36: Anordnung der Wegaufnehmer

Mit Stahlblechen als Unterlage wurden die Push-Out-Versuchskörper genau ausgerichtet. Das bedeutet, dass sowohl die Kopfplatte des Stahlträgers als auch die Unterseiten der Betonplatten parallel zu den Druckplatten waren. Nun konnte die Druckplatte auf der Seite der Zylinder bis an die Kopfplatte des Stahlträgers herangefahren werden (siehe Abbildung 37)



Abbildung 37: Einbausituation der Probekörper im großen Prüfraum

Zuerst wurde die Schalttafel mit den bereits verkabelten Blockklemmen mittels zweier Muttern und Unterlegscheiben montiert. Dann wurden die Leitungen von den DMS durchgemessen und bei erfolgreichem Test auf der Klemmseite der Blockklemmen angeschlossen. Einige DMS lieferten springende Werte, die über eine Stellschraube am Widerstand größtenteils korrigiert werden konnten. Leider lieferten einige DMS trotz intensiver Fehlersuche überhaupt keine Werte.

Die induktiven Wegaufnehmer wurden in die Besenklemmen eingesteckt, ausgerichtet und verkabelt. Dieses System war, im Gegensatz zur DMS Messkette, völlig unproblematisch und

lieferte auf Antrieb fehlerfreie Messwerte. Die vertikalen Wegaufnehmer (siehe Abbildung 38, links) WA1 und WA3 waren so angeordnet, dass sie eine mögliche Abhebung der Betonplatten messen konnten. Die horizontalen Wegaufnehmer (siehe Abbildung 38, rechts) WA2 und WA4 waren so angeordnet, dass sie die Relativverschiebung zwischen dem Stahlprofil und den Betonplatten messtechnisch erfassen konnten.



Abbildung 38: vertikale Wegaufnehmer (links), horizontale Wegaufnehmer (rechts)

Würfelprüfung

Die erste Hälfte der Würfel wurde am 28.8.2006, vor Beginn der Prüfung der Probekörper, im Labor der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt (TVFA) mit einer Hydraulischen Druckprüfmaschine abgedrückt. Für die zweite Hälfte erfolgte der Test am 6.9.2006, nach Abschluss aller Probekörperprüfungen (siehe Abbildung 39). Die Herstellung, Lagerung und Prüfung erfolgten gemäß ÖNORM B 3303 [18].

Bei den Prüfkörpern handelte es sich um Würfel mit einer Seitenlänge von 150mm. Ziel der Würfelprüfung war die Ermittlung der Betondruckfestigkeit. Die Prüfwerte und die Auswertung sind im Kapitel 2.3. angegeben.



Abbildung 39: Würfelprüfung in der TVFA

Prismenprüfung

Die Ermittlung des statischen Elastizitäts-Moduls wurde mit der hydraulischen Maschine der Firma Schenk nach ÖNORM B 3303 [18] durchgeführt. Um die benötigte Längenänderung der Prismen aufzeichnen zu können, war auch hier eine Montage der Messtechnik notwendig. Zum Einsatz kamen pro Seite je zwei induktive Wegaufnehmer, die an einer selbstkonstruierten Halterung mittels Besenklemmen befestigt waren. Als Gegenstück dienen Aluminiumwinkel, die in Abstand von jeweils 30cm mittig am Prisma angeklebt wurden ((siehe Abbildung 40, unten). Die Steuerung der hydraulischen Prüfmaschine der Firma Schenk erfolgte mittels einer an der TU selbstprogrammierten Steuer- und Regulationsanlage (siehe Abbildung 40, oben).



Abbildung 40: Prismenprüfung (oben) und Anordnung der Wegaufnehmer (unten)

Push-Out-Versuchskörperprüfung

Die Versuchssteuerung erfolgte gemäß dem in der ÖNORM EN 1994-1-1, Anhang B2 [14], festgelegten Ablauf (siehe Abbildung 41). Die Vorbelastung setzt sich aus einer Stabilisierungsphase und mehreren Lastwechseln bei 40% der erwarteten Maximallast zusammen. In diesem Zeitraum kam es bei keinem einzigen Probekörper zu erkennbaren Schadensbildern. Nach nochmaligem Nulldurchgang startete der eigentliche weggesteuerte Versuchsablauf. Ab 60% der erwarteten Maximallast und bei jedem weiteren 10% Schritt

wurden Haltepunkte mit einer Pause angeordnet. In diesen Pausen wurden die auftretenden Risse sowohl in der oberen als auch in den unteren Betonplatten farblich gekennzeichnet und mit dem zugehörigen Prozentsatz beschriftet. Etwaige Besonderheiten bzw. Ereignisse wurden zusätzlich schriftlich als auch fotografisch dokumentiert.

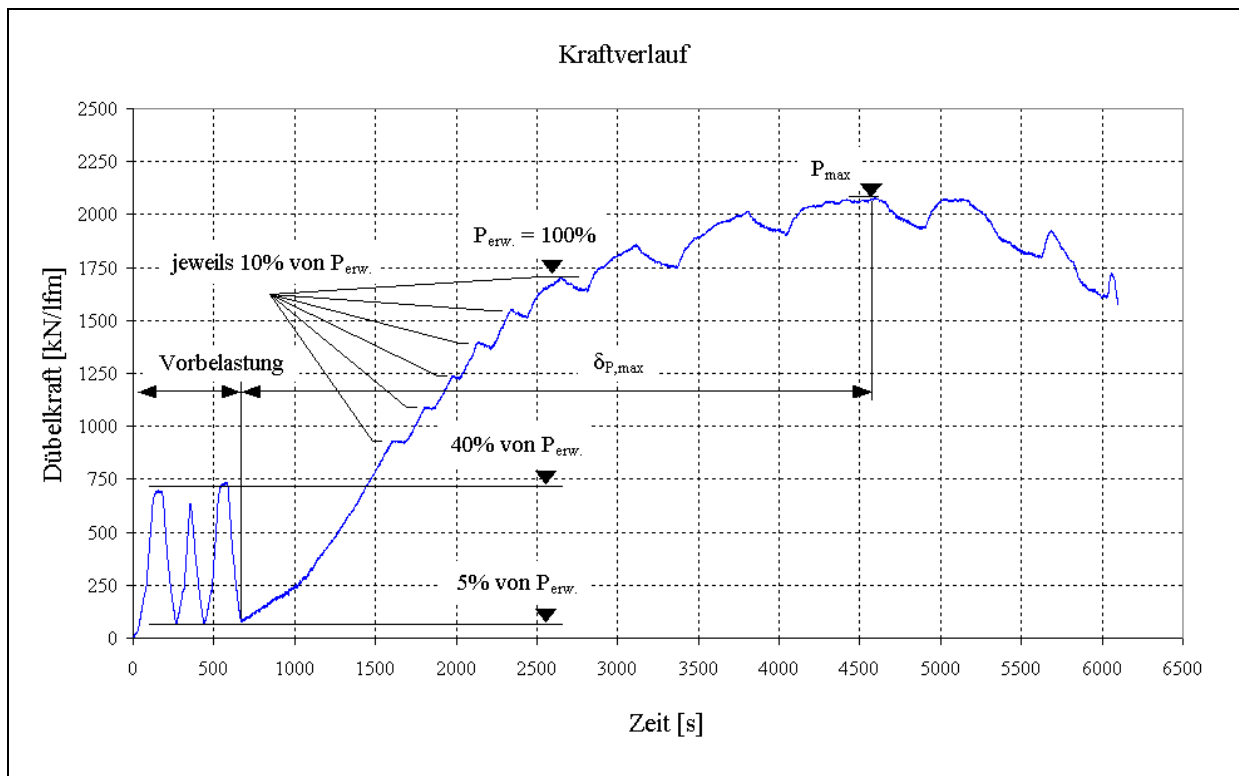


Abbildung 41: Vorgegebene Arbeitslinie der Push-Out-Versuche

Nach Erreichen der Maximallast, die in allen Fällen eindeutig über der erwarteten Maximallast lag, wurde der Versuch nach ausreichend erkennbarem Absinken der Kurve im Kraft-Weg-Diagramm beendet. Nach Ausbau der Messtechnik wurden die Probekörper vorsichtig ausgehoben und wieder in vertikale Position gebracht. Die Messwerte vom Prüfrahmen, den DMS und den induktiven Wegaufnehmern wurden sowohl im Originalformat als auch in Microsoft Excel gespeichert.

Da das Fotografieren der Betonplatten während des Versuchs nur aus schrägem Winkel möglich war, wurden die Probekörper nach dem Versuchende in ausgebautem Zustand aus allen möglichen Winkeln abfotografiert. Diese Fotos bilden die Grundlage für die grafische Darstellung der Rissentwicklung im Anhang dieser Diplomarbeit.

Um sich ein Bild von den Vorgängen im Nahbereich der Dübelleiste machen zu können, wurden die geschädigten Teile der Betonplatte mit einem Stemmhammer entfernt. Das war

allerdings nur bei den Probekörpern möglich, deren Betonplatten bereits eine starke Schädigung aufwiesen. Bei den Probekörpern mit fast vollkommen intakten Betonplatten wäre ein Zerlegen nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand und anderem Gerät möglich gewesen.

Alle freigelegten Dübelleisten wurden abgezeichnet und dann mit den vor Versuchsbeginn erstellten Zeichnungen verglichen. Diese Zeichnungen bildeten die Grundlage für die grafische Auswertung im Anhang zu dieser Diplomarbeit.

2.2. Push-Out-Versuchskörper

Insgesamt wurden 7 Push-Out-Versuchskörper hergestellt, die sich nach Abbildung 42 in die beiden Hauptgruppen v2_A und v2_B aufteilen. Bei dieser Bezeichnung wird v2 als Abkürzung für die Push-Out-Versuchskörper verwendet. Die Großbuchstabe A und B stehen für den Typ des Dübelzahnes, wobei A für die Puzzleform und B für die Kronenform steht. Diese beiden Hauptgruppen A und B zeichnen sich durch jeweils artgleiche Schnittführung der Lasteintragungsfläche des Stahldübels aus, wobei allerdings die ebenfalls in Abbildung 42 dargestellten Dübelparameter a – c variiert wurden. Diese Kleinbuchstaben stehen für die Länge des Dübels. Die Bezeichnung 1 und 2 wird für die unterschiedlichen Varianten verwendet beispielsweise voll, gelocht oder geschlitzt. Zusätzlich wurden für alle Stahldübel große Ausrundungsradien gewählt, um eine ungünstige Kerbwirkung unter Betriebslast zu vermeiden.

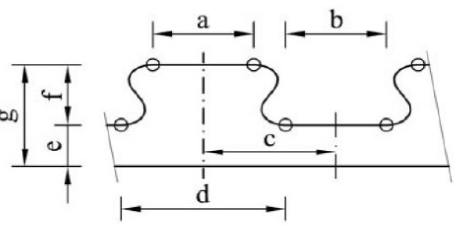
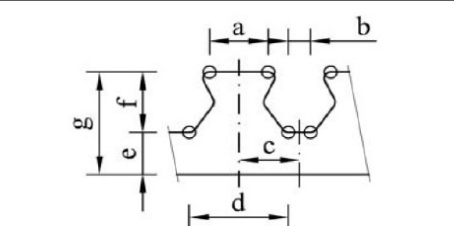
Dübelgeometrie	Versuchskörper-ID	a	b	c	d	e	f	g
		Alle Maße in [mm]						
	v2_A_a.1	156		205	254	70	100	170
	v2_A_a.2							
	v2_A_b.2	120		169	218			
	v2_A_c.1	80		129	178			
	v2_B_a.1	90	34	93	152	70	100	170
	v2_B_b.1	120	64	123	182			
	v2_B_c.1	90	0	93	186			

Abbildung 42: Übersicht und geometrische Angaben zu den 7 getesteten Dübelblechen [30]

Die generelle Stahldübelgeometrie der Gruppe v2_A war schon Bestandteil einer experimentellen Untersuchung an der Universität der Bundeswehr in München und zeigte mit positiven Ergebnissen hinsichtlich der Tragfähigkeit, der Duktilität und der Ermüdung auf, die zum Einbau dieses Dübels in der Verbundbrücke Pöcking (D) führten [10]. Dies waren Gründe dafür, im Rahmen der hier vorgestellten Versuchsserie Standardabscherversuche (Push-Out-Versuche) auch mit dieser Dübelgeometrie durchzuführen, allerdings mit variierenden Abmessungen. Die Stahldübel der Versuchskörper v2_A_a.2 bzw. v2_A_b.2 wurden zusätzlich mit Schlitzten bzw. mit einer Ausnehmung nach Abbildung 43 adaptiert. Die Dübelgeometrie der Gruppe v2_B ist eine neue Formgebung für den Schubverbinder, die am Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau entwickelt und bereits getestet wurde.

Anhand dieser drei Standardabscherversuche mit ebenfalls variierenden Abmessungen wurde die Eignung als Schubverbinder mit den damit verbundenen Anforderungen experimentell ermittelt.



Abbildung 43: Adaptierung der Stahldübel v2_A_a.2 (links) [30] und v2_A_b.2 (rechts) [30]

Die in Kapitel 1.2 gestellte Anforderung an die Minimierung des Materialverbrauchs bei der Herstellung der Dübelbleche wurde durch die gewählten Ausnehmungsgeometrien berücksichtigt. Die in Abbildung 44 dargestellten Schnittführungen erlauben ein einfaches Herstellen von zwei Dübelblechen mittels Brennschneiden aus einer 20 mm starken Blechtafel.

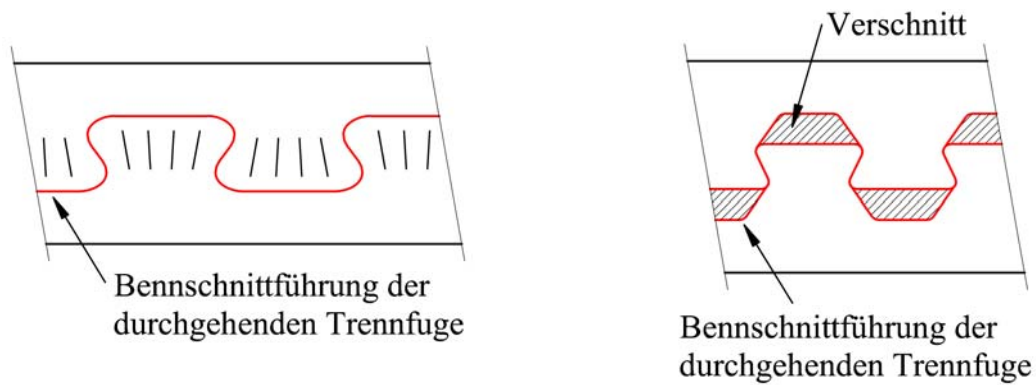


Abbildung 44: Schnittführung zur Herstellung der Dübelbleche v2_A_b.2 (links) [30] und v2_B_b.1 (rechts) [30]

Diese beiden Stahldübelleisten wurden mit einer rundum laufenden Schweißnaht hochkant auf einen Stahlträger, für welchen im Zuge dieser experimentellen Untersuchung ein HE 300 M gewählt wurde, aufgeschweißt (Abbildung 45, links.). Zum optimalen Einleiten der Druckkraft in den Stahlträger bei der Durchführung des Push-Out-Versuchs wurde am lastnahen Ende der Stahlträger eine Kopfplatte, ebenfalls mit einer rundum laufenden Schweißnaht, aufgeschweißt (Abbildung 45, links.).



Abbildung 45: Montage der Stahldübelleisten und der Kopfplatte auf dem HE 300 M (links) und Zusammenstellung der Bewehrungselemente (rechts) für Versuchskörper v2_A_b.2

Eine Übersicht über die zur experimentellen Untersuchung verwendeten Stahlbauelemente ist in Abbildung 46 detailliert dargestellt.

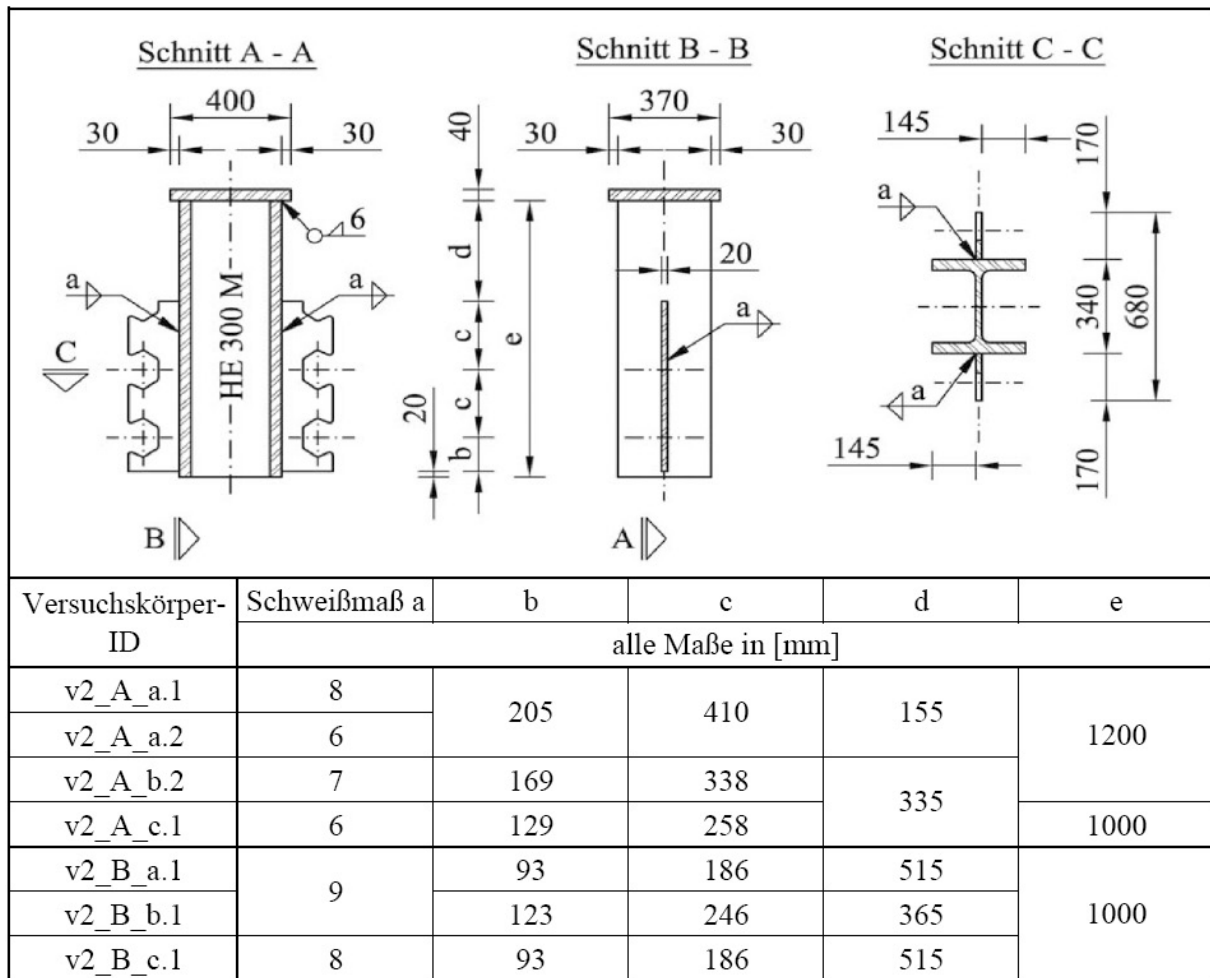


Abbildung 46: Übersicht und geometrische Angaben zu den 8 getesteten Stahlbauelementen [30]

Die Prüfkörper für die Push-Out-Versuche wurden gemäß den Angaben von [14] unter Berücksichtigung der speziellen Erfordernisse für die Dübelbleche hergestellt. Herstellungstechnisch bedingte Gründe führten dazu, dass entgegen den Vorgaben von [14] die beiden Betonplatten in vertikaler Lage betoniert wurden (Abbildung 47). Einer der Hauptgründe für das Betonieren in vertikaler Lage, war die Notwendigkeit einer planparallelen Auflagefläche für die korrekte Positionierung im Prüfraumen. Diese Vorgangsweise erforderte eine wesentlich aufwändigere Schalungskonstruktion, als beim Betonieren in horizontaler Lage notwendig gewesen wäre (Abbildung 47). Eine Übersicht über die zur experimentellen Untersuchung verwendeten Push-Out-Versuchskörper ist in Abbildung 48 dargestellt.



Abbildung 47: Aufbau der Schalung (links und rechts)

Ein Einfetten der Verbundfuge war nicht notwendig, da die beiden Betonplatten bewusst mit einem Abstand von 4,0 cm von den jeweiligen Stahlgurten betoniert wurden. Dieser wurde angeordnet, um einen positiven Einfluss auf die Wirkungsweise des Schubverbinders durch eine rückstellende Kraft, verursacht durch Abstützung am Stahlgurt, zu vermeiden. Bei der Anwendung des Schubverbinders in Kombination mit einem Stahlgurt existiert zumindest einseitig keine Unterstützung durch den Stahlflansch, wenn der Stahlgurt als geschweißtes Hohlprofil ausgebildet ist und die Verlängerung der beiden Stegbleche in den Beton das Dübelblech darstellt.

Weiters ist nur dadurch eine Beobachtung des schollenartigen Ausbruchs des Betons in Richtung der freien Oberfläche des Betons möglich, wie in [6] als eine der maßgebenden Versagensformen beschrieben.

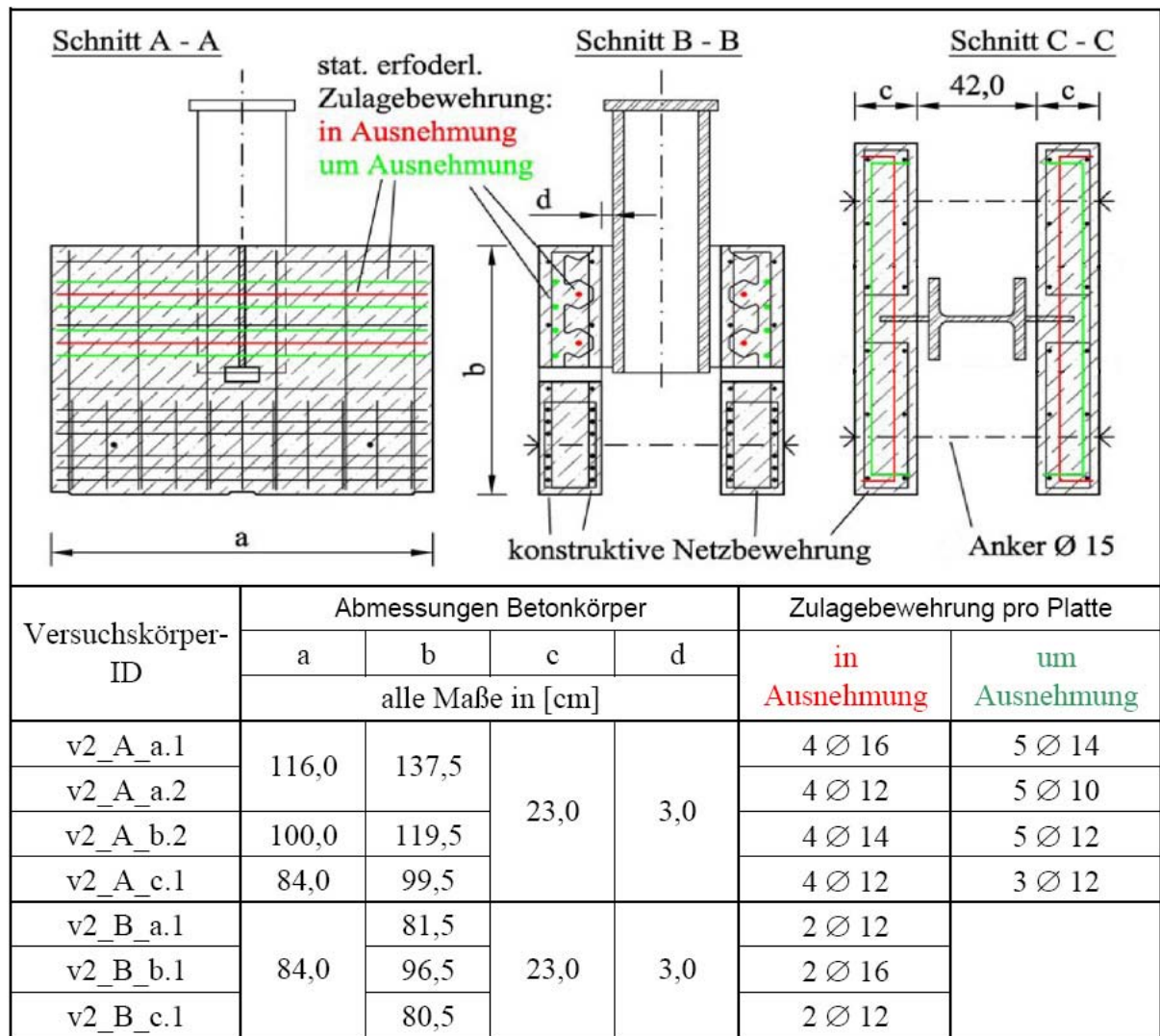


Abbildung 48: Übersicht und geometrische Angaben zu den 7 getesteten Prüfkörpern [30]

Da das Ziel der experimentellen Untersuchung das Herausfiltern der jeweiligen Dübeleigenschaften unter gleich bleibenden Bedingungen war, wurde für alle Versuchskörper die gleiche Betonfestigkeit und Bewehrungsstahlgüte verwendet.

Die in Abbildung 48 schwarz dargestellte Bewehrung entsprach der in [14] angegebenen Mindestbewehrung. Im Bereich der Dübelleisten wurde diese an die geometrischen Randbedingungen der einzelnen Push-Out-Versuchskörper angepasst und war somit nicht als durchgängige konstruktive Netzbewehrung ausgeführt. Die Lastabtragung entspricht sowohl in der Ebene der Betonplatten als auch senkrecht dazu einem Sprengwerk (Abbildung 49), wodurch im Auflagerbereich Horizontalkräfte entstehen. Aus diesem Grund wurde im unteren Bereich der Betonplatten eine statisch erforderliche Zulagenbewehrung angeordnet. (Abbildung 48)

Die im rechten Winkel dazu auftretenden Zugbandkräfte wurden jeweils durch 2 zusätzlich angeordnete Ankerstangen aufgenommen (Abbildung 48). Am lastfernen Ende der Stahldübelnleiste wurde in beiden Betonplatten eine Aussparung angeordnet, um den Stahldübeln an deren Stirnflächen keinen Widerstand entgegenzustellen (Abbildung 48). Die Höhe der Aussparung beträgt bei allen Push-Out-Versuchskörpern 5 cm. In keinem Push-Out-Versuch erreichte die Stahldübelnleiste das Ende der Öffnung, somit kann ein Einfluss auf die Ergebnisse wie geplant ausgeschlossen werden.

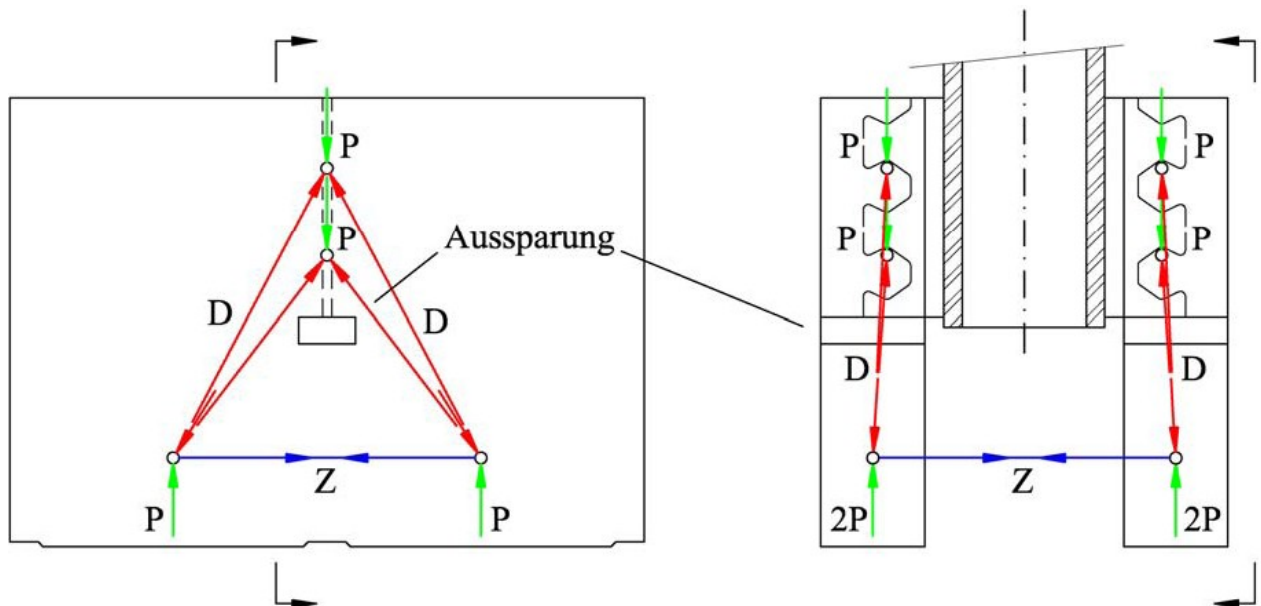


Abbildung 49: Lastabtragungsmodell für den Push-Out-Versuchskörper [30]

Die Push-Out-Versuchskörper wurden mit Hilfe eines ersten Lastmodells konstruktiv durchgebildet. Die so ermittelte statisch erforderliche Zulagebewehrung in der Ausnehmung bzw. um die Ausnehmung ist ebenfalls in Abbildung 48 (rot bzw. grün) dargestellt.

2.3. Werkstoffkennwerte

Alle Versuchskörper (v2_A_a.1, v2_A_a.2, v2_A_b.2, v2_A_c.1, v2_B_a.1, v2_B_b.1 und v2_B_c.1) wurden am 25.07.2006 betoniert. Dies wurde mit einem Lieferbeton mit der Festigkeitsklasse C 40/50, einem Größtkorn $\varnothing$ 16 mm und einer Konsistenzklasse F52 durchgeführt. Die Betonsortenkurzbezeichnung lautete nach [17] BS1A. Für den Zement wurde ein CEM II / A-S 42,5 R verwendet.

Die Baustoffkennwerte und Stahlgüte für den Baustahl und für den Bewehrungsstahl sowie auch die verwendete Stahlgüte des HE-M 300 Stahlträgers sind in Tabelle 2 aufgelistet. Die Kennwerte des Baustahls für das Dübelblech wurden von der Qualitätsstelle der Voestalpine Grobblech GmbH ermittelt. Für den Bewehrungsstahl BST 550 werden die Festigkeitswerte laut [19] in Tabelle 2 angeführt.

Baustahl S235 J2 G3			Bewehrungsstahl BST 550			HE-M 300
R_{eh}	$R_{p0,2}$	R_m	$f_{y,min}$	$f_{u,min}$	E-Modul	Güte
[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
363	344	509	550	620	206	S235 JR G2

Tabelle 2: Kennwerte für Baustahl, Bewehrungsstahl und Stahlträger HE-M 300

Zur Ermittlung der Betondruckfestigkeit $f_{cm,zyl}(t)$ standen 15 Würfel (Nr.1 – Nr.15) wie in Abbildung 50 veranschaulicht, mit einer Kantenlänge von 150 mm zur Verfügung. Der Beton wurde während des Betonierens der Gurtplatten aus der gleichen Betoncharge übernommen.



Abbildung 50: Würfel zur Ermittlung der Materialkennung des Betons

Die Lagerung erfolgte gemäß den Bedingungen nach [18]. Die Durchführung der Versuche erfolgte mit der hydraulischen Druckprüfmaschine B16N004 im Labor der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt (TVFA) zur Hälfte am 28.8.2006 (34 Tage nach deren Herstellung) und zur Hälfte am 6.9.2006 (43 Tage nach deren Herstellung und nach Beendigung aller Push-Out-Versuche). Die durch das Abdrücken der Würfel erhaltenen Festigkeitswerte $\beta_{WN(150mm),i}$ stellen nach [30] den Grundwert zur Bestimmung aller erforderlichen Materialkennwerte dar. Da der Nachweis der Festigkeitsklasse an Würfeln mit 150 mm Kantenlänge erfolgte, müssen die Versuchswerte gemäß [17] mit dem Faktor 0,92 multipliziert werden, nur so können diese mit den für die Würfelfestigkeit geforderten Anforderungen an die Festigkeitswerte verglichen werden.

Betonfestigkeitsklasse A			Betonfestigkeitsklasse B	
$f_{cm,cube-A}$	[ÖN B 4710, Tab. NAD 12]	$f_{cm,cube}$	$f_{cm,cube-B}$	[ÖN B 4710, Tab. NAD 12]
$f_{cm,zyl-A}$	[EC 2-1-1, Tab. 3.1]	$f_{cm,zyl}$	$f_{cm,zyl-B}$	[EC 2-1-1, Tab. 3.1]

Eingangswert
Zielwert

Abbildung 51: Ermittlung von $f_{cm,zyl}$ [30]

Für Normalbeton bis C 55/67 gilt:

$$f_{c,cube,i} = 0,92 \cdot \beta_{WN(150mm),i} \quad \text{Gleichung 1}$$

Durch Mittelwertbildung aller Würfeldruckfestigkeiten $f_{c,cube,i}$ des Betons einer Serie erhält man die mittlere Würfeldruckfestigkeit $f_{cm,cube}(t)$ für den jeweiligen Prüftag. Die Prüfungen erfolgten zwischen dem 35 und 41 Tag. Den Angaben von [31] bzw. [32] entsprechend, darf der zeitliche Verlauf der Druckfestigkeit mit [Gleichung 2] berechnet werden. Für weiterführende Berechnungsschritte wird demnach die mittlere Würfeldruckfestigkeit $f_{cm,cube}$ für ein Alter von 28 Tagen bestimmt.

$$f_{cm,cube} = \frac{f_{cm,cube}(t)}{\beta_{cc}(t)} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left[s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28d}{t}} \right) \right]$$

Gleichung 3

Mit dem aus [31] entnommenen Wert s , wird die verwendete Zementart berücksichtigt. Durch Rückrechnen aus dem Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit $f_{cm,cube}$ erhält man den Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm,zyl}$. Die Vorgehensweise dazu zeigt gemäß [30] Abbildung 51. Die Werte der beiden Betonfestigkeitsklassen, zwischen denen linear interpoliert wird, sind der Tab. NAD 12 in [17] bzw. in Tab. 3.1 in [31] entnommen.

$$f_{cm,zyl} = f_{cm,zyl-A} + \frac{(f_{cm,zyl-B} - f_{cm,zyl-A}) \cdot (f_{cm,cube} - f_{cm,cube-A})}{(f_{cm,cube-B} - f_{cm,cube-A})}$$

Gleichung 4

Die Zusammenstellung der Druckfestigkeiten, die mit den Würfelprüfungen für den Beton der Serie II ermittelt wurden, sind zusammen mit den nach Gleichung 1 bis Gleichung 4 berechneten Werten in Tabelle 3 dargestellt.

Betonalter	Zement	$\beta_{WN(150mm),i}$	$f_{c,cube,i}$	$f_{cm,cube}(t)$	$\beta_{cc}(t)$	$f_{cm,cube}$	$f_{cm,zyl}$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
34 Tage	CEM42,5R s = 0,2	65,3	60,1	60,5	1,02	60,3	49,9
		65,1	59,9				
		63,8	58,7				
		66,7	61,3				
		67,3	61,9				
		66,2	60,9				
43 Tage		69,3	63,8	63,6	1,04		
		71,7	66,0				
		70,3	64,7				
		67,4	62,0				
		68,8	63,3				
		67,1	61,7				

Tabelle 3: Druckfestigkeiten aus den Würfelprüfungen

Mit der analytischen Beziehung Gleichung 5 wird gemäß [31] und [32] für $f_{cm,zyl}$ die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit ermittelt.

$$f_{ck,zyl} = f_{cm,zyl} - 8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Gleichung 5}$$

Somit sind alle erforderlichen Werte bestimmt, um ausgehend von einer 28-Tage-Festigkeit die Festigkeitswerte für jene Tage bestimmen zu können, an dem die jeweiligen Push-Out-Versuche durchgeführt wurden. Dies sind die mittlere Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm,zyl}(t)$, der E-Modul $E_{cm}(t)$ und die mittlere Zugfestigkeit $f_{ctm,zyl}(t)$.

Versuchskörper-ID	Betonalter beim Versuch	$f_{cm,zyl}(t)$	$E_{cm}(t)$	$E_{cm,exp}(t)$	$f_{ck,zyl}$	$f_{ctm,zyl}(t)$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
v2_A_a.1 (PK1)	38	51,3	35936	36599	41,9	3,71
v2_A_a.2 (PK5)	38	51,3	35936			3,71
v2_A_b.2 (PK 4)	41	51,7	36005			3,72
v2_A_c.1 (PK 3)	37	51,2	35911			3,70
v2_B_a.1 (PK 6)	36	51,1	35885			3,70
v2_B_b.1 (PK 7)	36	51,1	35885			3,70
v2_B_c.1 (PK 8)	35	51,0	35858			3,69

Tabelle 4: Zusammenfassung der Betonkennwerte

Die jeweils erforderlichen analytischen Beziehungen sind [31] und [32] entnommen und nachfolgend angeführt:

$$f_{cm,zyl}(t) = f_{cm,zyl} \cdot \beta_{cc}(t) \quad \text{Gleichung 6}$$

$$E_{cm}(t) = 1,22 \cdot \left(\frac{f_{cm,zyl}}{10} \right)^{0,3} \quad \text{Gleichung 7}$$

$$f_{ctm,zyl}(t) = 1,40 \cdot \left(\frac{f_{ck,zyl}}{10} \right)^{2/3} \cdot [\beta_{cc}(t)]^\alpha \quad \text{Gleichung 8}$$

Die errechneten mittleren Materialkennwerte sind für alle Versuchskörper zum Zeitpunkt des jeweils durchgeführten Push-Out-Versuchs in Tabelle 4 zusammengestellt.

Zur Ermittlung der Werte des statischen E-Moduls standen 6 Prismen mit den Abmessungen von 150 x 150 x 600 mm zur Verfügung. Der Beton wurde während des Betonierens der Gurtplatten aus der gleichen Betoncharge übernommen. Die Lagerung erfolgte gemäß den Bedingungen nach [18]. Die Bestimmung von $E_{cm,exp}(t)$ erfolgte selbstständig im Labor für Bauteilversuche des Instituts für Tragkonstruktionen.

Der statische E-Modul ist nach [18] als Quotient der Spannungsdifferenz und der Dehnungsdifferenz zwischen einer Vorlast $\sigma_b = 0,1 \cdot \sigma_a$ und einer Oberlast von σ_a entsprechend einem Drittel der voraussichtlichen Probendruckfestigkeit nach 3 Vorbelastungszyklen zu bestimmen (Abbildung 52).

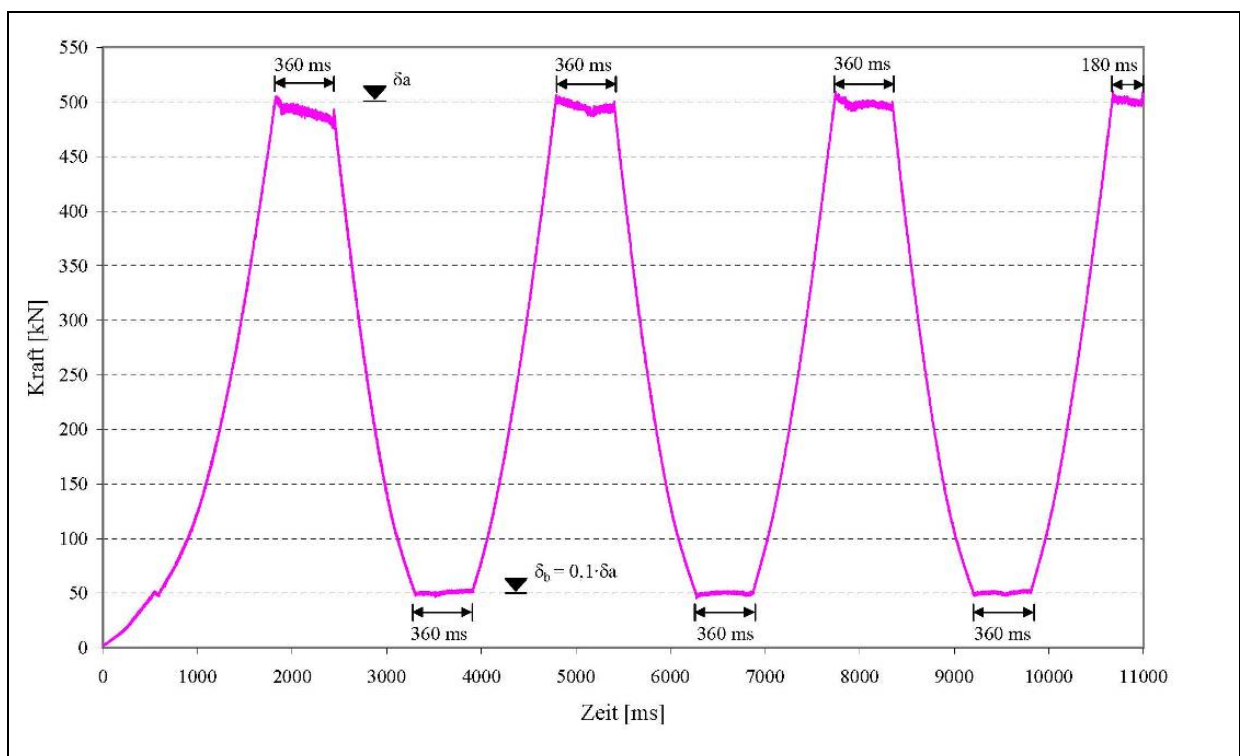


Abbildung 52: Auswertungszyklen, Ermittlung statischer E-Modul

Als Probekörper sind Zylinder oder Prismen mit einem Verhältnis h/d zwischen 2 und 4 zu verwenden. Die vorgegebene Prüfeinrichtung (Hersteller Fa. Schenk) ist in Abbildung 53 dargestellt. Die E-Modul Ermittlung an den Prismen erfolgte am 29. August 2006 zu Beginn der Push-Out-Versuche und am 4. September 2006 zum Abschluss der Push-Out-Versuche. Als mittlerer Wert für den E-Modul ergibt sich $E_{cm,exp}(t) = 36.598,6 \text{ N/mm}^2$, also rund 36599

N/mm². Dieser Wert wird ebenfalls in Tabelle 4 angegeben. Der Unterschied zu den berechneten Werten ist durchwegs sehr gering. Somit sind die gemäß Lieferschein bestellten Werte bestätigt und der Beton lässt sich in die Festigkeitsklasse C40/50 einordnen.

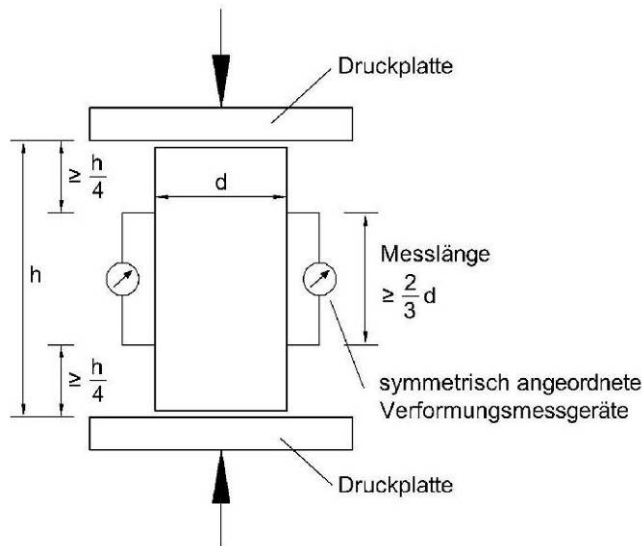


Abbildung 53: Nach [18] vorgegebene Lagerungsbedingungen und Anordnung der Wegaufnehmer zur Ermittlung des statischen Elastizitätsmoduls (links); Prüfmachine der Firma Schenk (rechts)

2.4. Experimentelle Methoden der Messtechnik

Ein Hauptanwendungsgebiet experimenteller Methoden in der Mechanik deformierbarer fester Körper sind laut Mang/Hofstetter [21] Werkstoffversuche. Das wesentliche Kennzeichen derartiger Versuche ist die messtechnische Bestimmung mechanischer Eigenschaften von Materialien. Die dabei gewonnenen Messdaten bilden die Grundlage für die Entwicklung von Materialmodellen für realitätsnahe Festigkeitsanalyse technischer Konstruktionen mittels numerischer Verfahren wie der Methode der finiten Elemente (FEM).

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet experimenteller Messmethoden sind Versuche an Strukturen. Dabei werden Messungen an Bauteilen und Baukonstruktionen von komplizierter Form und Beanspruchung im Labor oder vor Ort durchgeführt. Ziele von Strukturversuchen sind: experimentelle Beanspruchungs- und Deformationsanalysen, Konstruktionsoptimierung und messtechnische Bestimmung realer Belastungssituationen und geometrischer Randbedingungen.

Bei fast allen in der experimentellen Mechanik deformierbarer fester Körper eingesetzten Messverfahren sind geometrische mechanische Größen das primäre Messergebnis. Dabei

handelt es sich um Verschiebungen und Verzerrungen. Die messtechnische Bestimmung von Kräften und Spannungen hingegen ist in Abhängigkeit vom Messverfahren nur bei Kenntnis der Materialeigenschaften des Messobjekts bzw. des Messwertaufnehmers im Wege einer Deformationsmessung möglich.

Dem physikalischen Messprinzip entsprechend unterscheidet man bei den einschlägigen Messmethoden zwischen elektrischen und optischen Messverfahren. Elektrische Messmethoden sind sogenannte Punktmessverfahren.

Eine elektrische Einrichtung zur Messung mechanischer Größen besteht im Allgemeinen aus einem Messwertaufnehmer, einem Messwertverstärker und einer Messdatenverarbeitungseinheit. (vgl. Abbildung 54). Die Aufgabe des Messwertaufnehmers ist die Umwandlung einer mechanischen Messgröße – zumeist einer Relativverschiebung – in ein elektrisches Signal. Das analoge Messsignal wird mit Hilfe des Messwertverstärkers unter anderem gefiltert, verstärkt und in digitale Messinformationen umgewandelt. Daran anschließend erfolgt die rechnergestützte Speicherung und Auswertung der Messdaten.

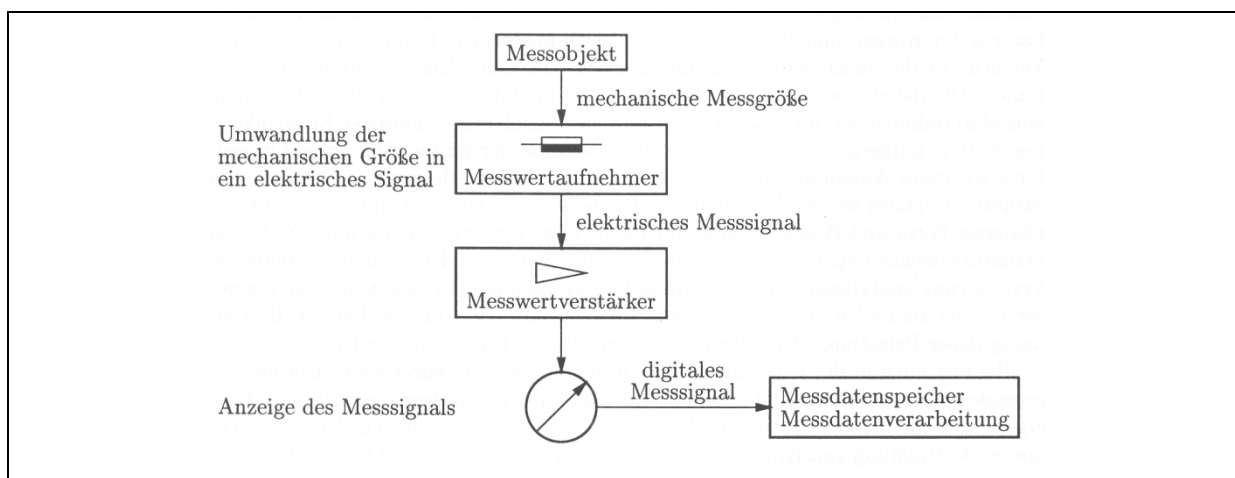


Abbildung 54: Schematischer Aufbau einer Messeinrichtung [21]

Die Funktionsweise elektrischer Messverfahren besteht in der Messung der Änderung einer elektrischen Größe – z.B. des Ohmschen Widerstands, der Induktivität, der Kapazität, ... – infolge Einwirkung einer mechanischen Größe. Der Vorteil elektrischer Messverfahren liegt darin, dass elektrische Signale bei relativ geringem Aufwand mit großer Genauigkeit gemessen, leicht verstärkt und ohne nennenswerte Signalverfälschung über große Entfernungen übertragen werden können. Das führte zur Entwicklung verschiedener elektrischer Messwertaufnehmer zur quantitativen Erfassung mechanischer Größen [21].

2.4.1. DMS (Dehnungsmessstreifen)

Die Dehnungsmessstreifentechnik zählt laut [21] wegen ihrer Vielfältigkeit und der großen Messgenauigkeit zu den weitest verbreiteten Punktmessverfahren der experimentellen Verzerrungsanalyse. Die Wirkungsweise eines DMS beruht darauf, dass sich der Ohmsche Widerstand eines elektrischen Leiters ändert, wenn sich dessen Länge ändert. Die dabei auftretende relative Änderung des elektrischen Widerstands ist zur Dehnung proportional. Der Gültigkeitsbereich der Proportionalität reicht, je nach Qualität des DMS, von 0,4 – 1,0 % der Dehnung.

Die heute fast ausschließlich verwendeten Folien-DMS bestehen aus einer Kunststoffträgerschicht und einer etwa 5 µm dicken, elektrisch leitenden Metallfolie aus dem Werkstoff Konstantan (Cu-Ni-Legierung). Aus dieser Metallfolie wird das Messgitter im Foto-Ätzverfahren hergestellt. Die in der Regel 30 – 50 µm breiten, mäanderförmig angeordneten Leiterbahnen geben die Messrichtung eines DMS an. Zur Verminderung von Widerstandsänderungen infolge von Querdehnungen sind DMS im Bereich der Umkehrbögen verstärkt. (siehe Abbildung 55).

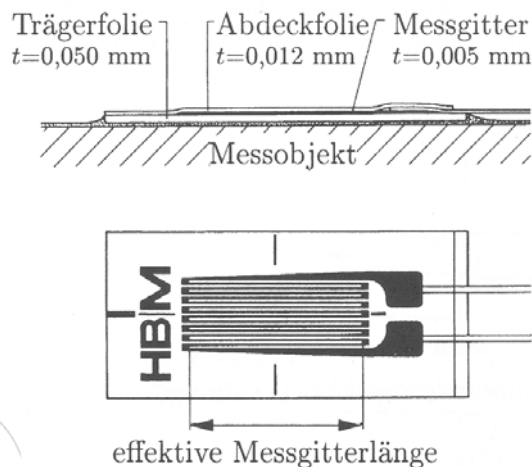


Abbildung 55: Schema eines Folien-DMS [21]

Für Dehnungsrosetten werden jeweils drei DMS zusammengefasst. Die DMS der eingesetzten Dehnungsrosetten vom Typ RY31 der Firma HBM waren nicht symmetrisch, also im Winkel von jeweils 120° angeordnet, sondern wiesen die Winkel 0°, 45° und 90°, wie in Abbildung 56 und Abbildung 57 ersichtlich, auf.

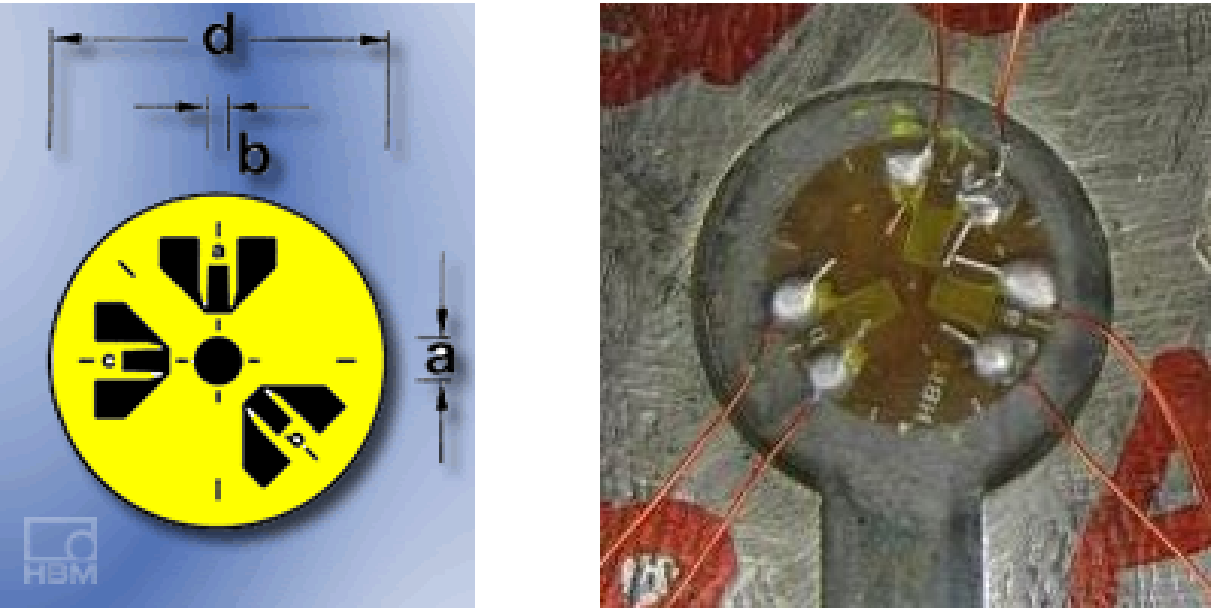


Abbildung 56: DMS-Anordnung der eingesetzten Dehnungsrosette RY31 [23]

Ab Lager lieferbare Typen		Varianten	Nenn-wider-stand	Abmessungen (mm)				Max. zul. effektive Brücken-speisep.	Löt-stütz-punkte (1)
Stahl	Aluminium			Messgitter		Messgitter-träger			
		Sonstige	Ω	a1	a2	b	d	V	
1-RY31-3/120		1-RY3x-3/120#	120	0,8	3	0,8	7	1,5	LS7
1-RY31-6/120	1-RY33-6/120	1-RY3x-6/120	120	2	6	1,3	11	3	LS5
1-RY31-10/120		1-RY3x-10/120	120	2,9	10	2,6	15,4	5	LS4

RY31
0145190°- Rosette
Temperaturgang angepasst an Stahl
mit $\alpha = 10,8 \cdot 10^{-6}/K$

RY33
Temperaturgang angepasst an Aluminium
mit $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}/K$

RY3x
Temperaturgang angepasst nach Kundenwunsch
siehe Seite 20

Abbildungen in natürlicher Größe
(Angabe: Maß a2 in mm)

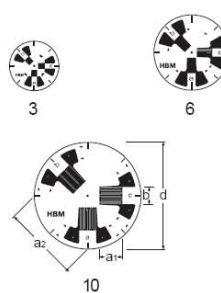


Abbildung 57: Datenblatt der eingesetzten DMS-Rosette RY31 [23]

2.4.2. Induktive Aufnehmer

Induktive Messwertaufnehmer eignen sich besonders für die punktweise Bestimmung einzelner Verschiebungskomponenten. Die eingesetzten induktiven Wegaufnehmer verfügen

über eine, für diesen Anwendungsfall, ausreichend hohe Messgenauigkeit und einen Messbereich von 100 mm. Außerdem zeichnen sie sich durch eine äußerst leichte Handhabung und große Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einwirkungen aus.

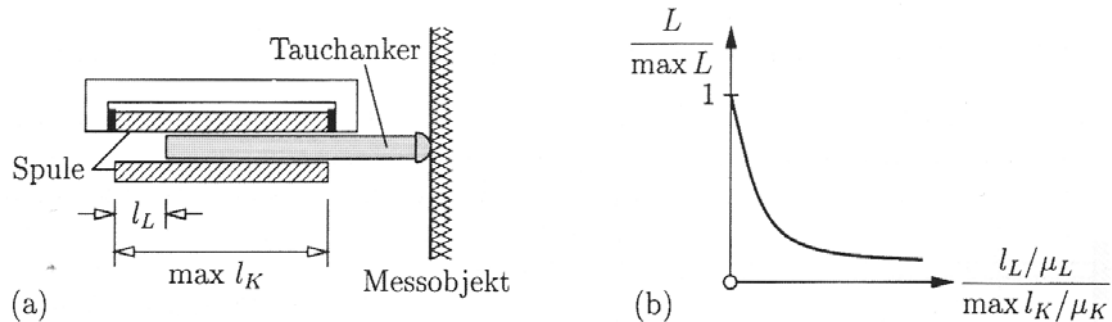


Abbildung 58: Prinzip der Wirkungsweise induktiver Tauchanker [22]

Das physikalische Messprinzip solcher Messwertaufnehmer beruht auf der Messung der Änderung der Induktivität einer Spule bei Änderung der Eindringtiefe eines Tauchankers (Eisenkerns) infolge einer Verschiebung. Die Induktivität hängt von den Abmessungen der Spule, ihrer Windungsanzahl und der Permeabilität des Eisenkerns ab.

Zwischen der Änderung der Induktivität und der Eintauchtiefe des Eisenkerns, welche die zu messende Verschiebung darstellt, besteht ein nichtlinearer Zusammenhang. Wegen deutlich unterschiedlicher Empfindlichkeiten im Messbereich und der damit verbundenen ungünstigen Handhabung ist ein solcher Zusammenhang nachteilig. Zur Vermeidung dieses Nachteils werden zwei Messspulen derart in Reihe geschaltet, dass der Tauchanker die beiden Spulen in entgegengesetztem Sinn beeinflusst. Dadurch wird eine Temperaturkompensation und bei geeigneter geometrischer Spulendimensionierung ein nahezu lineares Ausgangssignal erreicht.

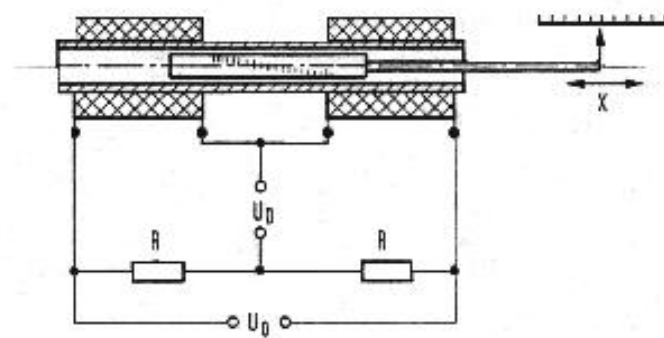


Abbildung 59: Schema eines induktiven Wegaufnehmers mit zwei Spulen [22]

Bei einigen neueren Wegaufnehmern bestehen die Spulen nur noch aus einer einzigen Windung [22]. Das beschreibt den auch bei der Einführung der Feedbacksysteme im Seismometer- und Gravimeterbau eingeschlagenen Weg, empfindliche mechanische Anordnungen zu vereinfachen und durch kompliziertere, aber besser kontrollierbare elektronische Systeme zu ersetzen. Abbildung 60 zeigt die eingesetzten induktiven Wegaufnehmer DS-100 der Firma Solartron Metrology.

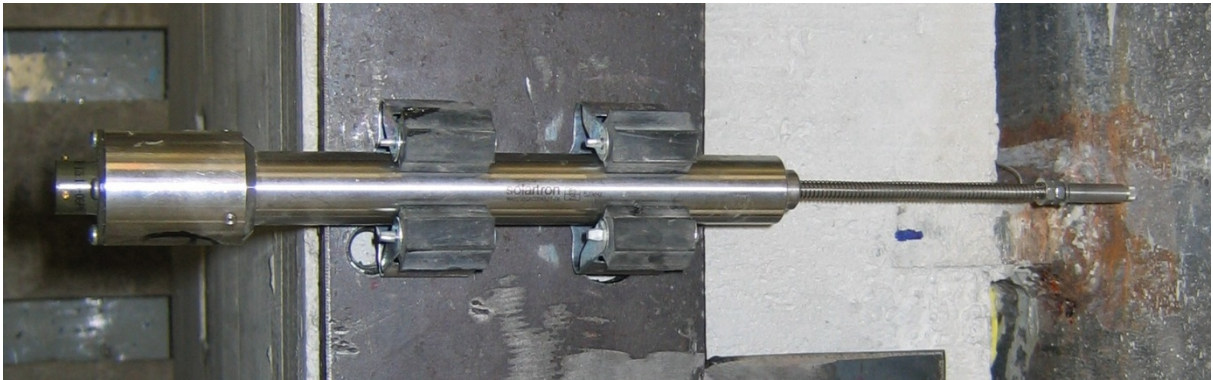


Abbildung 60: eingesetzte induktive Wegaufnehmer der Firma Solartron

2.5. Prüfraumen und Einsatz der Messtechnik

Die Versuchsdurchführung erfolgte in einem Prüfraumen mit 4 servohydraulisch gesteuerten Druckzylindern im Labor für Bauteilversuche des Instituts für Tragkonstruktionen an der TU Wien. Die Hydraulik stammt von der Firma Heinzl aus Linz. Jeder der 4 Zylinder erreicht 5000 kN bei 550 Bar. Die Servohydraulik der Firma Walter & Bai (CH) fördert maximal 42 l/min und erreicht dabei maximal 490 Bar. Durch den geringeren Druck von 490 Bar ergibt sich eine Maximalkraft pro Zylinder von 4454,54 kN. Dadurch ist die Maximalkraft der Anlage auf 17.818 kN begrenzt.

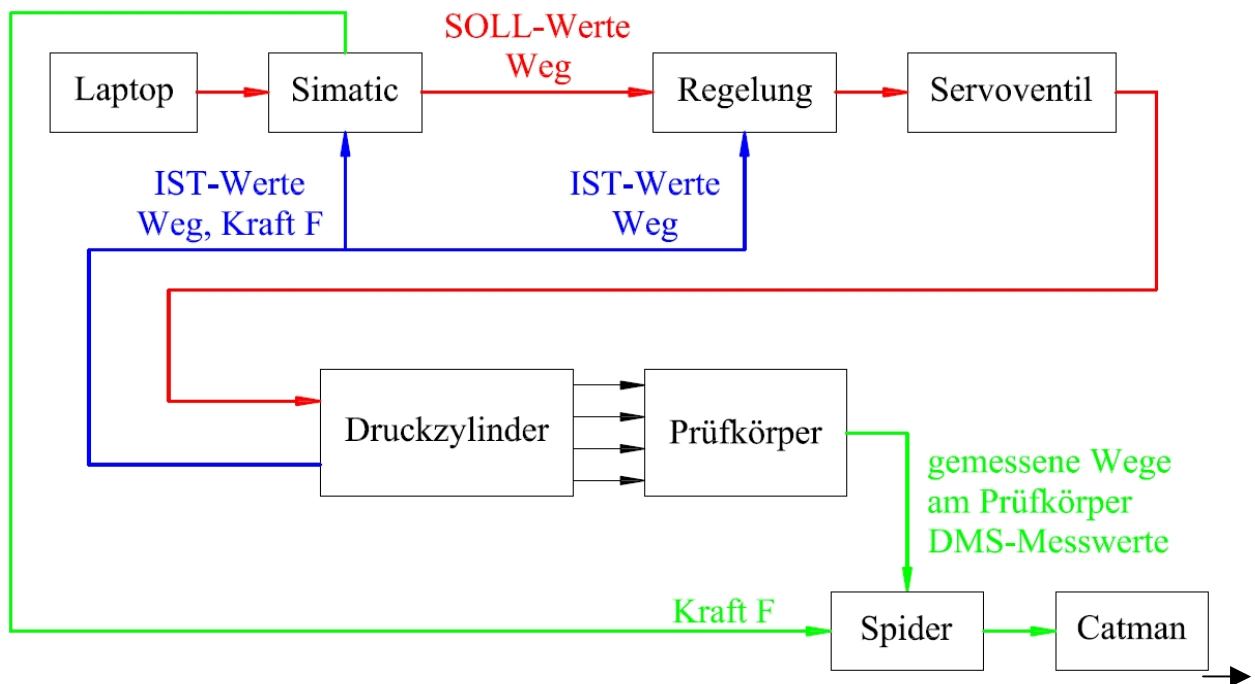


Abbildung 61: Regelkreis für den Push-Out-Versuch und Ausgabe der Messwerte [30]

Die Regelung (siehe Abbildung 61) erfolgt durch eine Simatic, das ist eine speicherprogrammierte Steuerung der Firma Siemens. Zusätzlich erforderliche Elektronik und der Zusammenbau ist durchwegs im Eigenbau an der TU Wien entstanden. Die zur Regelung des Prüfrahmens notwendigen Sensoren des Typs P25VR stammen von der Firma Preh. Mit diesen Sensoren wird der Öldruck sowohl an der Druckseite als auch an der Zugseite der Zylinder gemessen.

Die nach [14] bei Standard-Abscherversuchen aufzuzeichnenden Messwerte Zylinderkraft, Schlupf zwischen Beton und Stahl (WA2, WA3), sowie das Abheben der Betonplatten (WA1, WA4) und die zusätzlich ermittelten DMS-Messwerte wurden anschließend für jeden Push-Out-Versuch über das Programm HBM Catman vom HBM Spider nach Microsoft Excel exportiert und dort ausgewertet. Siehe dazu Abschnitt 2.6 dieser Arbeit.



Abbildung 62: Zylinder, Hydraulik und Steuerung des großen Prüfrahmens

Die Push-Out-Versuchskörper wurden horizontal eingebaut. Das Einheben (Abbildung 63) in den Prüfrahm erfolgte mit einem Brückenkran. Die Abbildung 63 rechts zeigt den im Prüfrahm eingebauten Versuchskörper.



Abbildung 63: Im Druckeinbau eingebauter Prüfkörper mit Druckpressen

Die Versuchsdurchführung erfolgte in Übereinstimmung mit [14], Anhang B. Die Versuchssteuerung erfolgte, wie oben beschrieben, mit einer Siemens Simatic-Einheit, die den Versuchsablauf nach Abbildung 64 links regelte. Eingabewerte waren der Wert der erwarteten Bruchlast $P_{\max, \text{Vorgabe}}$ und die Haltezeit für die Vorbelastung. Alle weiteren Aktionen erfolgten automatisiert. Die Versuche selbst wurden weggeregelt durchgeführt. Eine Besonderheit, die sich daraus ergibt, ist die Tatsache, dass bei Anhalten des Wegvorschubs die Prüflast innerhalb eines gewissen Zeitraums auf ein geringeres Lastniveau abfällt, bis ein Gleichgewichtszustand auf niedrigerem Lastniveau erreicht ist. Nach [6] kann diese Beobachtung zu jedem Zeitpunkt, d.h. auch im Nachbruchbereich, gemacht werden. Um dieses Verhalten experimentell zu bestätigen, wurden ab 60% der erwarteten Bruchlast $P_{\max, \text{Vorgabe}}$ und dann bei jedem weiteren Kraftzuwachs von 10% der erwarteten Bruchlast $P_{\max, \text{Vorgabe}}$ Haltepunkte im Wegvorschub gesetzt, und zwar solange, bis die tatsächliche maximale Versuchslast $P_{\max}$ erreicht wurde. Da eben auch im Nachbruchbereich dieses Verhalten auftritt, wurden auch ab dem Erreichen von $P_{\max}$ alle 5 mm Wegvorschub weitere Haltepunkte gesetzt.

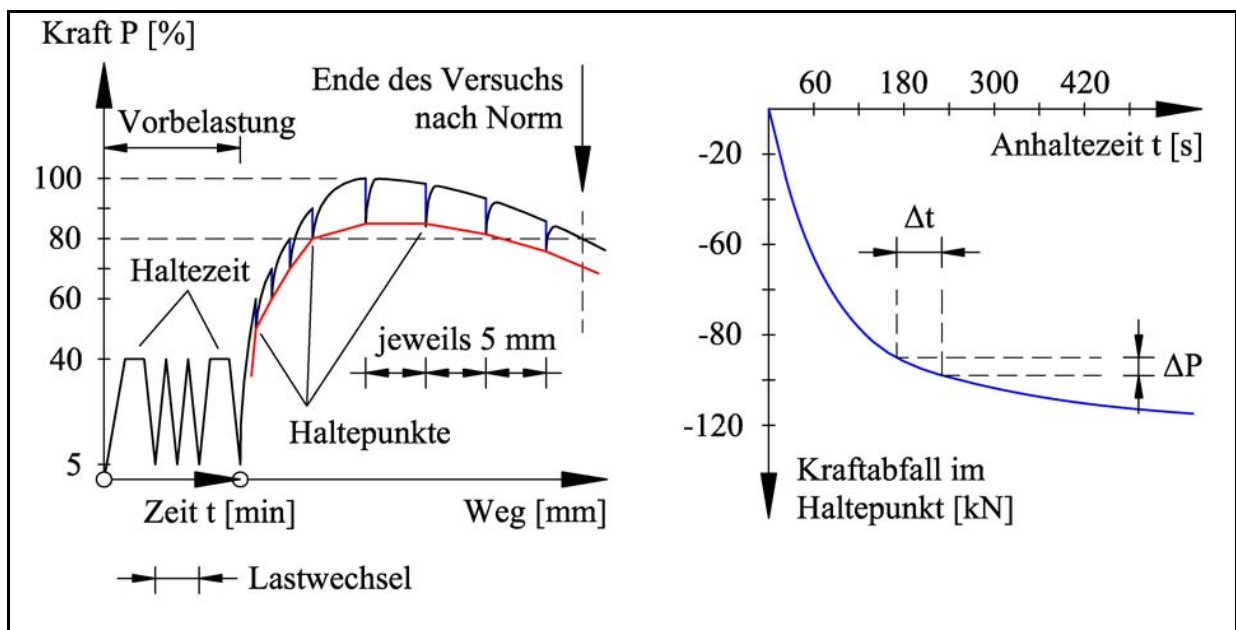


Abbildung 64: Vorgegebene Arbeitslinie zur Steuerung der Push-Out-Versuche (links) [30], Kraftabfall im Haltepunkt mit Konvergenzkriterium (rechts) [30]

Die Anhaltedauer war mit einem im Programm der Simatic integrierten Konvergenzkriterium so geregelt, dass diese so lange dauert, bis in einem vorgegebenen Zeitintervall von $\Delta t = 20$ sek. der Kraftabfall nicht größer als der ebenfalls vorgegebene Wert $\Delta P = 20$ kN ist (Abbildung 64, rechts.). Durch die polygonale Verbindung der so erhaltenen Punkte (Abbildung 68, rechts.) erhält man die statische Dübelkennlinie, deren Maximallast durch die quasi-statische Tragfähigkeit P_{stat} definiert wird, die der zugehörige untere Wert der Maximallast P_{max} ist.

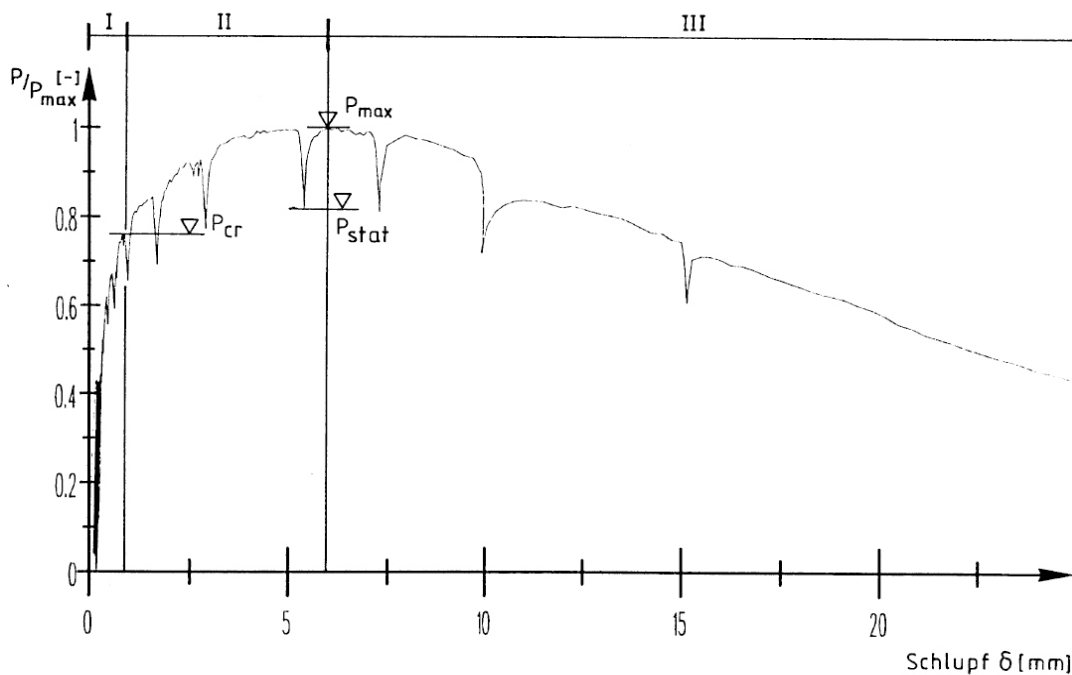


Abbildung 65: charakteristisches Kraft-Verformungsverhalten [30]

Das Last-Verformungsverhalten eines Push-Out-Versuchs lässt sich in drei Phasen unterteilen (siehe Abbildung 65):

- I Die quasi-elastische Phase repräsentiert das lastabhängige Verformungsverhalten bis auf ein Niveau in der Größenordnung des charakteristischen Tragvermögens. Sie ist geprägt von einer hohen Anfangssteifigkeit und geringen Gesamtverformungen. Bis zum Bemessungswert der Dübeltragfähigkeit liegt ein annähernd elastisches Verhalten vor.
- II Die plastische Phase beschreibt die Dübelkennlinie bis zum Erreichen der Maximallast $P_{\max}$.
- III Die Nachbruchphase umfasst das Last-Verformungsverhalten im absteigenden Ast der Dübelkennlinie. Die wesentliche Erkenntnis aus dem Nachbruchverhalten ergibt sich im charakteristischen Verformungsvermögen δ_{uk} .

Um die Annahme zu bestätigen, dass es nach Anhalten des Wegvorschubs zu einem einheitlichen Abfallen auf ein niedrigeres Niveau bis zu einem Gleichgewicht kommt, wurden bei allen Push-Out-Versuchskörpern jeweils der Kraftabfall vor und nach Erreichen von $P_{\max}$ in folgendem Diagramm (Abbildung 66) dargestellt.

Man erkennt, dass in diesem Bereich, dem Übergang von Phase II zu Phase III (Abbildung 65), die Kraftabfälle durchwegs gleich stark ausgeprägt sind. Des weiteren sind zwei Phasen mit unterschiedlicher Kraftabfallgeschwindigkeit zu erkennen. Die erste Phase reicht von 0 bis etwa 90 Sekunden und weist eine etwa doppelt so hohe Kraftabfallgeschwindigkeit auf, wie die folgende Phase die etwa bis 260 Sekunden reicht bis schließlich ein Gleichgewichtsniveau erreicht wird.

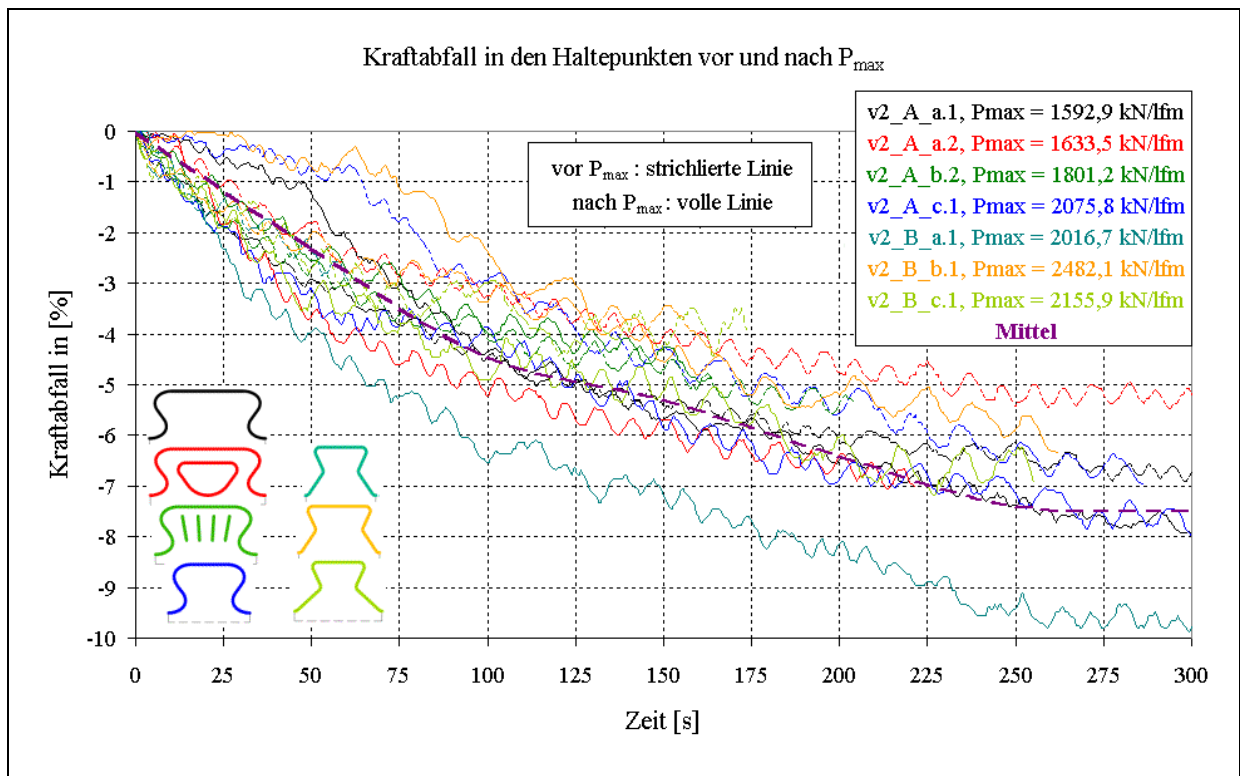


Abbildung 66: Kraftabfall vor und nach P_{max}

Während der mit konstantem Wegvorschub durchgeführten Versuche wurden entsprechend den Vorgaben von [14] kontinuierlich die Relativverschiebungen δ zwischen dem Stahlprofil und den Betongurten (Schlupf) sowie die Abhebung Δ der Betongurte von den dazugehörigen Stahlgurten mit induktiven Wegaufnehmern an den Prüfkörpern messtechnisch erfasst (Abbildung 67). Für beide Messgrößen wurden jeweils 2 induktive Wegaufnehmer gegenseitig am Prüfkörper montiert.



Abbildung 67: Übersicht der Montage der Wegaufnehmer: horizontal montierte Wegaufnehmer zur Messung der Relativverschiebung δ , vertikal montierte Wegaufnehmer zur Messung der Abhebung Δ

Alle nachfolgend angegebenen Werte für die Relativverschiebung δ entsprechen dem Mittelwert der beiden horizontal liegenden Wegaufnehmern (Abbildung 67). Alle nachfolgend angegebenen Werte für die Abhebung Δ entsprechen dem Mittelwert der beiden vertikal montierten Wegaufnehmer (Abbildung 67).

2.6. Auswertungsmodalitäten

Die Auswertung von Push-Out-Versuchen nach [14] erfolgt üblicherweise durch die Ermittlung der Dübelkennlinie nach Abbildung 68 links. Die wesentlichen Kenngrößen aus dem Versuch sind das maximale Tragvermögen $P_{\max}$, die dazugehörige Relativverschiebung $\delta_{P,\max}$ und das charakteristische Verformungsvermögen δ_{uk} . Aufgrund unterschiedlicher Dübellängen nach Abbildung 46 werden zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Versuchskörper $P_{\max}$ und alle weiteren Lastwerte bzw. von der Last abhängigen Werte nur in kN/lfm angegeben.

In Kapitel 2.5 ist die Besonderheit weggeregelter Versuche schon dargelegt worden. In [6] wird empfohlen, als repräsentativen Wert für das Tragvermögen den Wert für das quasi-statische Tragvermögen P_{stat} heranzuziehen. Die Ermittlung der in Kapitel 4 angegebenen Werte für das quasi-statische Tragvermögen P_{stat} erfolgt nach Abbildung 68 rechts. Durch lineares

Verbinden der Werte Δ_1 und Δ_2 , die sich aus der Absenkung bei angehaltenem Wegvorschub ergeben, erhält man den entsprechenden Wert $\Delta_{P,max}$ für die Berechnung des quasi-statische Tragvermögens nach Gleichung 9.

$$P_{stat} = P_{max} - \Delta_{P,max}$$

Gleichung 9

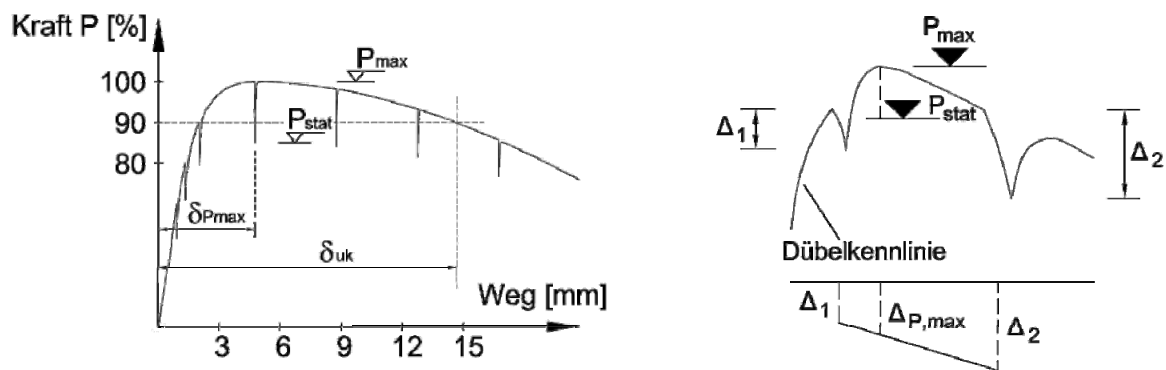


Abbildung 68: Idealisierte Dübelkennlinie einschließlich charakterisierender Kenngrößen (links), Ermittlung des quasi-statischen Tragvermögens P_{stat} aus der Dübelkennlinie (rechts) [30]

Nach [14] wird das Verformungsvermögen eines Dübels durch den maximalen Schlupf bei Wiedererreichen der charakteristischen Tragfähigkeit bestimmt. In Kapitel 3 angegebene charakteristische Werte des Verformungsvermögens δ_{uk} eines Dübels werden durch den maximalen Schlupf bei Wiedererreichen der Tragfähigkeit auf einem Lastniveau, das dem der um 10% reduzierten Versuchslast P_{max} entspricht, nach Abbildung 68 links ermittelt. Die Ermittlung erfolgt nicht mit dem Wert des quasi-statischen Tragvermögens P_{stat} , da man in diesem Fall das Verformungsvermögen überschätzt. Der Autor ist sich bewusst, dass nach [14] für diese Vorgehensweise drei Versuche mit nach Nennwerten identischen Versuchskörpern durchgeführt werden müssen und bei den hier beschriebenen Versuchen immer nur ein Versuchskörper existiert.

Zusätzlich ist nach [14] nachzuweisen, dass der Dübel, der auch gegen abhebende Kräfte wirkt, ausreichend steif und tragfähig ist. Dies ist der Fall, wenn im Push-Out-Versuch unter einer Belastung von 80% der quasi-statischen Versuchslast P_{stat} die gemittelte Abhebung Δ maximal 50% der Relativverschiebung δ beträgt. Die Ermittlung des maßgebenden Bereichs erfolgt nicht mit dem Wert des maximalen Tragvermögens P_{max} , da man in diesem Fall die Abhebung auf Bemessungslastniveau nach [14] unterschätzt. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen sind in Kapitel 3 zusammengefasst und dargestellt.

Um die einzelnen Prüfkörper auch hinsichtlich ihrer Anfangssteifigkeit C miteinander vergleichen zu können, ist diese aus der jeweiligen Dübelkennlinie zu bestimmen. Dafür wird nach [3] in der Literatur üblicherweise die in Gleichung 10 wiedergegebene Definition verwendet. Demnach ergibt sich die Steifigkeit als Quotient des Wertes des halben maximalen Tragvermögens $P_{\max}/2$ mit dem zugehörigen Wert der Relativverschiebung.

$$C = \frac{P_{\max}/2}{\delta_{P_{\max}/2}} \quad \text{Gleichung 10}$$

Die Werte für die so erhaltenen Anfangssteifigkeiten der einzelnen Versuchskörper sind ebenfalls in Tabelle 6 angegeben.

Ermittlung von Verzerrungskomponenten bei einem ebenen Spannungszustand

DMS-Messungen erfolgen stets im belastungsfreien Teil der Oberfläche von Messobjekten. Diese Bereiche der Oberfläche sind durch ebene Spannungszustände und eine zu ihr normale Hauptnormalspannungs- bzw. Hauptnormalverzerrungsrichtung gekennzeichnet. Mit Hilfe von DMS können jedoch nur die Verzerrungskomponenten in der Tangentialebene des betrachteten Punktes der Oberfläche gemessen werden.

In einem solchen Punkt will man die drei Verzerrungskomponenten ε_{11} , ε_{22} , ε_{12} bzw. die beiden Hauptnormalverzerrungen ε_1 , ε_2 und den Winkel α ermitteln, den die Richtung einer bestimmten Hauptnormalverzerrung mit der Achse x_1 eines Koordinatensystems mit beliebiger Lage in dieser Ebene einschließt. Dazu muss man die Verzerrung in drei Richtungen messen (Abbildung 69).

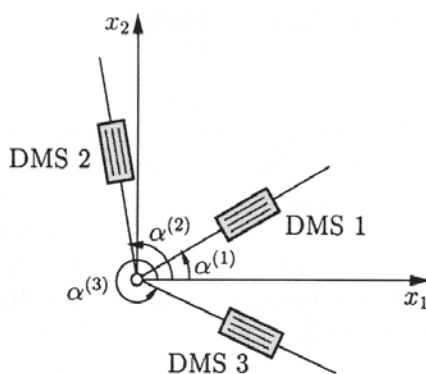


Abbildung 69: DMS-Rosette [21]

Setzt man die mittels der drei DMS gemessenen Verzerrungen $\varepsilon^{(i)}$, $i = 1,2,3$, samt den zugehörigen Winkeln α_i , $i = 1,2,3$, die aus der Anordnung der DMS bekannt sind (Abbildung 69), in die Gleichung 11 ein, so erhält man die Verzerrungskomponenten des ebenen Spannungszustandes ε_{11} , ε_{22} und ε_{12} in der Tangentialebene:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon^{(1)} \\ \varepsilon^{(2)} \\ \varepsilon^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha_1 & \sin^2 \alpha_1 & \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \\ \cos^2 \alpha_2 & \sin^2 \alpha_2 & \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 \\ \cos^2 \alpha_3 & \sin^2 \alpha_3 & \sin \alpha_3 \cos \alpha_3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ 2\varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad \text{Gleichung 11} \quad (15.14)$$

Die Berechnung der Hauptnormalverzerrungen ε_1 und ε_2 aus den Verzerrungskomponenten ε_{11} , ε_{22} und ε_{12} des ebenen Spannungszustandes erfolgt nach folgender Formel (Gleichung 12):

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{12}^2} \quad \text{Gleichung 12} \quad (3.90)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{12}^2}$$

Die Berechnung der Spannungskomponenten des ebenen Spannungszustandes σ_{11} , σ_{22} und σ_{12} aus den Verzerrungskomponenten ε_{11} , ε_{22} und ε_{12} erfolgt nach Gleichung 13:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = \left(\frac{E}{1-\nu^2}\right) * \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ 2\varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad \text{Gleichung 13} \quad (3.309)$$

Die Berechnung der Hauptnormalspannungen σ_1 und σ_2 aus den Spannungskomponenten σ_{11} , σ_{22} und σ_{12} des ebenen Spannungszustandes erfolgt nach folgender Formel (Gleichung 14):

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2} \quad \text{Gleichung 14} \quad (3.167)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2}$$

Die Ergebnisse der DMS-Auswertung sind in Kapitel 3 zusammengefasst und dargestellt.

Ermittlung der Vergleichsspannung nach VON MISES

Diese Fließhypothese beruht auf der Annahme, dass bei metallischen Werkstoffen der gestaltändernde Anteil der spezifischen Verzerrungsenergie für den Fließeintritt in einem Punkt des Körpers maßgebend ist.

Die Definition der Vergleichsspannung σ_v bei der Fließhypothese nach VON MISES:

$$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6 \cdot (\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)} \quad \text{Gleichung 15}$$

(9.25)

Für den durch $\sigma_{33} = \sigma_{31} = \sigma_{32} = 0$ gekennzeichneten Sonderfall eines ebenen Spannungszustandes erhält man aus Gleichung 15 die Vergleichsspannung zu:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{11}^2 - \sigma_{11} \cdot \sigma_{22} + \sigma_{22}^2 + 3 \cdot \sigma_{12}^2} \quad \text{Gleichung 16}$$

(9.26)

3. Ergebnisse aus den empirischen Versuchen

3.1. Trag- und Verformungsvermögen im Allgemeinen

Eine Zusammenfassung der wesentlichen und zuvor in Kapitel 2.4. beschriebenen Ergebnisse aus den Dübelkennlinien nach Abbildung 70 ist in Tabelle 5 und Tabelle 6 angeführt.

Versuchskörper-ID	P _{max}		δ _{P,max}	P _{stat.}	δ _{uk}	Δ _{80%-P,stat}
	[kN]	[kN/lfm]	[mm]	[kN/lfm]	[mm]	[-]
v2_A_a.1	2612,4	1592,9	5,10	1513,8	9,19	●
v2_A_a.2	2679,0	1633,5	9,45	1221,7	17,78	●
v2_A_b.2	2435,2	1801,2	6,17	1365,7	8,95	●
v2_A_c.1	2142,2	2075,8	7,95	1568,3	11,98	●
v2_B_a.1	1500,4	2016,7	2,60	1477,0	3,70	○
v2_B_b.1	2442,4	2482,1	7,56	1874,4	11,67	●
v2_B_c.1	1604,0	2155,9	2,67	1610,5	4,44	○

Tabelle 5: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Versuchskörper-ID	$C = \frac{P_{\max}/2}{\delta_{P_{\max}/2}}$		
	P _{max} /2	δ _{P,max/2}	C
	[kN/lfm]	[mm]	[kN/lfm·m]
v2_A_a.1	796,5	0,269	2961
v2_A_a.2	816,8	0,296	2759
v2_A_b.2	900,6	0,472	1908
v2_A_c.1	1037,9	0,326	3184
v2_B_a.1	1008,3	0,196	5145
v2_B_b.1	1241,1	0,352	3526
v2_B_c.1	1078,0	0,121	8909

Tabelle 6: Anfangssteifigkeiten C

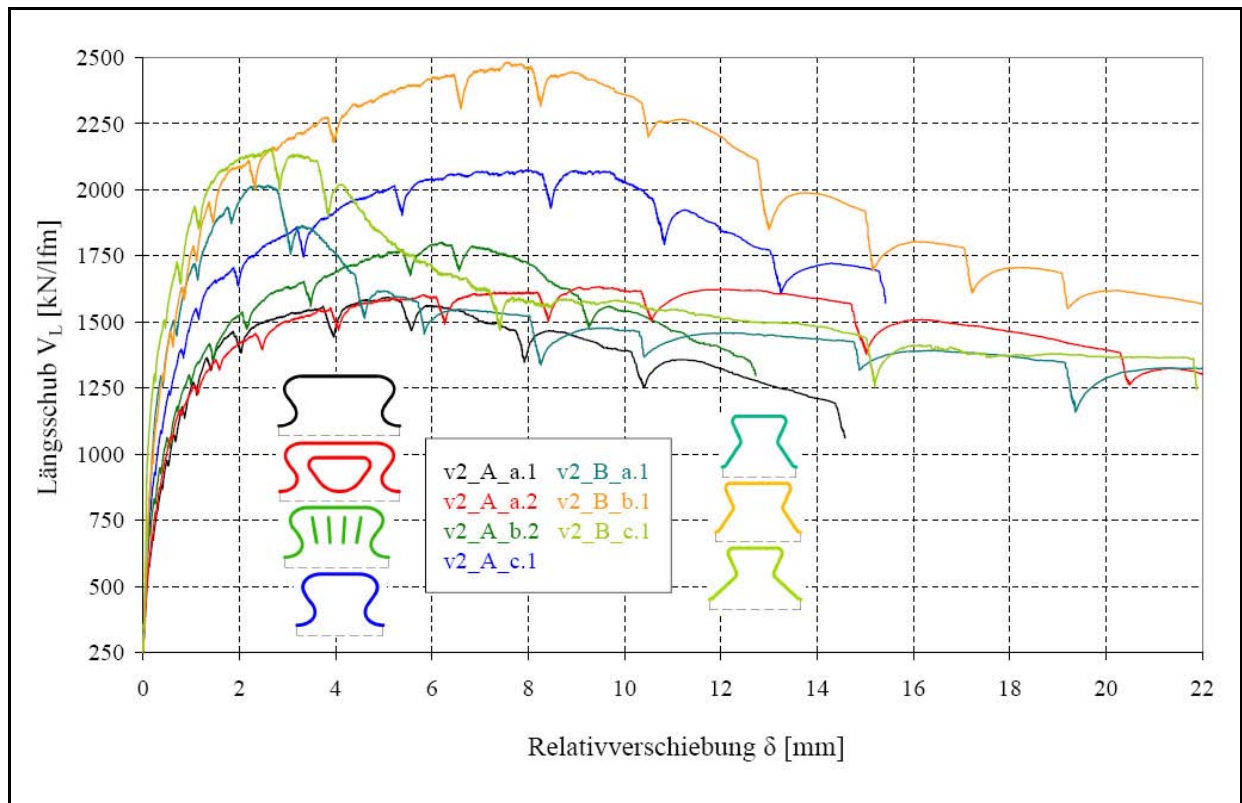


Abbildung 70: Zusammenfassung aller experimentell ermittelten Dübelkennlinien

In den beiden anschließenden Kapiteln 3.2 und 3.3 werden die Ergebnisse der beiden Hauptgruppen v2_A und v2_B getrennt von einander betrachtet und eingehend erläutert.

3.2. Versuchskörper der Gruppe v2_A

Die Kennlinien aller vier Versuchsergebnisse sind in Abbildung 71 und Abbildung 72 zusammengestellt.

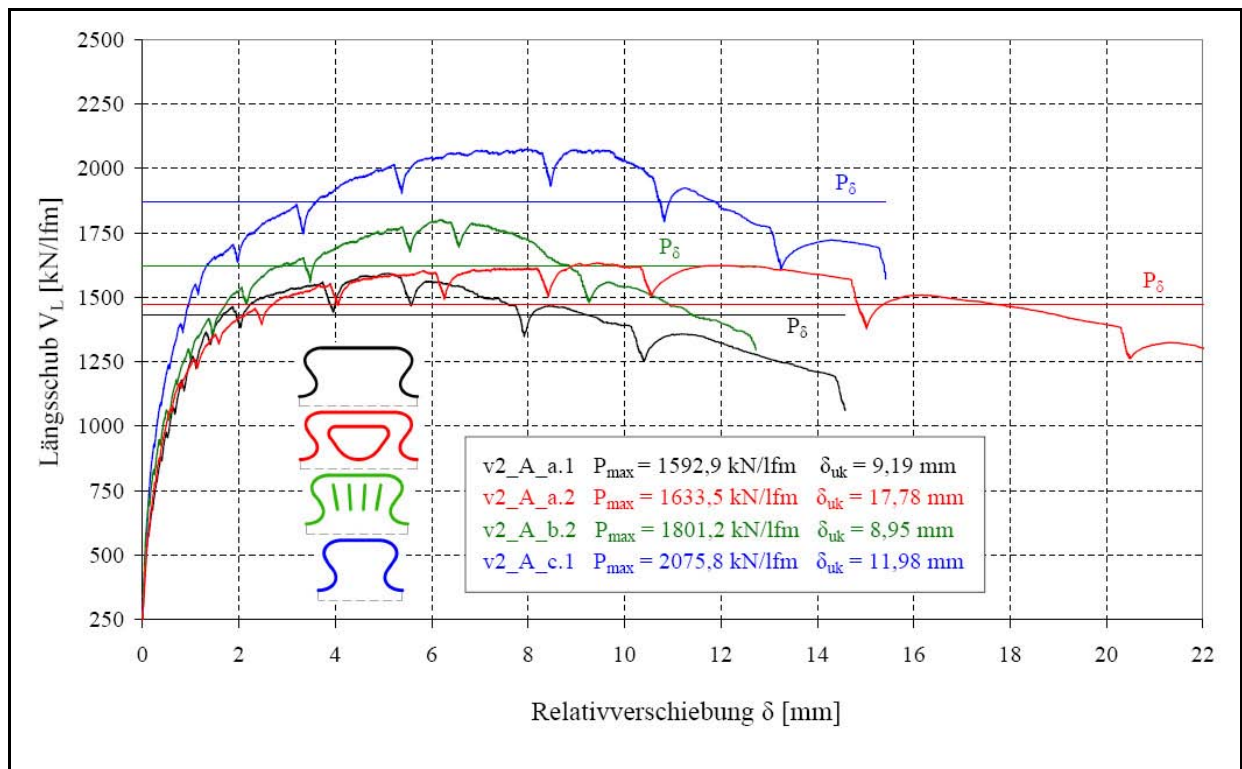


Abbildung 71: Auswertung und Analyse der Versuche v2_A – Dübelkennlinien

Nach [14] dürfen die getesteten Stahldübeln als duktiles Verbundmittel eingestuft werden, wenn das charakteristische Verformungsvermögen den Wert $\delta_{uk} = 6$ mm, bei Wiedererreichen von 90 % der maximalen Tragfähigkeit, überschreitet. Dieses Kriterium wird nach Abbildung 71 von allen Prüfkörpern erfüllt. Es zeigt sich bei einem Vergleich der beiden Prüfkörper v2_A_a.1 und v2_A_a.2, dass eine Ausnehmung des Dübels einen positiven Einfluss auf dessen Duktilitätseigenschaften ausübt bei gleichzeitiger Verminderung der Tragfähigkeit. Wenn man die Werte für den Versuchskörper v2_A_b.2 betrachtet, erkennt man, wie Abbildung 71 zeigt, dass das Einbrennen von schmalen Schlitz in den Dübel offensichtlich allein nicht ausreicht, um dessen Duktilitätseigenschaften wesentlich zu verbessern.

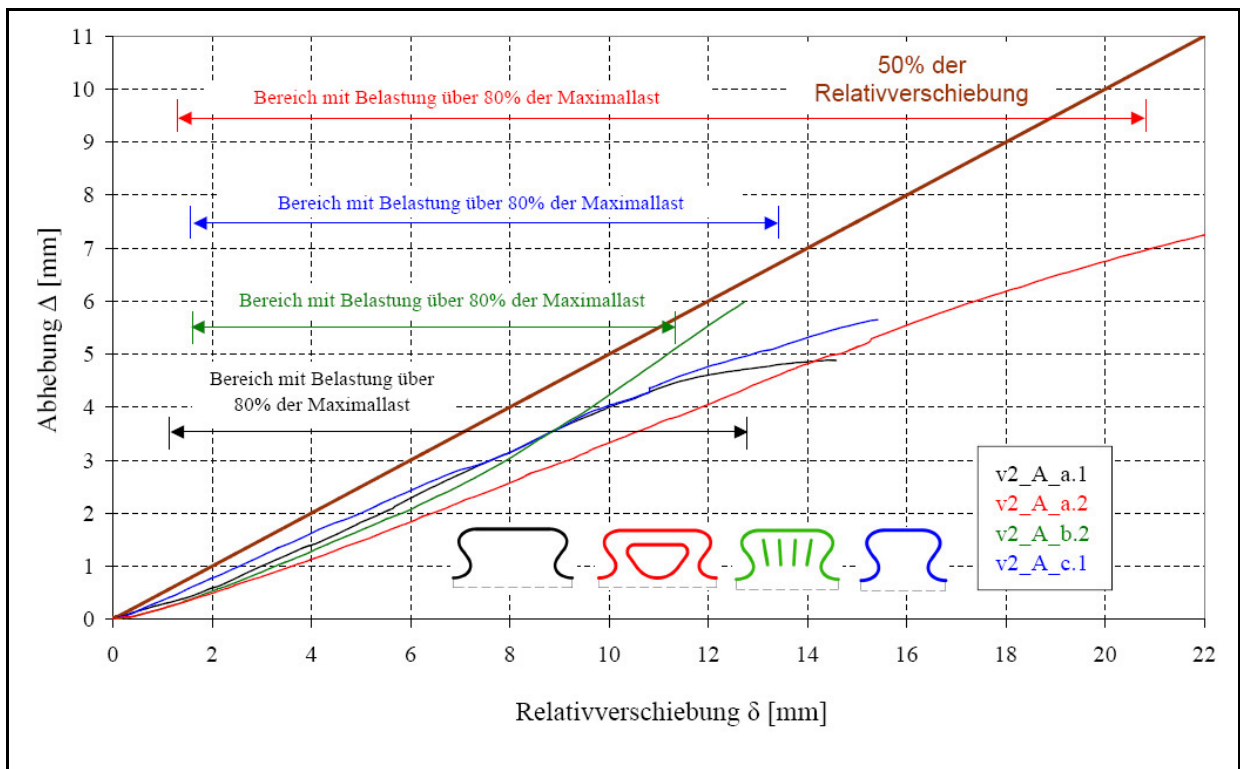


Abbildung 72: Auswertung und Analyse der Versuche v2_A – Abhebekennlinien

Die von [14] vorgegebene Bedingung, dass die Verankerung gegen Abheben als ausreichend steif und tragfähig angesehen werden darf, wenn die gemessene Abhebung Δ im Belastungsbereich von $\leq 80\%$ der Maximallast den 50%-Wert der Relativverschiebung δ nicht überschreitet, wird nach Tabelle 5 von allen Versuchskörpern erfüllt.

3.3. Versuchskörper der Gruppe v2_B

Die Kennlinien aller drei Versuchsergebnisse sind in Abbildung 73 und Abbildung 74 zusammengestellt. Der extrem hohe Wert der Steifigkeit C für den Versuchskörper v2_B_c.1 ist auf zwei nicht exakt zueinander ausgerichtete Betonplatten zurückzuführen. Diese haben sich nach dem Einbau des Prüfkörpers in den Prüfraumen und mit Aufbringen der Belastung so ausgerichtet, dass der Mittelwert der Messdaten für die beiden horizontal montierten Wegaufnehmer nach [18] bis zu einem Lastniveau von ca. 800 kN/lfm einen negativen Wert ergibt.

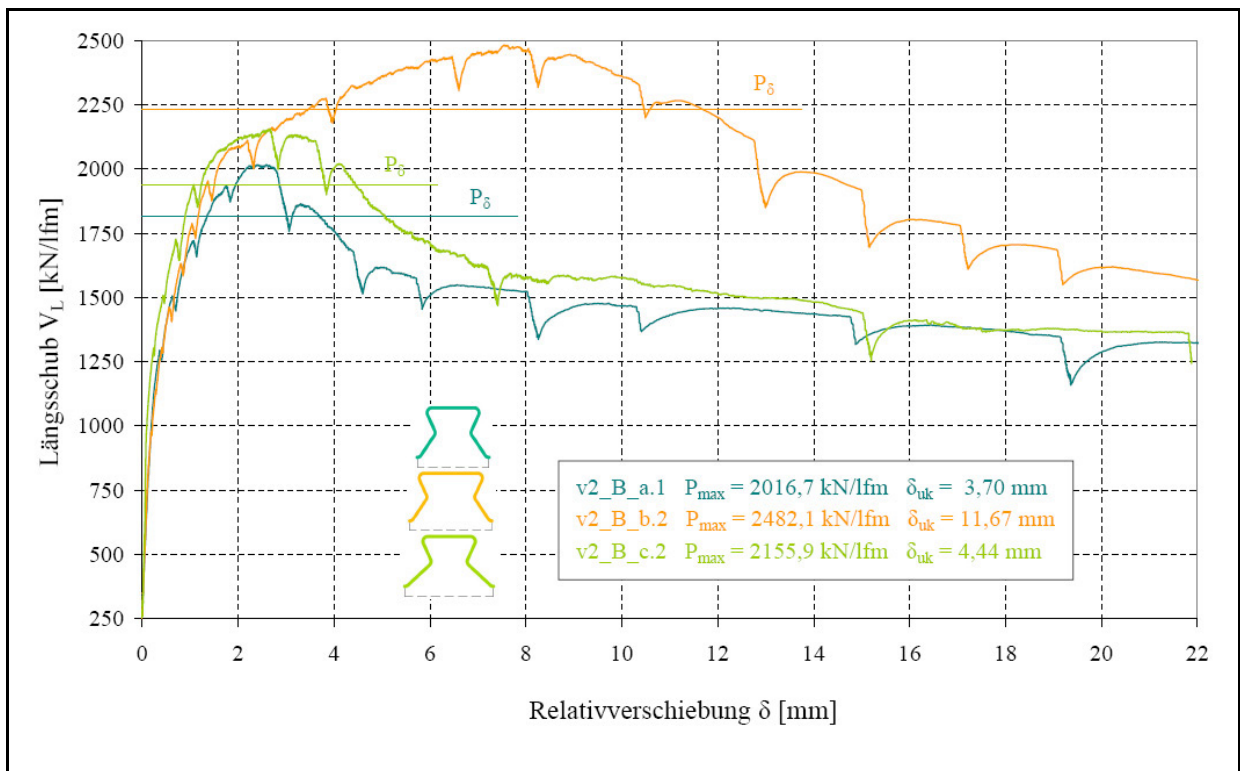


Abbildung 73: Auswertung und Analyse der Versuche v2_B – Dübelkennlinien

Wie schon in Kapitel 3.2 angeführt dürfen die getesteten Stahldübelleisten als duktiles Verbundmittel eingestuft werden, wenn das charakteristische Verformungsvermögen den Wert $\delta_{uk} = 6 \text{ mm}$ überschreitet. Dieses Kriterium wird nach Abbildung 73 nur von Prüfkörper v2_B_b.2 erfüllt.

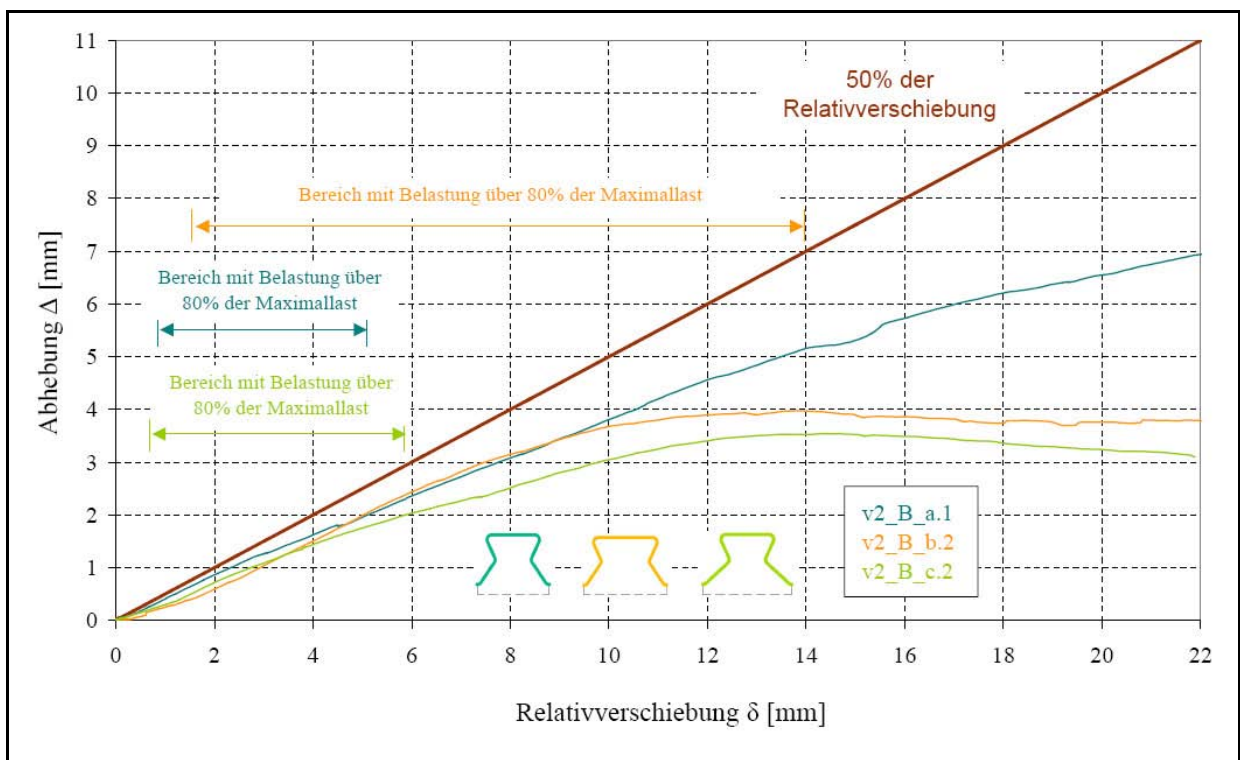


Abbildung 74: Auswertung und Analyse der Versuche v2_B – Abhebekennlinien

Die von [14] vorgegebene Bedingung, dass die Verankerung gegen Abheben als ausreichend steif und tragfähig angesehen werden darf, wenn die gemessene Abhebung Δ im Belastungsbereich von $\leq 80\%$ der Maximallast den 50%-Wert der Relativverschiebung δ nicht überschreitet, wird nach Abbildung 74 von allen Versuchskörpern erfüllt.

3.4. Rissentwicklung und Schadensbilder

Bei ca. 80% der erreichten Maximallast $P_{\max}$ öffneten sich meist im Bereich rund um die Aussparung in den Betonplatten die ersten Risse. Die beobachteten Rissbreiten waren aber sehr gering. Ab ca. 90% von $P_{\max}$ öffneten sich vor allem auf den Außenseiten der beiden Betonplatten entlang der beiden Dübelleisten verlaufende Risse (Abbildung 75, links). Diese setzten immer an den Aussparungen an und verlängerten sich bis zum Erreichen von $P_{\max}$ über die gesamte Dübelblechlänge bis hin zum lastnahen Ende der Betonkörper. Meist fächerten sich diese Risse im Bereich der Aussparung auch in die Breite auf (Abbildung 75, rechts).

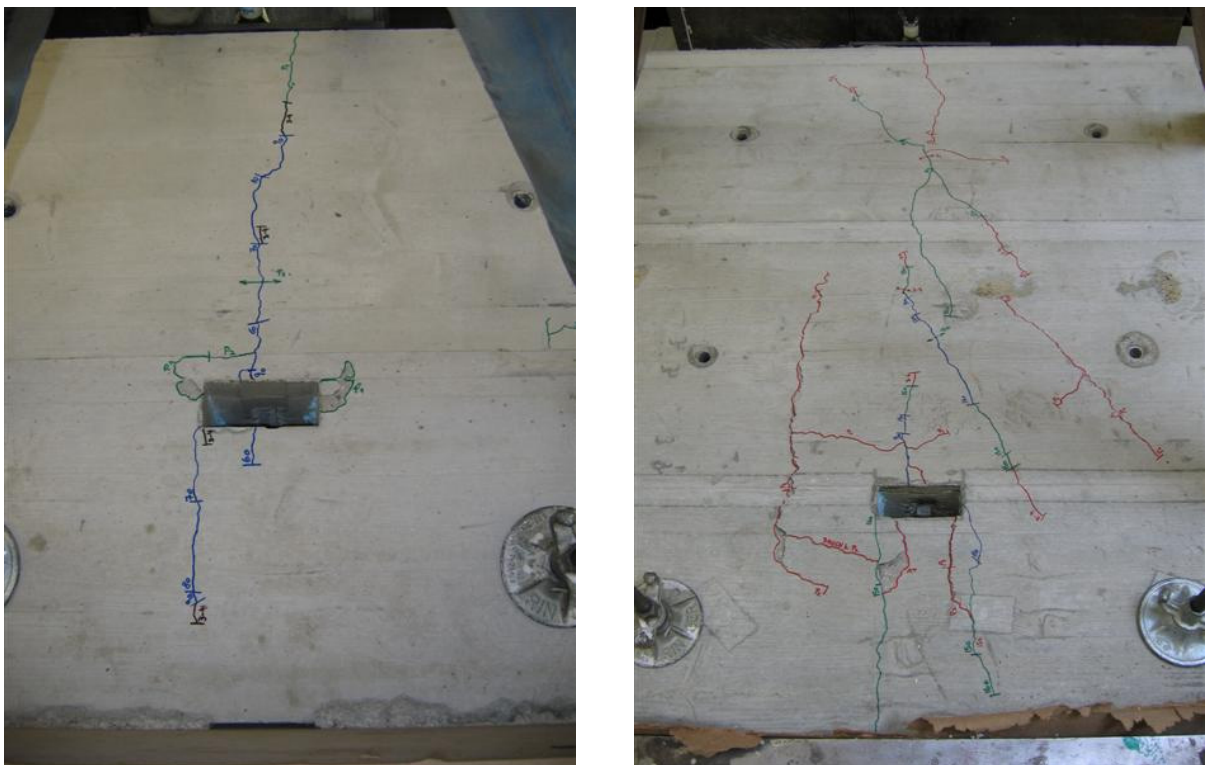


Abbildung 75: Entlang der Dübelleiste an der Betonplattenaußenseite verlaufende Risse (links), im Bereich der Aussparung sich in die Breite auffächernde Rissbildung (rechts)

Mit Erreichen von $P_{\max}$ war die Rissbildung im Wesentlichen abgeschlossen. Im Nachbruchbereich vergrößerten sich die Risse an den lastnahen Stirnseiten der Betonkörper

zum Teil beträchtlich bis auf Werte von mehreren Millimetern (Abbildung 77). In Abbildung 77 ist auch das Abheben des Betonkörpers von der Dübelleiste sehr gut erkennbar. Zusätzlich kam es an den außen liegenden Oberflächen der beiden Betonplatten zu Hebungen von Teilbereichen des Betons im Bereich der Dübelleiste (Abbildung 76, links). An den innen liegenden Oberflächen der beiden Betonplatten kam es, vom Bereich zwischen den zwei Zähnen der Dübelleisten ausgehend, zu schollenförmigen Betonausbrüchen. Aus dem dadurch offen gelegten Bereich rieselte durch lokale Überbeanspruchung zermahlener Beton, der vor allem von den Bereichen vor den Lasteintragungsflächen der Stahldübelzähne stammt (Abbildung 76, rechts).

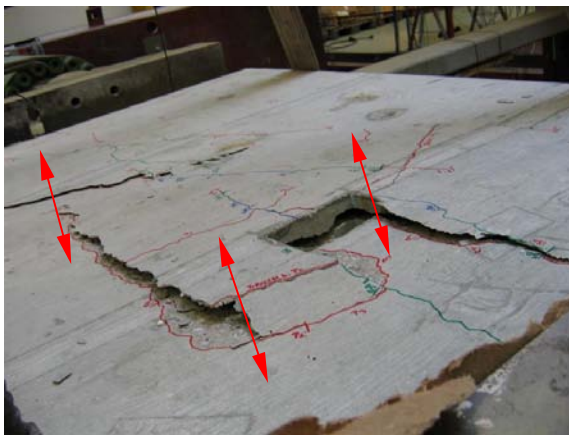


Abbildung 76: Hebung der Betonoberfläche an der Außenseite im Bereich der Dübelleiste (links), schollenartiger Ausbruch mit fehlendem Beton im Bereich der Lasteintragungsfläche des Stahldübel (rechts).

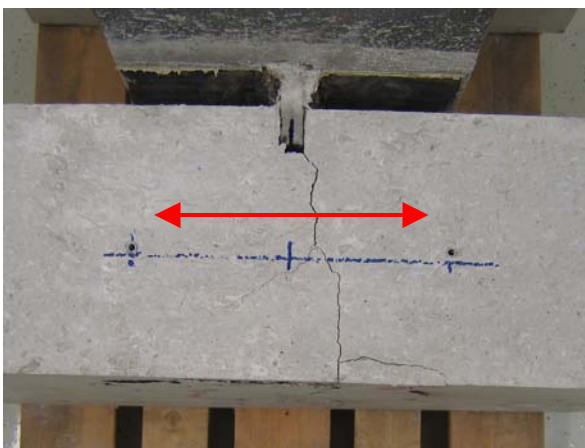


Abbildung 77: Risse an der lastnahen Stirnseite des Betonkörpers

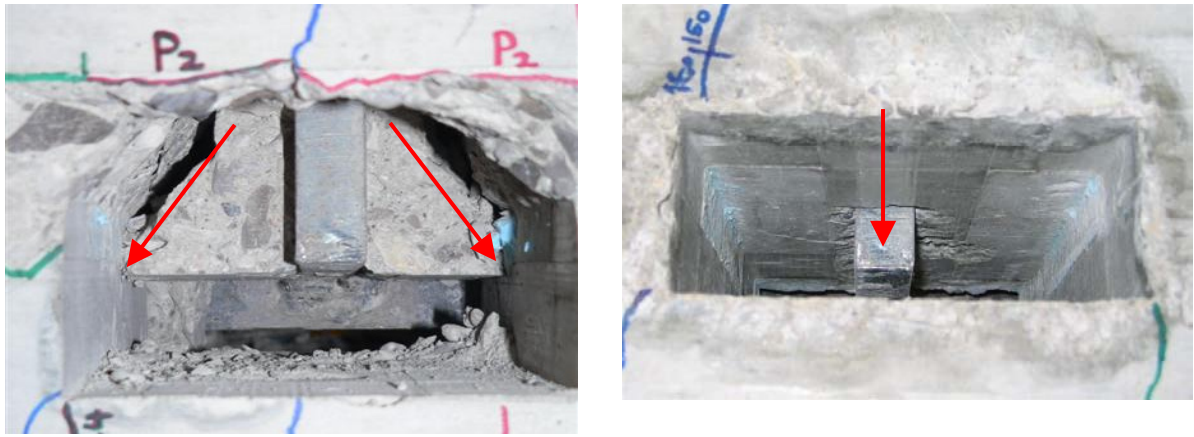


Abbildung 78: Ausschieben mit kegelförmigem Ausbruch (links), Ausschieben ohne Ausbruch (rechts)

3.5. Versagenskriterien

Nach [14] lassen sich verschiedene Versagensformen beobachten. Zum einen ist dies die maximal ertragbare Teilflächenpressung, die zu einem Spalten des Betonkörpers bzw. zu einem grundbruchartigen Ausbruch des Betons zur Oberfläche führt. Zum anderen kam es bei den Push-Out-Versuchskörpern mit Kronendübel (Gruppe v2_B) durch das Schieben der Dübelleiste in die Ausnehmung der Betonplatte zu einem kegelförmigen Ausbruch in diese Ausnehmung hinein (Abbildung 78, links). Bei den Push-Out-Versuchskörpern mit puzzelförmigen Dübeln (Gruppe v2_A) wurde die Dübelleiste ohne Ausbruch in die Ausnehmung hineingeschoben. (Abbildung 78, rechts).

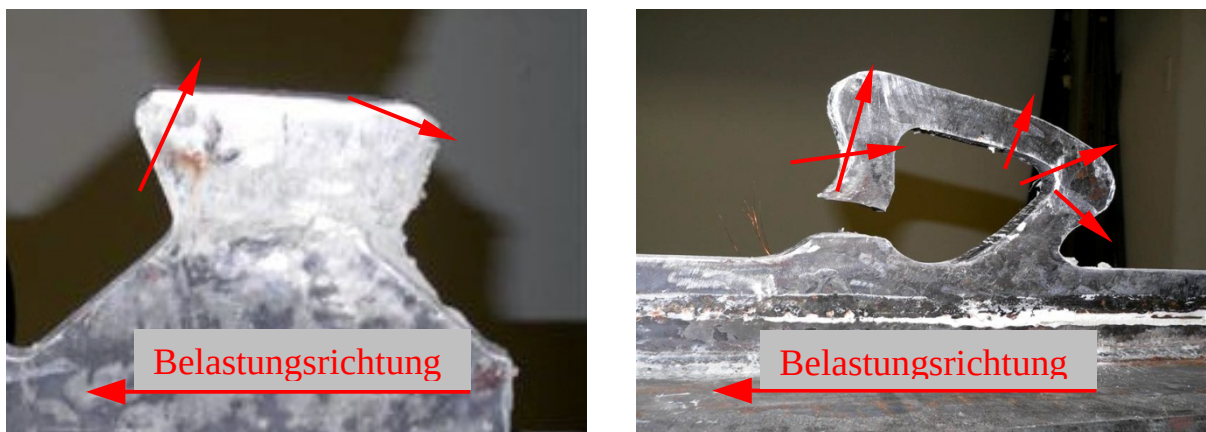


Abbildung 79: Plastische Verformung eines Stahldübels des Versuchskörpers v2_B_b.1 (links), plastische Verformung eines Stahldübels des Versuchskörpers v2_A_a.2 (rechts)

Bei allen sieben Push-Out-Versuchskörpern, im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung, kam es im Bereich der maximal erreichten Versuchslast zu einer Rissbildung entlang der Dübelleisten, die sich bis zu den Stirnseiten der Betonkörper erstreckte (Abbildung 77). Ein

vollständiges Spalten der Betonplatten entlang dieser Linie trat aber in keinem Fall auf. Zusätzlich kam es wie schon in Kapitel 3.4 angeführt, ausgehend vom Bereich zwischen den Zähnen der Dübelleisten, zum Ausbruch bzw. Abheben von Betonschollen (Abbildung 76, links).

In Abbildung 80 ist die Winkeländerung einer Spannungshaupttrichtung im Prüfungsverlauf grafisch dargestellt. Die angegebenen Winkel wurden, gemäß Abschnitt 2.6 dieser Arbeit, aus den aufgezeichneten DMS-Messdaten berechnet. Als Zeitpunkte wurden jeweils die Lastplateaus vor und nach Erreichen von $P_{\max}$ gewählt. V.2 bezeichnet zum Beispiel das zweite Lastplateau vor Erreichen von $P_{\max}$. Analog dazu bezeichnet N.1 das erste Lastplateau im Nachbruchbereich.

In Abbildung 80 ist dieser Verlauf für den Push-Out-Versuchskörper v2_B_a.1 dargestellt. Da der Richtungspfeil von DMS4 steiler steht, als der von DMS3, kommt es zu einer Drehung des Dübels nach rechts. Diese Drehung führt dazu, dass die linke Seite des Kronendübels nach oben geht und somit Druck auf den darüber liegenden Teil der Betonplatte ausübt. Das wiederum führt in weiterer Folge zum schollenförmigen Abheben der Betonoberseite (Abbildung 76, links).

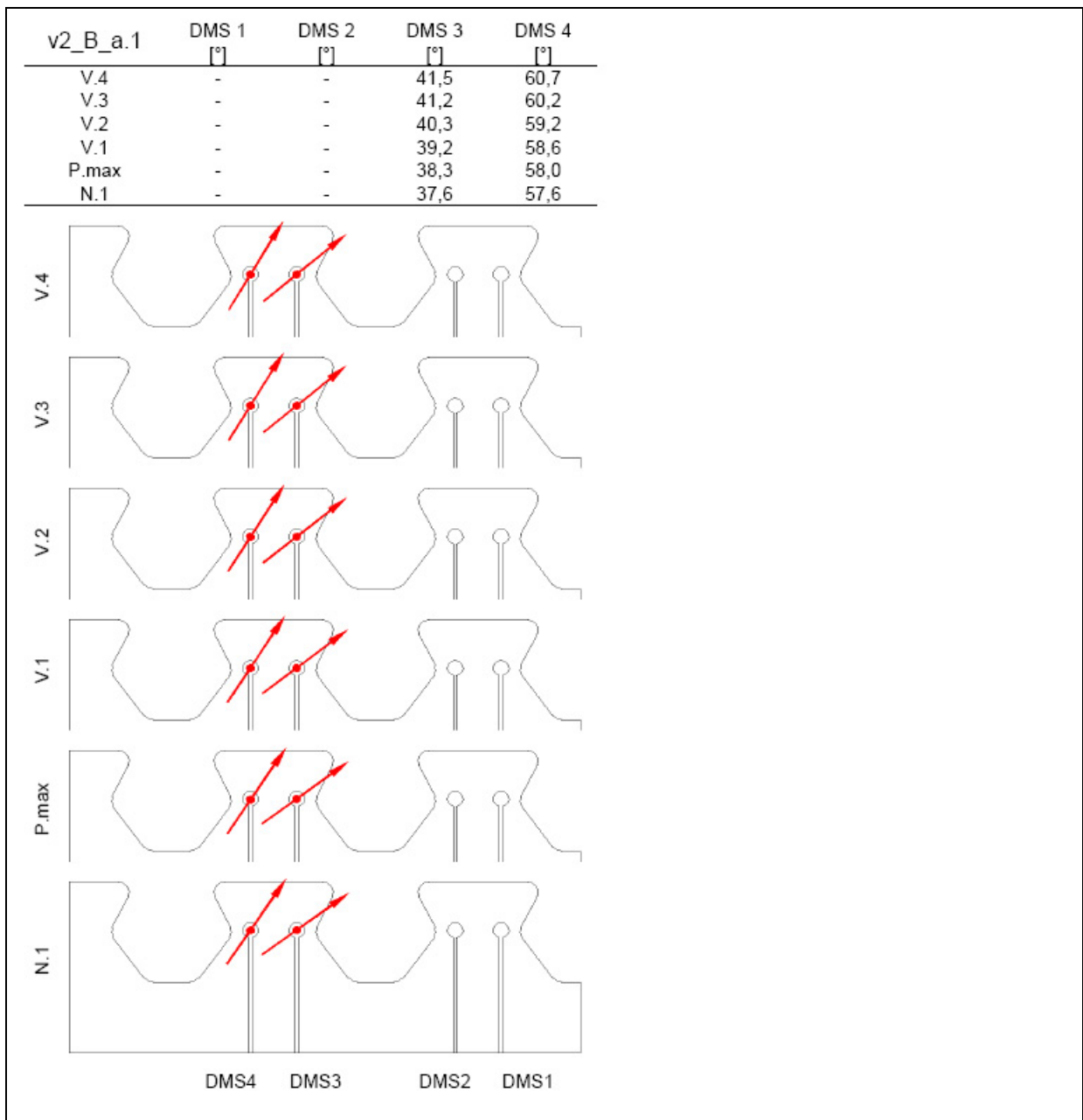


Abbildung 80: Winkeländerung im Verlauf der Prüfung bei v2_B_a.1

Nach Abschluss der Versuche wurden die Betongurte jener Push-Out-Versuchskörper von den Stahlteilen abgehoben, bei denen das Aufgrund der fortgeschrittenen Zerstörung möglich war. Dadurch wurde festgestellt, dass es bei den Versuchen nur zu einer lokalen Zerstörung des hoch beanspruchten Betons im Bereich der Lasteintragungsfläche der Stahldübel kam. Die ausgebauten Stahldübel weisen lokal begrenzte plastische Verformungen auf (Abbildung 79, links). Bei v1_A_a.2 hingegen kam es sogar zu einer Rissbildung (Abbildung 79, rechts) in Folge zu großer Scherkräfte.

4. Zielerreichung und Folgerungen aus den Versuchsergebnissen

4.1. Zusammenfassung

Ziel dieser Forschungsarbeit war die Analyse des Trag- und Verformungsverhaltens eines Verbundmittels für den Stahl-Beton-Verbundbau. Im Speziellen sollte das Potenzial einer Alternative zum Kopfbolzendübel erforscht werden. Zu diesem Zweck wurde, aufbauend auf den Erkenntnissen der Versuche aus dem Jahr 2005 (Serie I), im Juni 2006 mit der Herstellung von Push-Out-Versuchskörpern (Serie II) begonnen. Die wesentlichen Veränderungen gegenüber Serie I sind die höhere Betongüte und eine zusätzliche Bewehrung im Bereich zwischen den Stahldübeln, wie in Abbildung 16, rechts rot dargestellt.

Die Herstellung der Push-Out-Versuchskörper umfasste die Fertigung der Schalungen für die Betonkörper, die Herstellung der Bewehrungskörbe und die Montage der Messtechnik. Nach dem Betonieren der 14 Betonkörper der 7 Push-Out-Versuchskörper, der 15 Würfel und 6 Prismen Mitte Juli 2006 erfolgten alle Prüfungen in der ersten Septemberwoche 2006. Zuerst wurden die Druckprüfungen an der Hälfte der Würfel und Prismen durchgeführt. Anschließend erfolgten die Versuche an den 7 Push-Out-Versuchskörpern zur Ermittlung des Trag- und Verformungsvermögens von Stahldübelleisten. Diese lassen sich anhand ihrer Form in zwei Gruppen unterscheiden. Einerseits in die Gruppe der Dübel mit Puzzleform und andererseits in die Gruppe der Dübel mit Kronenform. Wobei innerhalb der Gruppen zusätzlich die Abmessung der Dübel variierten. Außerdem wurden in der Gruppe mit Puzzleform zwei Sonderformen anhand der bestehenden Geometrie durch Aus- bzw. Einschnitte entwickelt. Abschließend wurden die restlichen Würfel und Prismen geprüft. Danach wurde die Analysephase begonnen.

Am Beginn der Analyse der Ergebnisse stand das schrittweise Zerlegen der Betonkörper um sich ein genaues Bild der am stärksten beanspruchten Bereiche zu machen. Nicht in allen Fällen konnten die Dübelleisten wieder gewonnen werden.

Alle Dübelleisten erfüllten die Anforderung an das Abheben der Betonplatten. Alle Dübelleisten der ersten Gruppe mit Puzzleform (v2_A) und eine Dübelleiste aus der Gruppe mit Kronenform (v2_B_b.1) erfüllten darüber hinaus die Anforderungen an die Duktilität. Der Versuchskörper v2_B_b.1 erreichte ein extrem hohes Tragvermögen bei gleichzeitig

hervorragendem Verformungsvermögen. Der Versuchskörper v2_A_c.1 reichte als einziger der Gruppe mit Puzzleform an das hohe Tragvermögen der Gruppe mit Kronenform heran. Weiters hervorzuheben ist auch die Dübelleiste v2_A_a.2, da sie trotz ihres Ausschnittes bei ansonst identischen Abmessungen das gleiche Lastniveau wie die Dübelleiste v2_A_a.1 erreichte. Das Verformungsvermögen liegt allerdings über dem von v2_A_a.1.

Besonders auffallend war, dass es bei den Dübelleisten mit Kronenform zum Herausdrücken eines Betonkegels in die vorgesehene Ausnehmung kam. Das kann einerseits an einer zu großen Ausnehmung im Beton selbst oder andererseits am geringen Abstand des ersten Dübels zur Ausnehmung liegen. Aus diesem Grund konnte sich die Druckstrebe im Beton nicht vollständig ausbilden, wodurch die Leistungsfähigkeit der gesamten Dübelleiste entsprechend vermindert wurde. Es handelt sich vor allem um die Versuche v2_B_a.1. und v2_B_c.1.

Im Vergleich zur Serie I, haben sich die Verwendung einer höheren Betongüte und die zusätzliche Anordnung einer Bewehrung zwischen den Stahldübeln positiv auf das Tragverhalten der Push-Out-Versuchskörper der Serie II ausgewirkt. Die in den Versuchen erreichte Traglast war, bei gleichzeitig geringerem Abheben der Betonplatten, höher.

4.2. Einfluss auf die Messergebnisse

Der gesamte Versuchskörperbau sowie die anschließende Prüfung wurden in einer bei Raumtemperatur temperierten Halle durchgeführt. Alle Prüfungen fanden unter der selben Bedingung statt. Insofern können Schwankungen zwischen den Messergebnissen der einzelnen Prüfkörper ausgeschlossen werden.

4.3. Darstellung der Zielerreichung anhand der Beantwortung der Forschungszielsetzung

In diesem Abschnitt werden die Forschungszielsetzung aus Kapitel 1.2. beantwortet und dadurch die Zielerreichung dargestellt.

- *Die Herstellung der Versuchskörper zur Ermittlung der Materialkennwerte.*

Es wurden 15 Betonwürfel mit einer Seitenlänge von 15 cm und 6 Betonprismen mit den Abmessungen 15 x 15 x 60 cm aus dem selben Beton, wie die Platten der Push-Out-Versuchskörper, hergestellt.

▪ *Die Herstellung der Push-Out-Versuchskörper.*

Es wurden 7 Push-Out-Versuchskörper mit jeweils anderer Geometrie der Dübelleisten hergestellt. Diese Geometrien teilen sich in zwei Hauptgruppen. Eine Dübelform einer Gruppe erinnert an Puzzleteile, die Dübelform der anderen Gruppe lässt sich mit einer Krone vergleichen. Daher erfolgt die Unterscheidung in Push-Out-Versuchskörper mit Dübelleisten in Puzzleform und Kronenform. In den Gruppen unterscheiden sich diese Dübelleisten zusätzlich in einigen Abmessungen, wie zum Beispiel in ihren Längsabmessungen. Genau dargestellt wird dies in (Abbildung 23).

▪ *Die Durchführung aller Prüfungen.*

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zur Bestimmung der Materialkennwerte des eingesetzten Betons 15 Würfelprüfungen und 6 Prismenprüfungen durchgeführt. Weiters wurden 7 Push-Out-Versuchskörper geprüft.

▪ *Die Erstellung der einzelnen Dübelkennlinien.*

Aus den, während der Prüfungen, aufgezeichneten Messwerten, wurden für jeden Push-Out-Versuchskörper Dübelkennlinien ermittelt und grafisch dargestellt.

▪ *Die Auswertung der DMS-Messdaten.*

Für jeden Push-Out-Versuchskörper wurden die DMS-Messdaten ausgewertet und auf ihre Plausibilität überprüft. Im Verlauf der Bearbeitung dieser Daten, hat sich herausgestellt, dass nur etwa 55% der eingesetzten DMS brauchbare Werte lieferten.

▪ *Die Analyse der Bruchbilder.*

Während der Prüfung wurde bei jedem Push-Out-Versuchskörper das Fortschreiten der Rissentwicklung, sowohl in der oberen, als auch in der unteren Betonplatte, dokumentiert. Zusätzlich wurden Ausbrüche, Abhebungen und Abplatzungen fotografisch festgehalten. Nach Beendigung der Prüfungen wurden, nach Möglichkeit, die Dübelleisten zerlegt, um sich ein genaueres Bild des Lasteinleitungsbereiches zu machen. Aus der Fülle der Aufnahmen wurden die Bruchbilder anschließend analysiert.

4.4. Ausblick

Da im Rahmen der Forschungsarbeit jeweils nur ein Versuch mit gleicher Dübelgeometrie durchgeführt wurde, können die Ergebnisse als Anhaltspunkt auf dem weiteren Weg zur Entwicklung eines neuen Verbundmittels im Stahl-Beton-Verbundbau betrachtet werden. Aufbauend auf den bereits gewonnen Erkenntnissen dieser Arbeit müssen aber noch detaillierte weiterführende Versuchsserien, zur Absicherung der Ergebnisse aus den Versuchen und den daraus gezogenen Schlüssen, durchgeführt werden. Grundlage für weitere Versuche sollten die, aufgrund des hohen Tragvermögens und guten Verformungsvermögens, vielversprechenden Geometrieformen v2_A_c.1 und vor allem v2_B_b.1 sein. Eventuell könnte auch die Geometrieform v2_A_a.2 mit ihrem Ausschnitt im Dübel für weitere Betrachtungen interessant sein. Danach sollten sich konkretere Aussagen bezüglich der endgültigen Dübelform, entweder Puzzle- oder Kronenform, treffen lassen. Nach Vorliegen von statistisch gesicherten Ergebnisse können diese zur Kalibrierung einer Finite Elemente Berechnung zur weiteren Optimierung der Dübelform herangezogen werden. Darauf basierend kann die Praxistauglichkeit dieser neuartigen Schubsicherung beurteilt und somit eine bauaufsichtliche Zulassung angestrebt werden.

5. Anhang

5.1. Auswertung der einzelnen Push-Out-Versuche

5.1.1. Allgemeines

5.1.1.1. *Zustand der Push-Out-Versuchskörper vor Versuchsbeginn und deren Einbausituation*

Hier wird der Zustand der Push-Out-Versuchskörper vor Versuchsbeginn und deren Einbausituation beschrieben. Der Zustand der Push-Out-Versuchskörper vor Versuchsbeginn wurde durch eine rein optische Kontrolle unter Zuhilfenahme einer Richtlatte mit eingebauter Wasserwaage festgestellt.

5.1.1.2. *Beschreibung des Versuchsablaufs*

Hier werden die jeweiligen Dübelkennlinien und zugehörigen Abhebekennlinien dargestellt. Eventuelle Auffälligkeiten während des Versuchsablaufes, wie zum Beispiel ein Knall, ein besonders starkes Knistern, ein Abplatzen von Betonschollen, etc. werden mit Zeitpunkt des Auftretens genannt und wenn möglich einer Quelle bzw. einem bestimmten Ort zugeordnet.

5.1.1.3. *Beschreibung des Betonkörpers*

Hier finden sich grafische Auswertungen der während des Versuchsablaufs gemachten Aufnahmen und Markierungen von den jeweils äußeren Seitenflächen der Push-Out-Versuchskörper zu drei definierten Zeitpunkten. Die ersten Bilder zeigen den Zustand bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Die nächsten Bilder zeigen den Zustand bei Erreichen der Maximallast $P_{\max}$ und die dritte Bilderfolge stellt den Zustand der Push-Out-Versuchskörper am Versuchsende dar.

Außerdem sind Fotos der Push-Out-Versuchskörper abgebildet, die sozusagen den Beweis für die Korrektheit der grafischen Aufarbeitung darstellen. Detailfotografien stellen eine Ergänzung zur Beschreibung von besonders auffälligen Verformungen des Push-Out-Versuchskörpers dar.

5.1.1.4. *Beschreibung des Dübelblechs*

Der Ausbau der Dübelbleche war nicht bei allen Push-Out-Versuchskörpern mit dem zur Verfügung stehenden Werkzeug möglich bzw. hätte zu einem nicht zu vertretbaren Zeitaufwand geführt. Das war vor allem bei jenen Push-Out-Versuchskörpern der Fall, deren Betonscheiben während des Versuchs kaum beschädigt wurden.

Wenn ein Eintrag vorliegt, dann handelt es sich um Vergleiche der Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch. Die Verformung der Ausgangsform stammt von den Push-Out-Versuchen der Serie I. Diese ist schwarz dargestellt. Die Verformung, hervorgerufen durch die Beanspruchung der Push-Out-Versuchskörper der Serie II, ist rot dargestellt und im Allgemeinen erheblich größer, als die der Serie I.

5.1.1.5. *DMS-Auswertung*

In jeweils einer Dübelleiste pro Push-Out-Versuchskörper wurden je nach Typ 4 oder 6 DMS-Rosetten installiert. In Tabelle 7 findet sich eine Übersicht über die Anzahl, Lage und Anordnung der einzelnen DMS-Rosetten im Dübelblech. Außerdem sind die funktionstüchtigen DMS-Rosetten und das Verhältnis von eingesetzten zu messwertliefernden, also funktionstüchtigen DMS-Rosetten für jeden Push-Out-Versuchskörper aufgelistet. Das Gesamtverhältnis beträgt ca. 55%. Grob gesagt, lieferte fast jede zweite DMS-Rosette keine verwertbaren Messdaten.

Diese Ausfälle können viele Gründe haben, da es eine ganze Reihe von möglichen Fehlerquellen gibt. Zwar wurden nach bestimmten Arbeitsfortschritten Kontrollmessungen vorgenommen. So wurde zum Beispiel nach dem Aufkleben und Anlöten der Verkabelung jeder DMS ausgemessen und für gut befunden. Nach dem Abkleben, der Montage der Schalung, dem Betonieren und Entfernen der Schalung wurde auf eine Messung verzichtet, da eine Reparatur ohnehin nicht mehr möglich gewesen wäre. Durch das Umsetzen der Push-Out-Versuchskörper mit dem Kran bzw. dem Hubwagen, das mit großer Vorsicht stattfand, kann es ebenfalls zu Beeinträchtigungen der sensiblen Verkabelung bzw. Verklebung der DMS gekommen sein.

Nach dem Einheben der Push-Out-Versuchskörper in den großen Prüfraumen wurden die Messleitungen einerseits am Verteilerbrett und am anderen Ende am Signalverstärker angeschlossen. Hier lieferten auch nach mehrmaliger Kontrolle drei DMS überhaupt keine Signale. Diese wurden somit von Beginn an ausgeschieden. Nach Beendigung der Versuche

und Sichtung der Messdaten, mussten weitere DMS ausgeschieden werden, da entweder keine Werte oder massiv „springende“ Werte aufgezeichnet wurden.

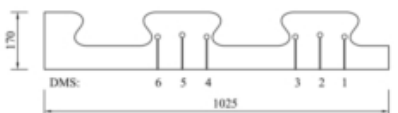
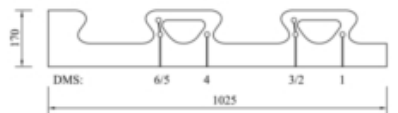
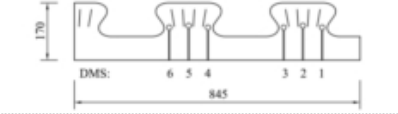
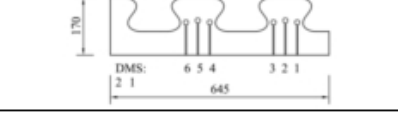
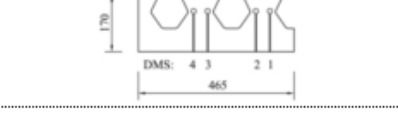
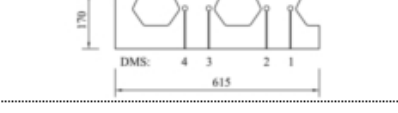
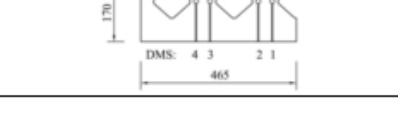
Dübelbleche			DMS	DMS O.K.		
Lageskizzen	Nr.	Bezeichnung	[Stk.]	[Stk.]	[%]	[ID]
	PK1	v2_A_a.1	6	1	17	6
	PK5	v2_A_a.2	6	5	83	1; 2; 3; 5; 6
	PK4	v2_A_b.2	6	4	66	1; 2; 4; 5
	PK3	v2_A_c.1	6	4	66	1; 2; 4; 6
	PK6	v2_B_a.1	4	2	50	3; 4
	PK7	v2_B_b.1	4	2	50	1; 4
	PK8	v2_B_c.1	4	2	50	3; 4

Tabelle 7: DMS-Anordnung und -Ausfall

Pro Push-Out-Versuchskörper werden die aufgezeichneten Verzerrungen und die daraus errechneten Spannungen jeweils in Zusammenhang mit der Dübelkraft pro Laufmeter Dübelbleiste für jede funktionierende DMS-Rosette dargestellt. Danach folgt eine Darstellung der errechneten Winkeländerung der Hauptnormalspannungen an den Stellen der DMS-Rosetten ebenfalls in Zusammenhang mit der Dübelkraft pro Laufmeter Dübelbleiste.

5.1.1.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers

Hier sind sowohl die Konstruktionspläne der Push-Out-Versuchskörper, als auch die Schalungs- und Bewehrungspläne im Einzelnen abgebildet. Diese Pläne wurden von meinem

Betreuer DI Thomas Petraschek zur Verfügung gestellt und von mir, für die Darstellung in Kapitel 5 dieser Arbeit, entsprechend adaptiert.

5.1.2. Versuchsdatenblatt v2_A_a.1 (PK1)

5.1.2.1. Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation

Nach dem Ausschalen wurden Kiesnester am lastfernen Ende der Betonplatten erkennbar. Dies ist auf eine ungenügende Verdichtungsarbeit während des Betoniervorgangs zurückzuführen. Trotzdem wurde eine planparallele Ausrichtung der späteren Kontaktflächen zur Druckplatte des großen Prüfrahmens und zur lastnahen Kopfplatte des Stahlträgers erreicht.

Das Einheben und der Einbau in den großen Prüfrahmen führten zu keinerlei Beeinträchtigungen des Push-Out-Versuchskörpers zum Beispiel durch Anschlagen. Die Druckplatten des großen Prüfrahmens konnten so ausgerichtet werden, dass beide satt am Push-Out-Versuchskörper anlagen.

5.1.2.2. Beschreibung des Versuchsablaufs

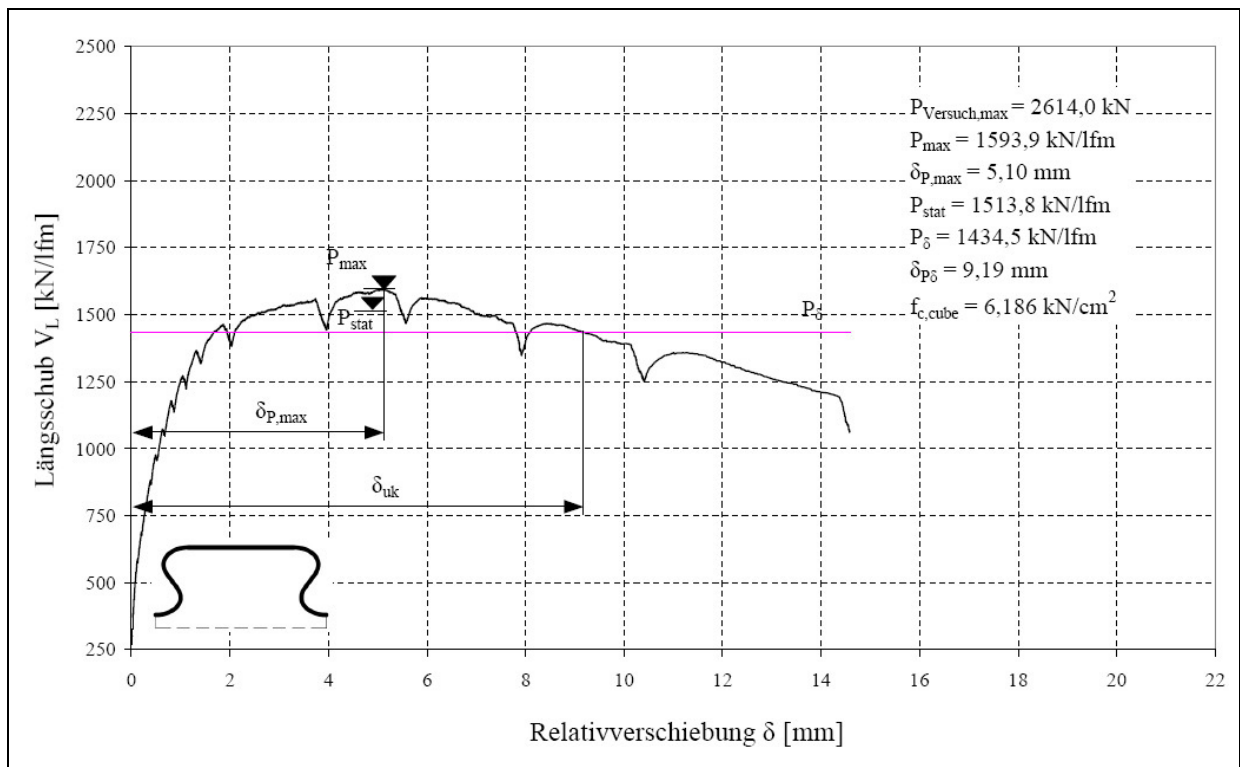


Abbildung 81: Dübelkennlinie v2_A_a.1

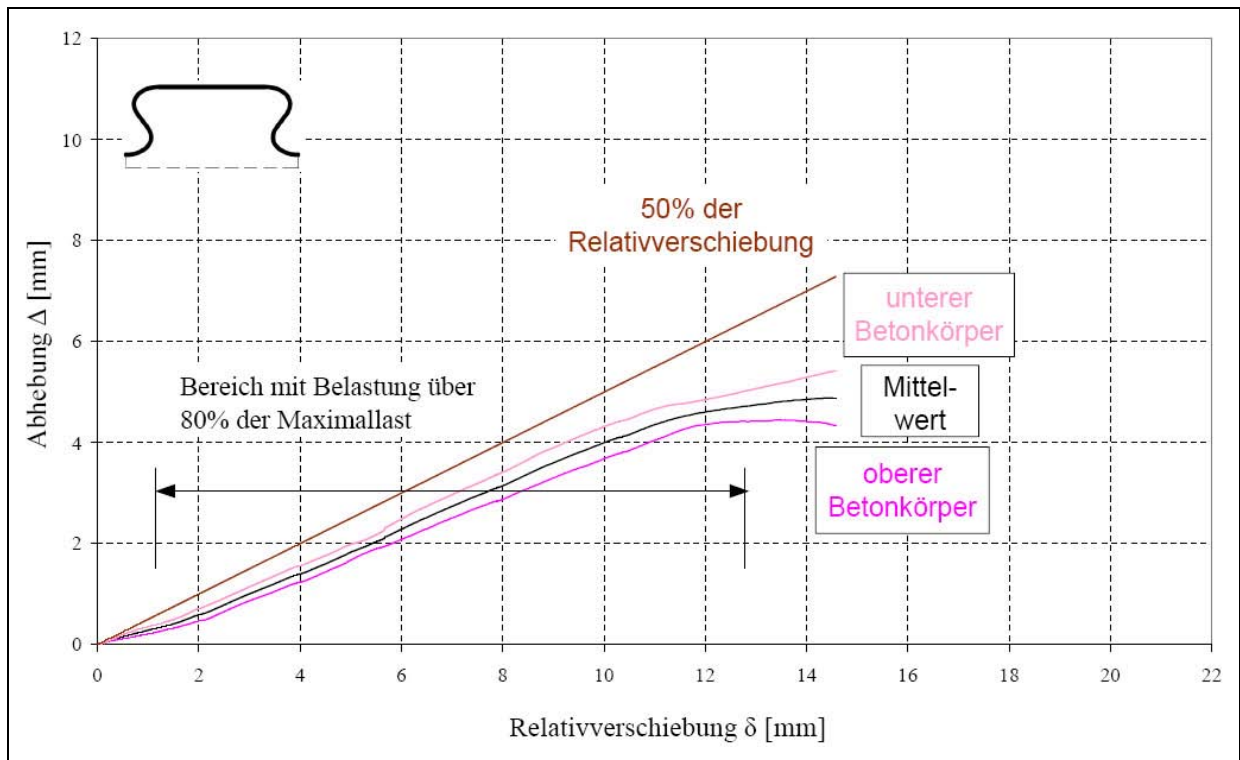


Abbildung 82: Abhebekennlinie v2_A_a.1

5.1.2.3. Beschreibung des Betonkörpers

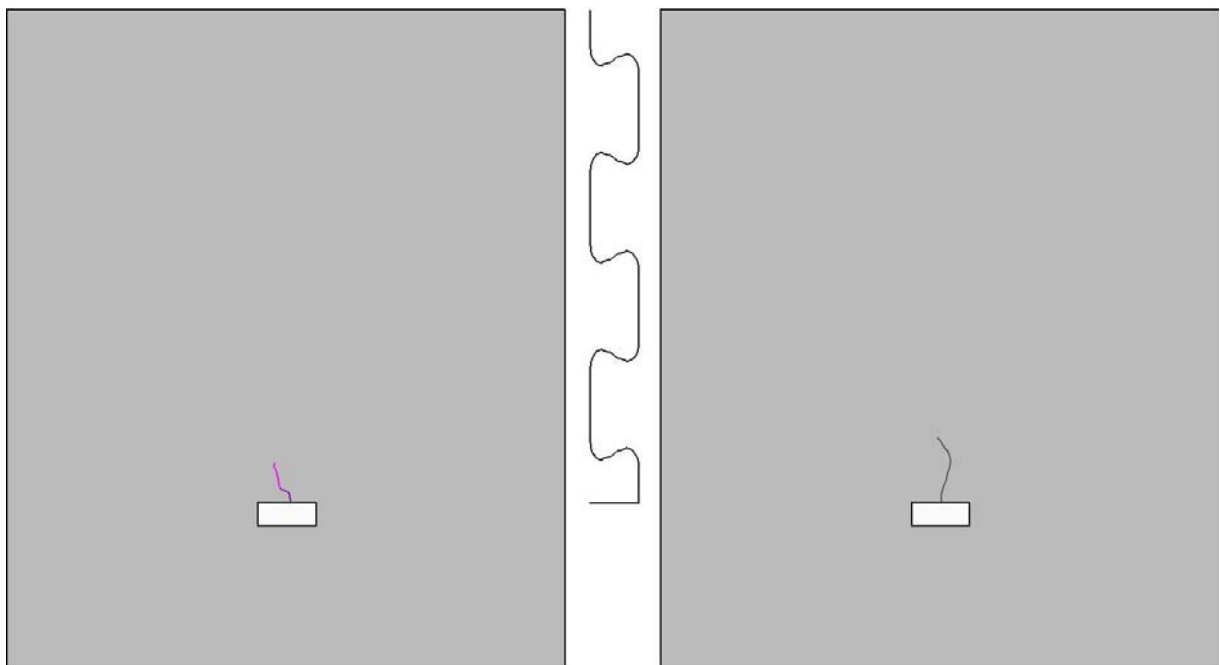


Abbildung 83: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

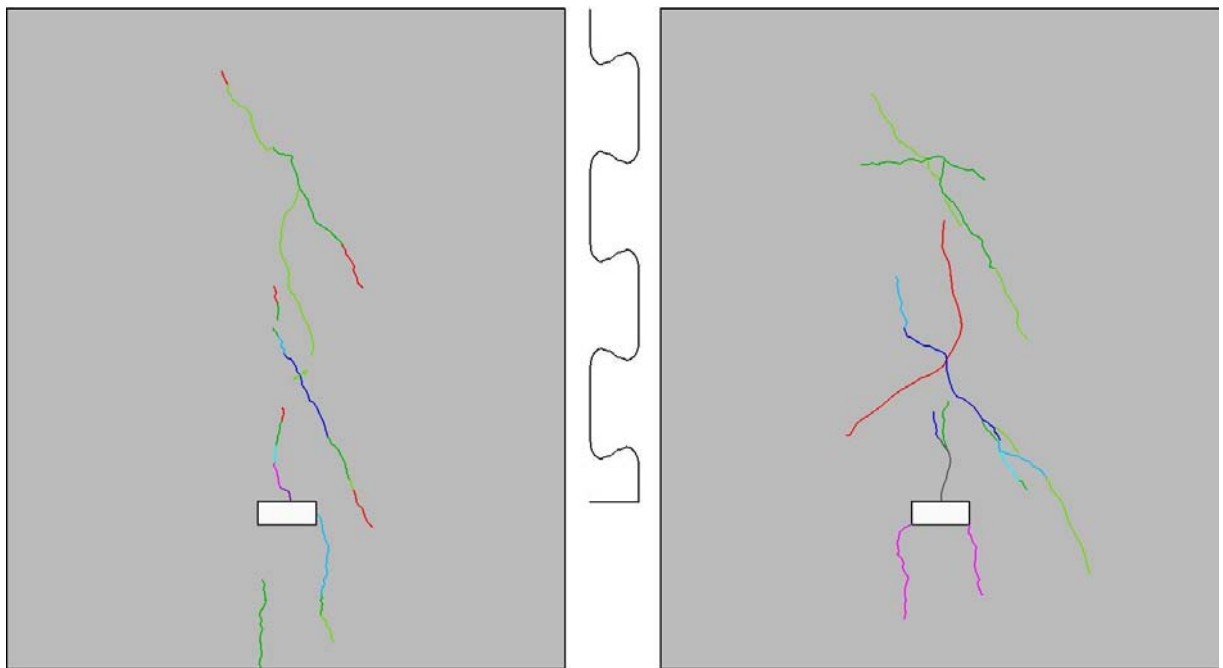


Abbildung 84: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.1 bei Erreichen von P_{max} . Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

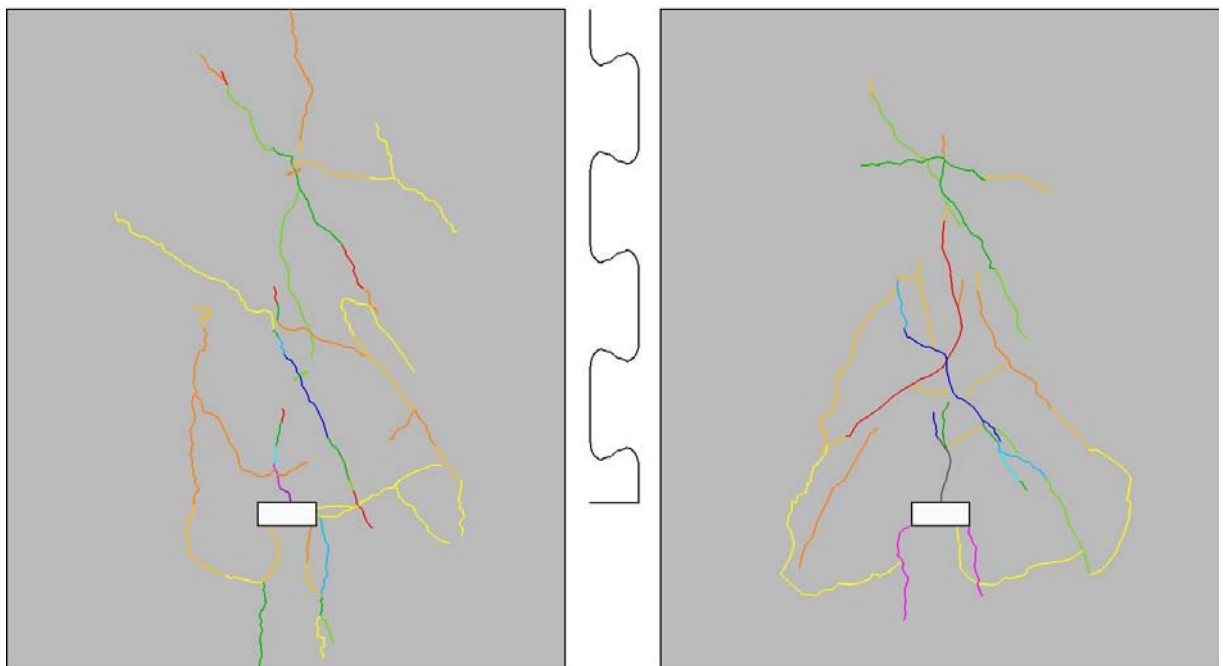


Abbildung 85: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.1 bei Versuche. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

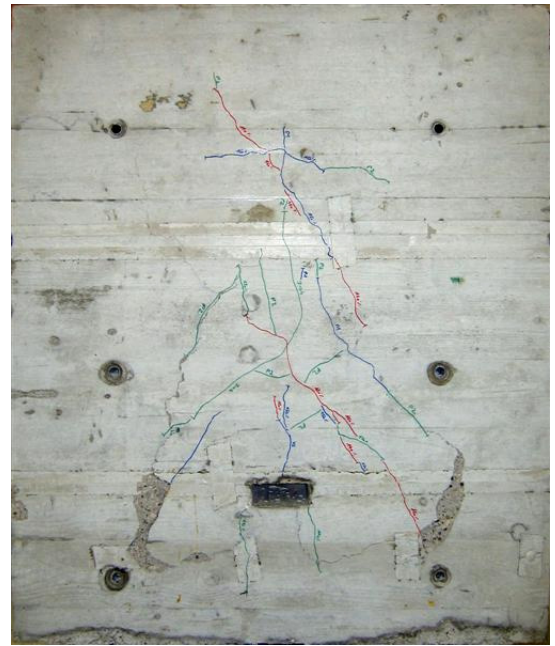
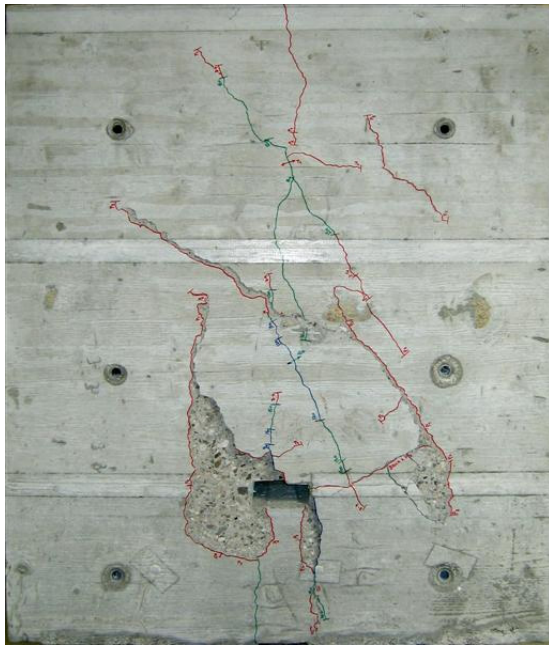


Abbildung 86: Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_a.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.



Abbildung 87: ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)

5.1.2.4. Beschreibung des Dübelblechs

Der Ausbau der Dübelbleche wurde bei diesem Prüfkörper nicht durchgeführt.

5.1.2.5. DMS-Auswertung

Bei diesem Push-Out-Versuchskörper lieferte nur eine DMS-Rosette brauchbare Messwerte. Es handelt sich dabei um DMS 6. Allerdings können auch diese Werte nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 1,2 mm zur Auswertung herangezogen werden.

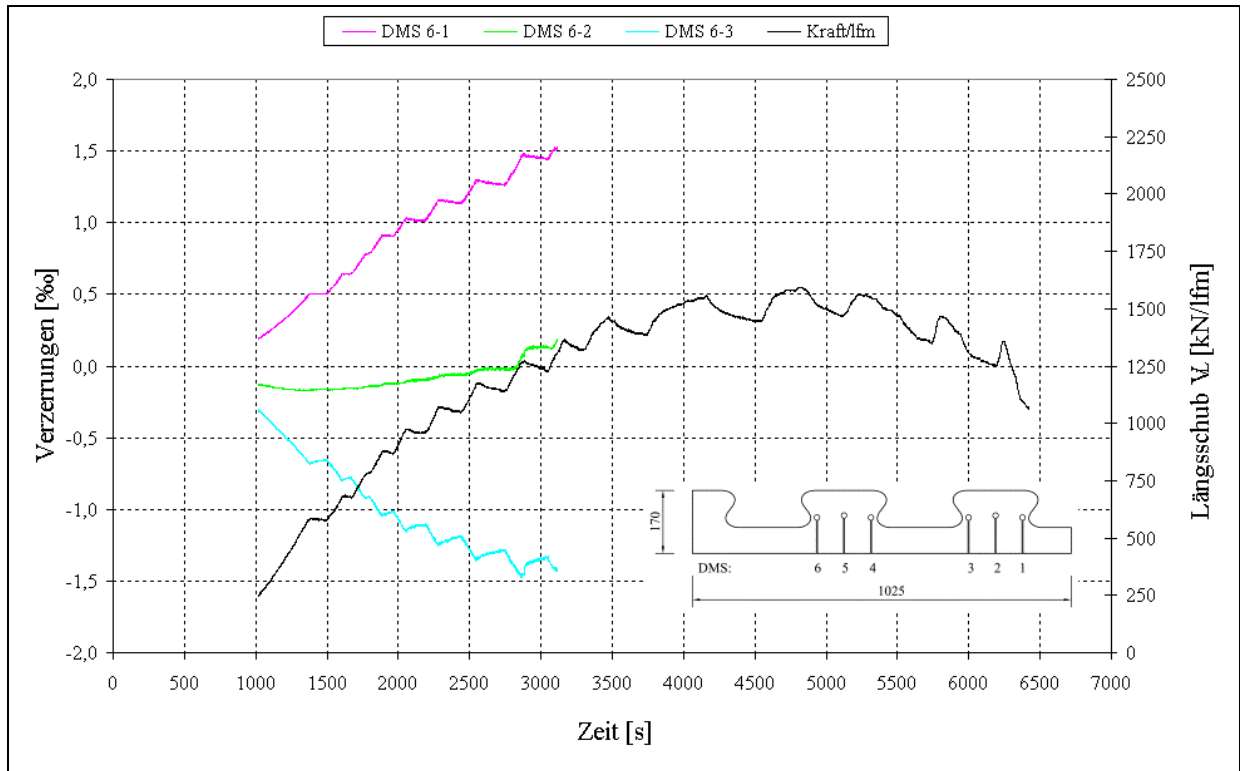


Abbildung 88: DMS 6 – Messwerte

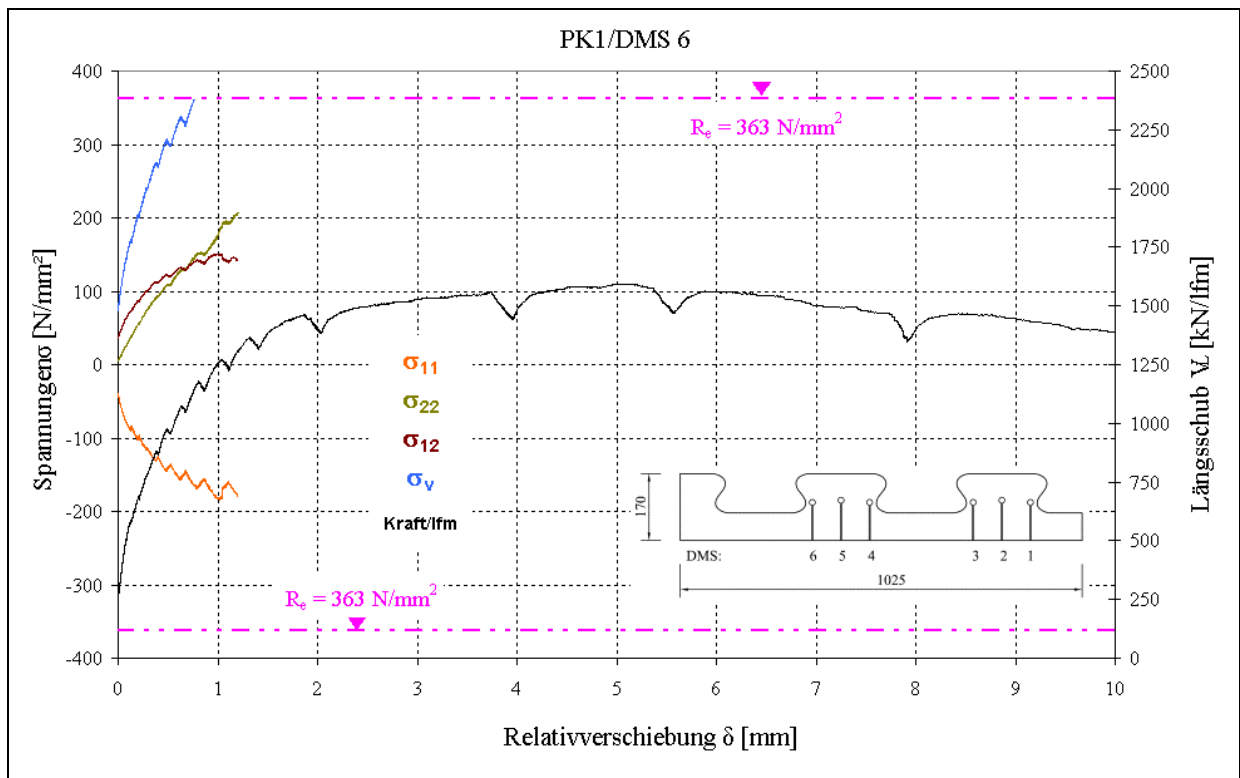


Abbildung 89: DMS 6 – Spannungen

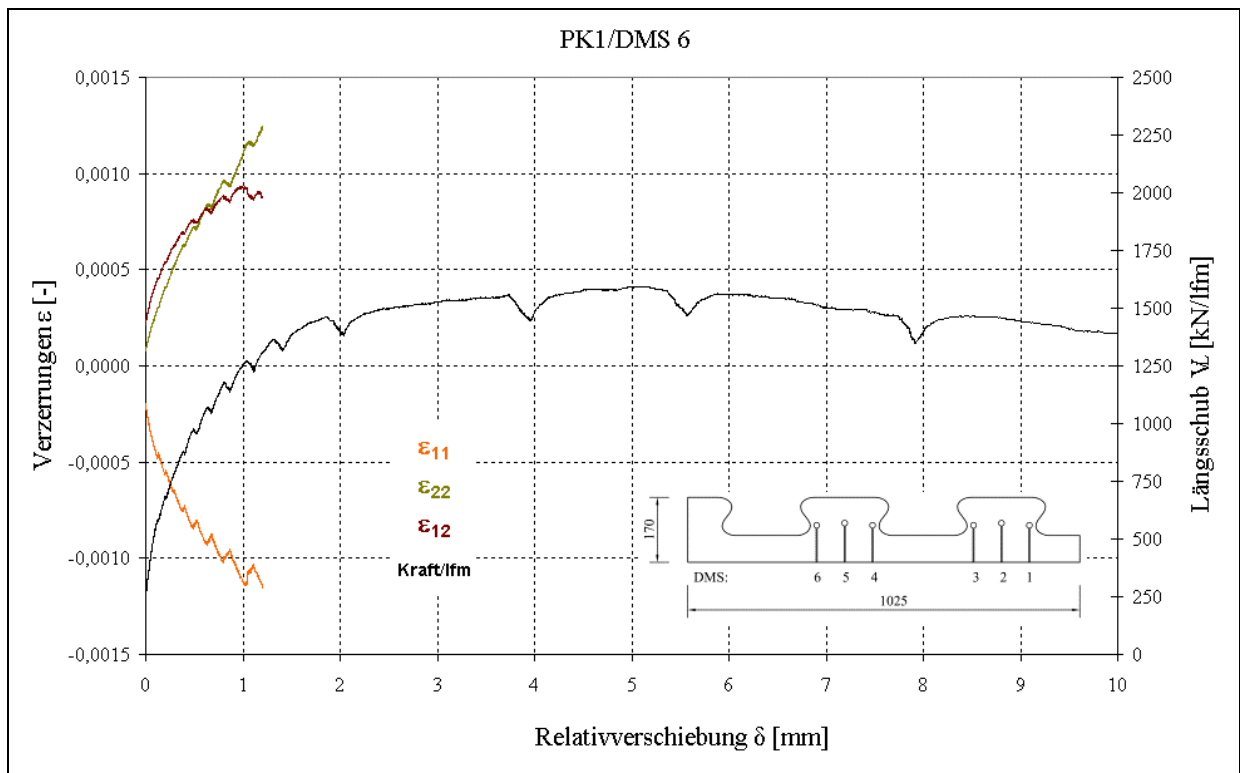


Abbildung 90: DMS 6 – Verzerrungen

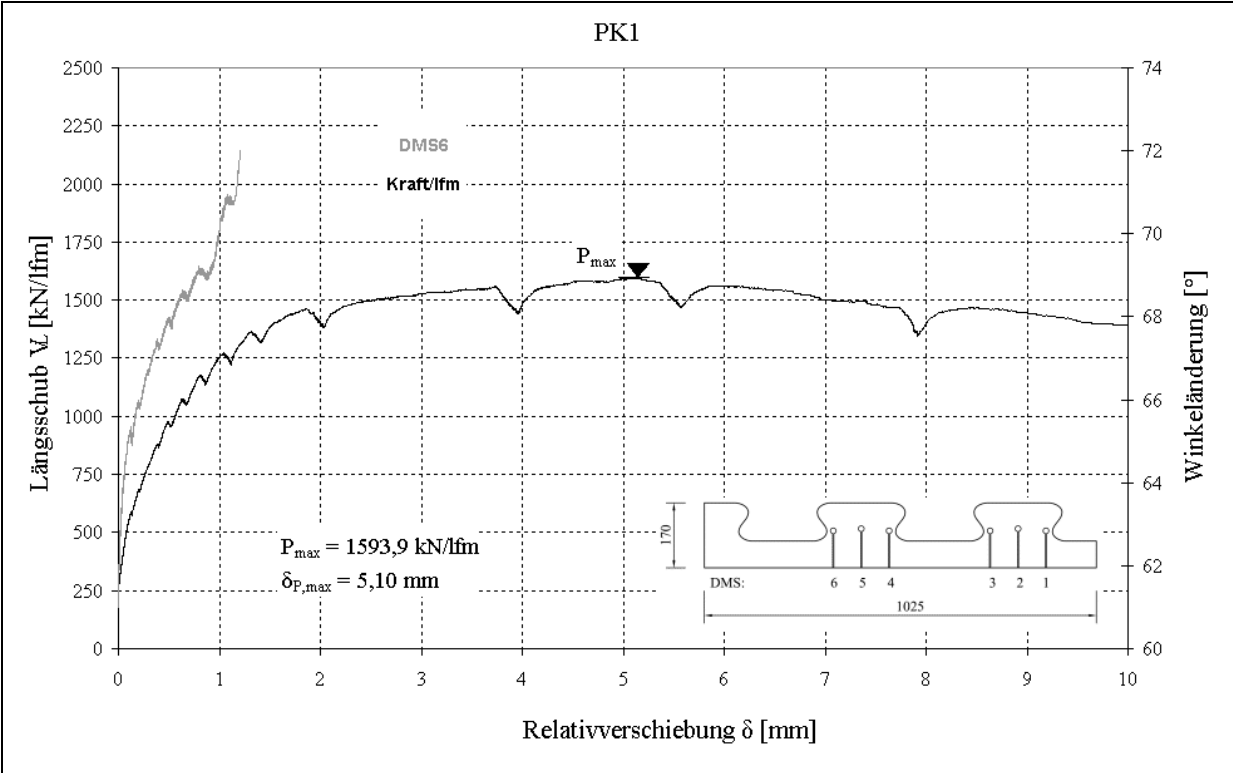


Abbildung 91: Winkelländerung der Hauptnormalspannungen

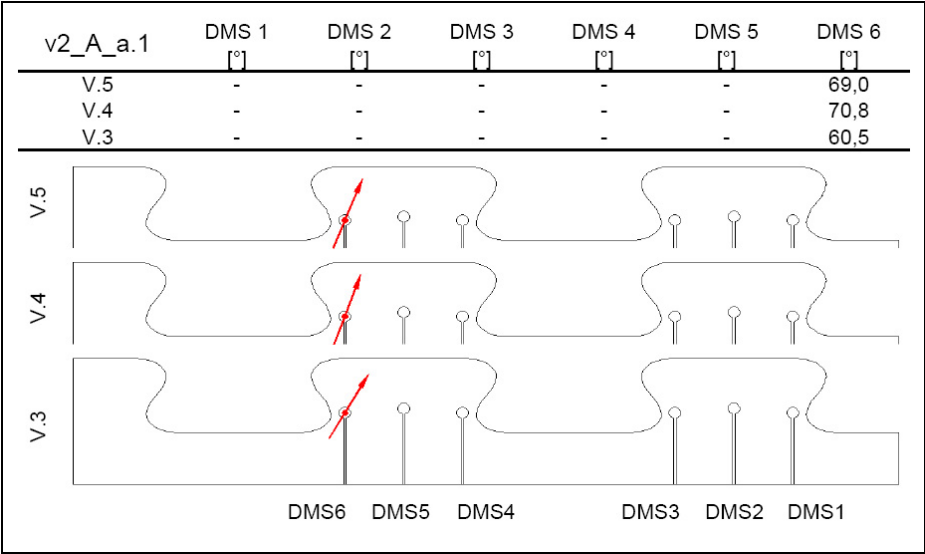
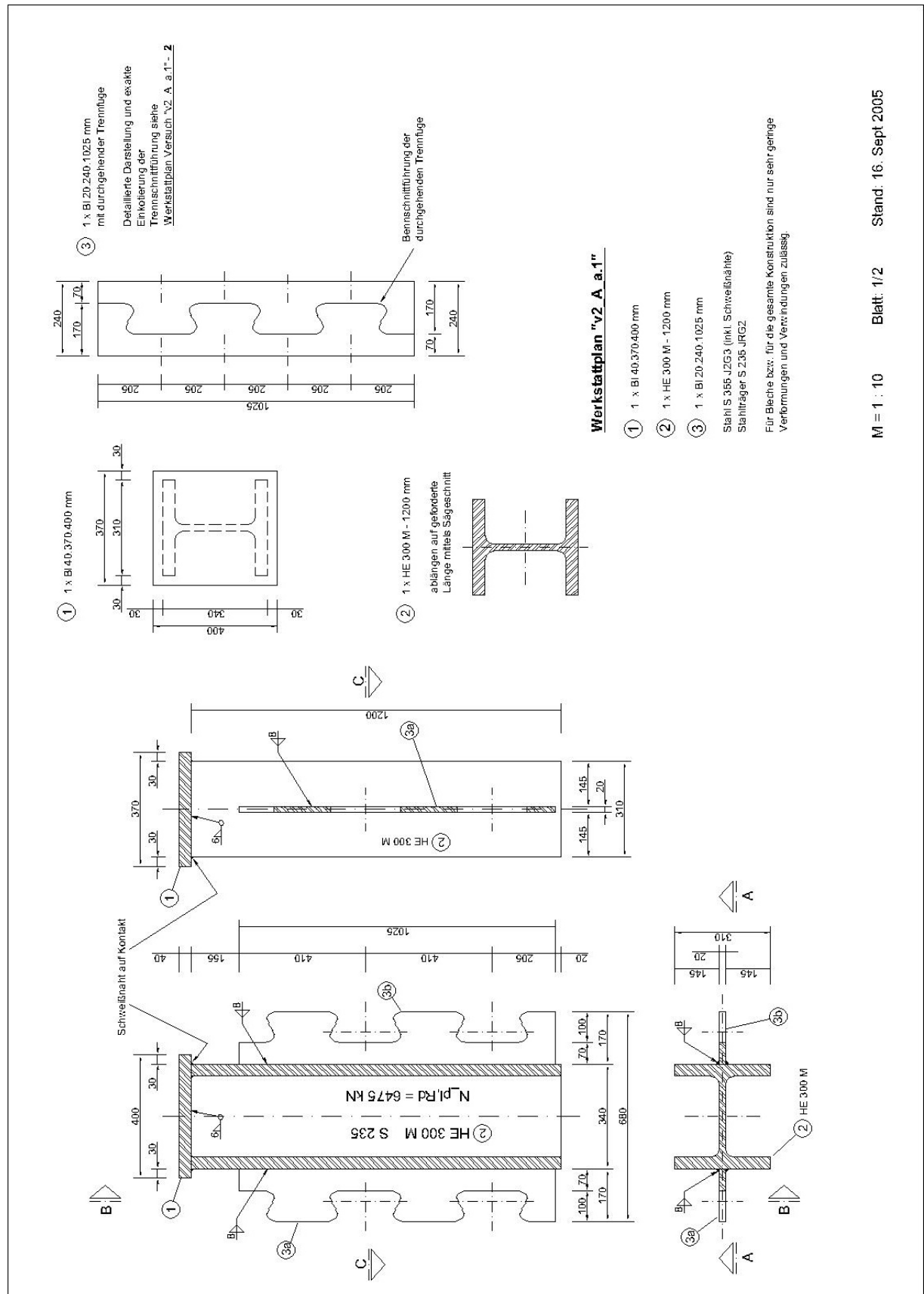
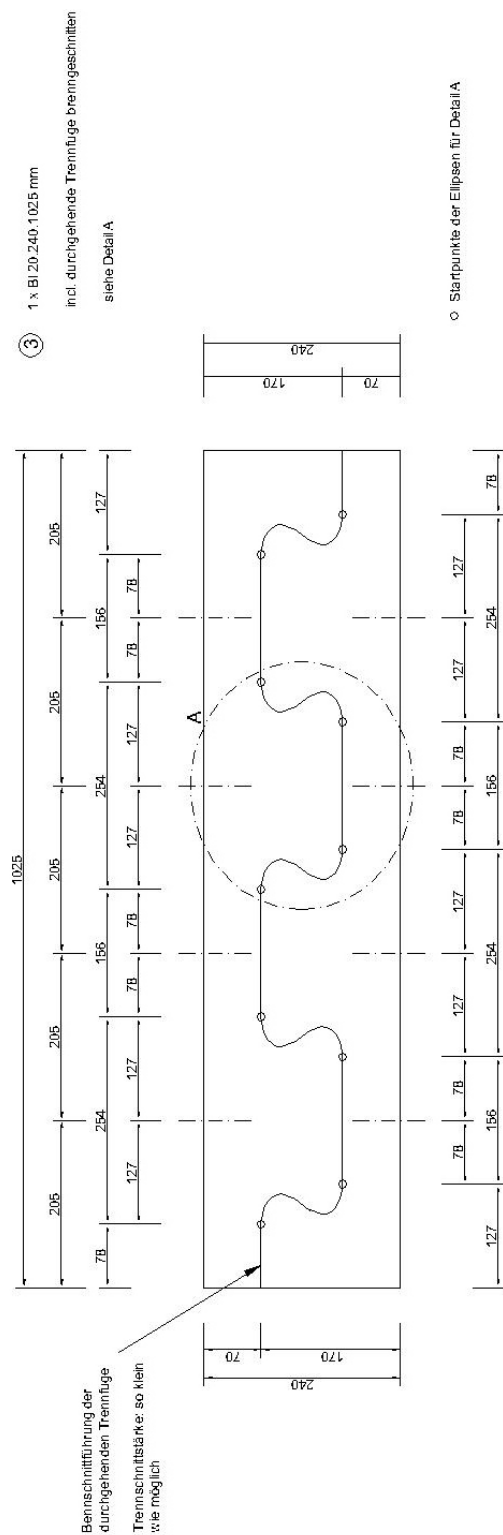


Abbildung 92: Winkelländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus

5.1.2.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers





Werkstattplan "v2 A a.1"

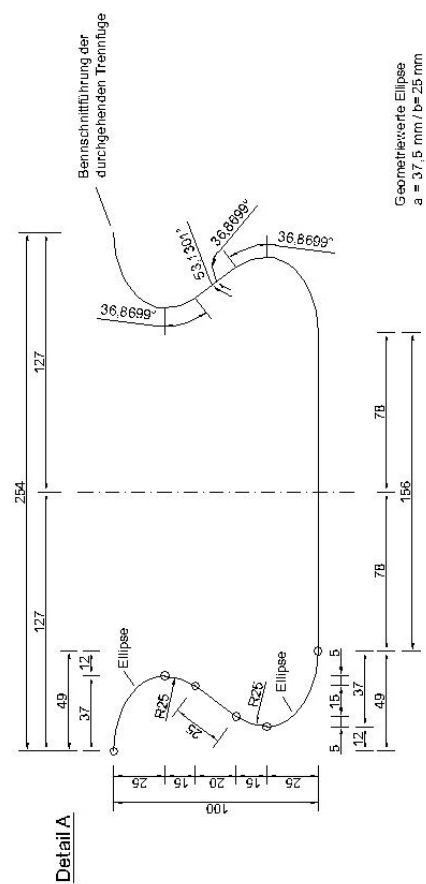
Detaildarstellung der Brennschnittführungen der durchgehenden Trennfuge.

Trennschnittstärke der durchgehenden Trennfuge: so klein wie möglich.

- ① 1 x BI 40.370.400 mm

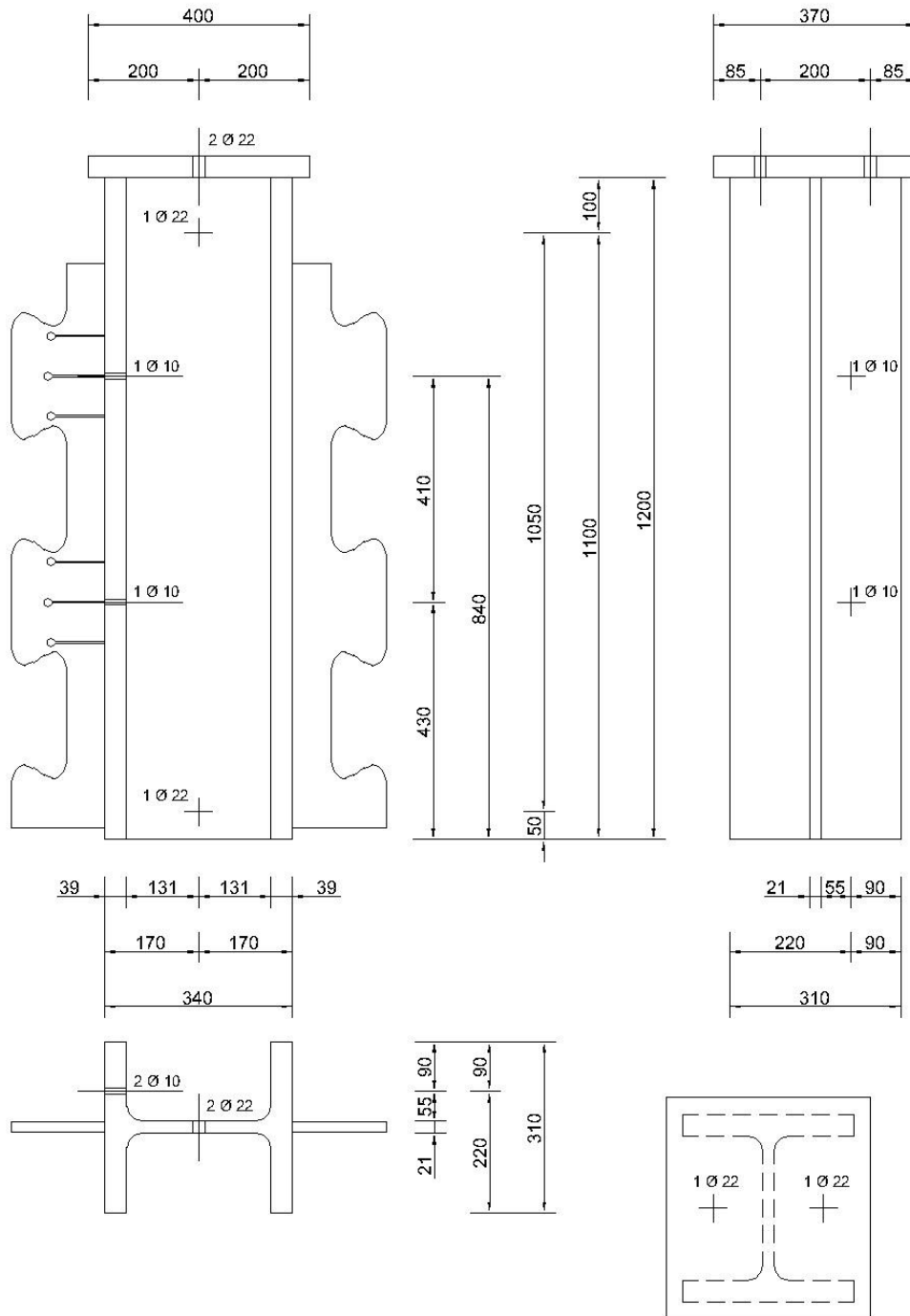
Stahl S 355 J2G3 (inkl. Schweißnähte)
Stahlträger S 235 JRG2

Für Bleche bzw. für die gesamte Konstruktion sind nur sehr geringe Verformungen und Verwindungen zulässig.



M = 1 : 5 / M = 1 : 2 Blatt: 2/2 Stand: 16. Sept 2005

Bearbeitung Stahlbauteil "v2 A a.1"



M = 1 : 10

Blatt: 1/1

Stand: 31. Mai 2006

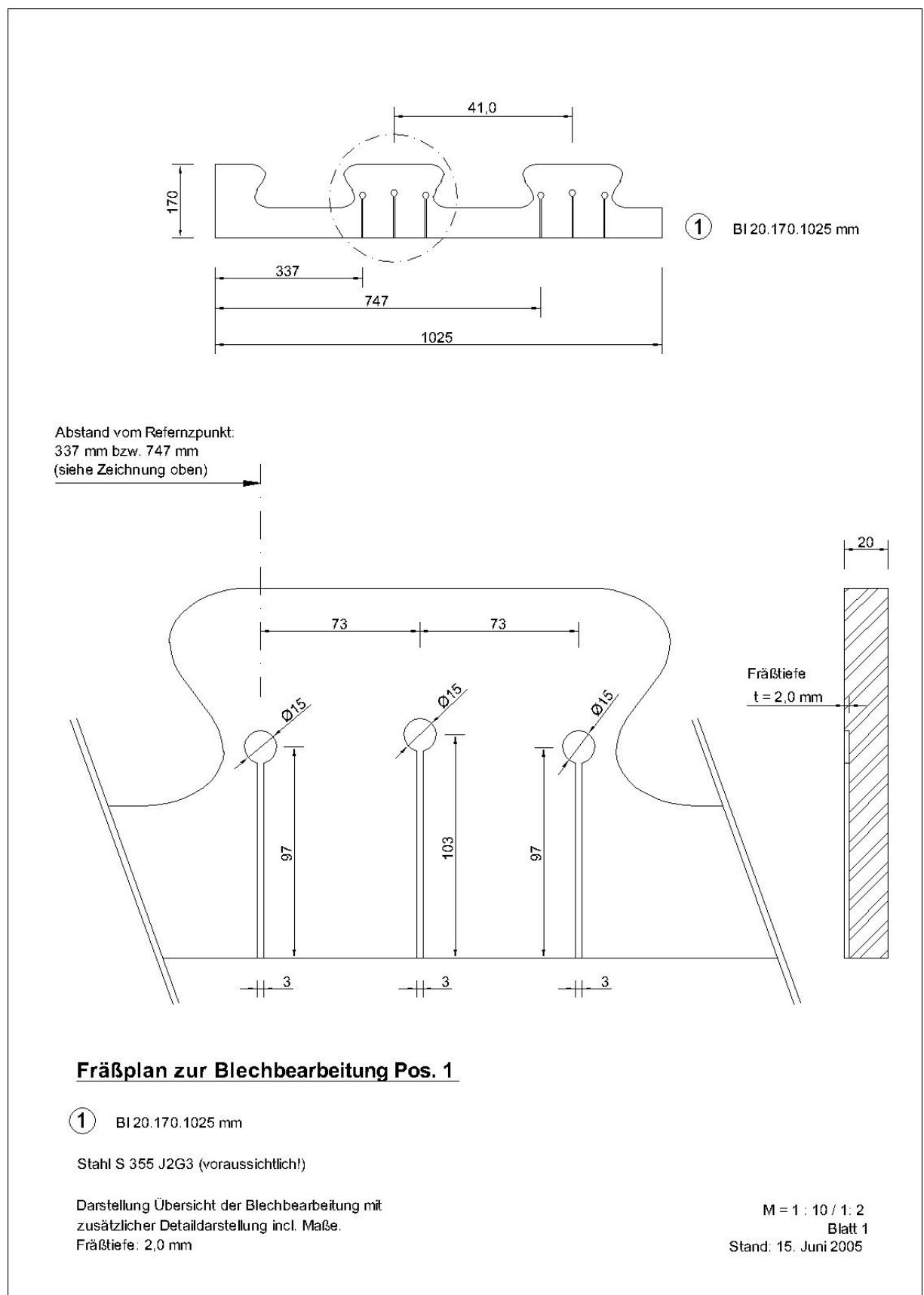
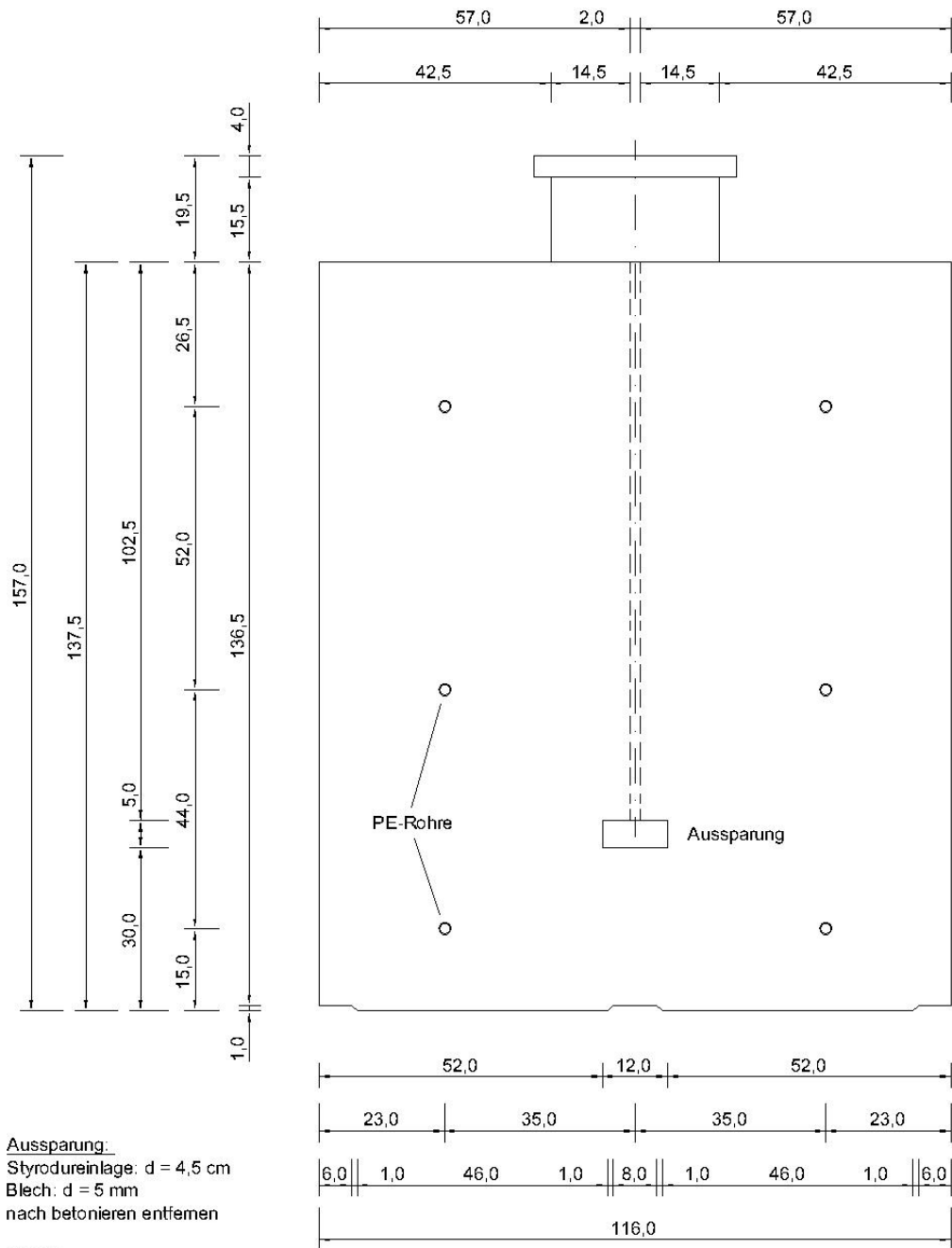


Abbildung 93: Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_a.1

Schalungsplan "v2 A a.1"

Ansicht A - A



Aussparung:
Styrodureinlage: d = 4,5 cm
Blech: d = 5 mm
nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
mit einbetoniert,
zur Führung der Zugstangen

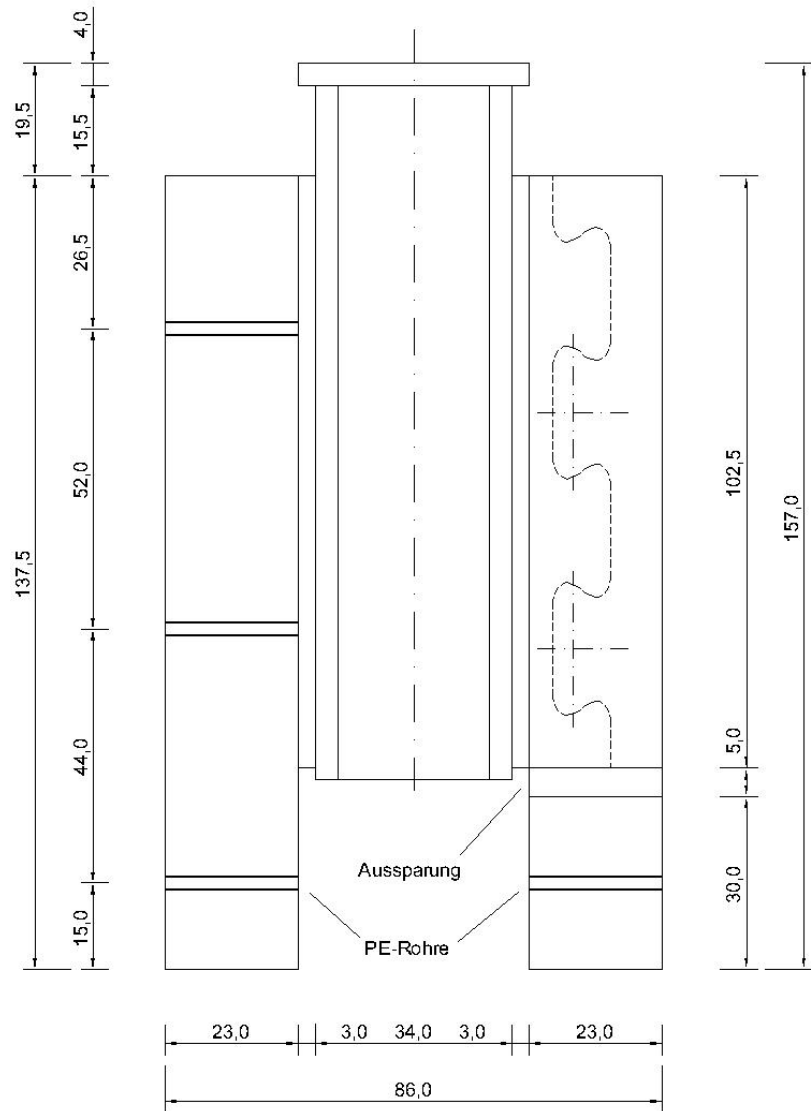
M = 1 : 10

Blatt: 1/3

Stand: 31. Mai 2006

Schalungsplan "v2 A a.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

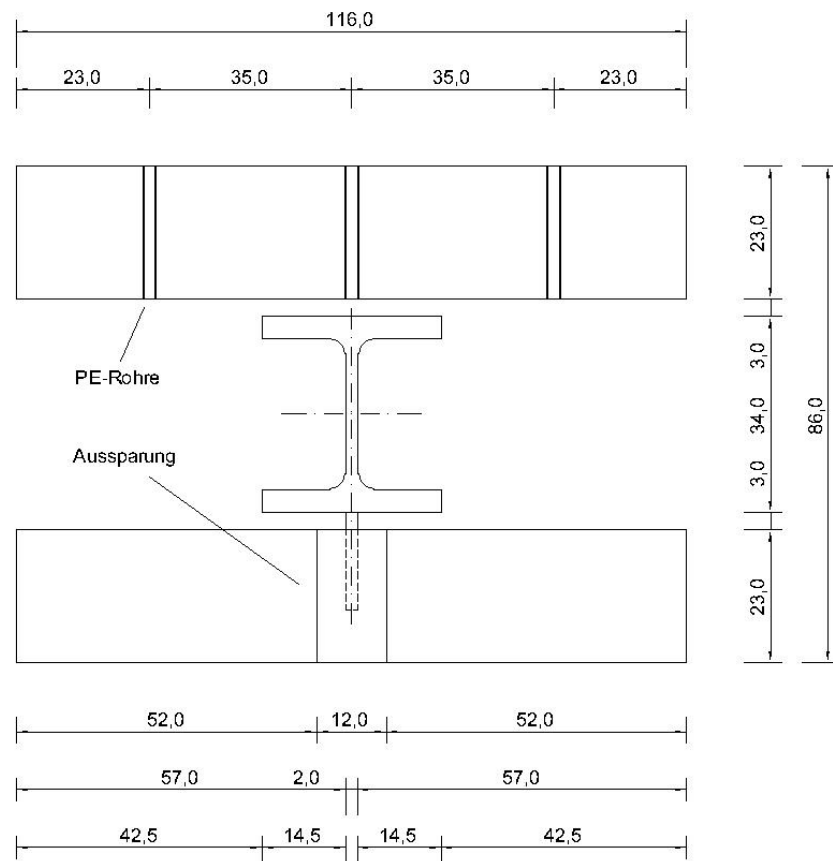
M = 1 : 10

Blatt: 2/3

Stand: 31. Mai 2006

Schalungsplan "v2_A a.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

M = 1 : 10

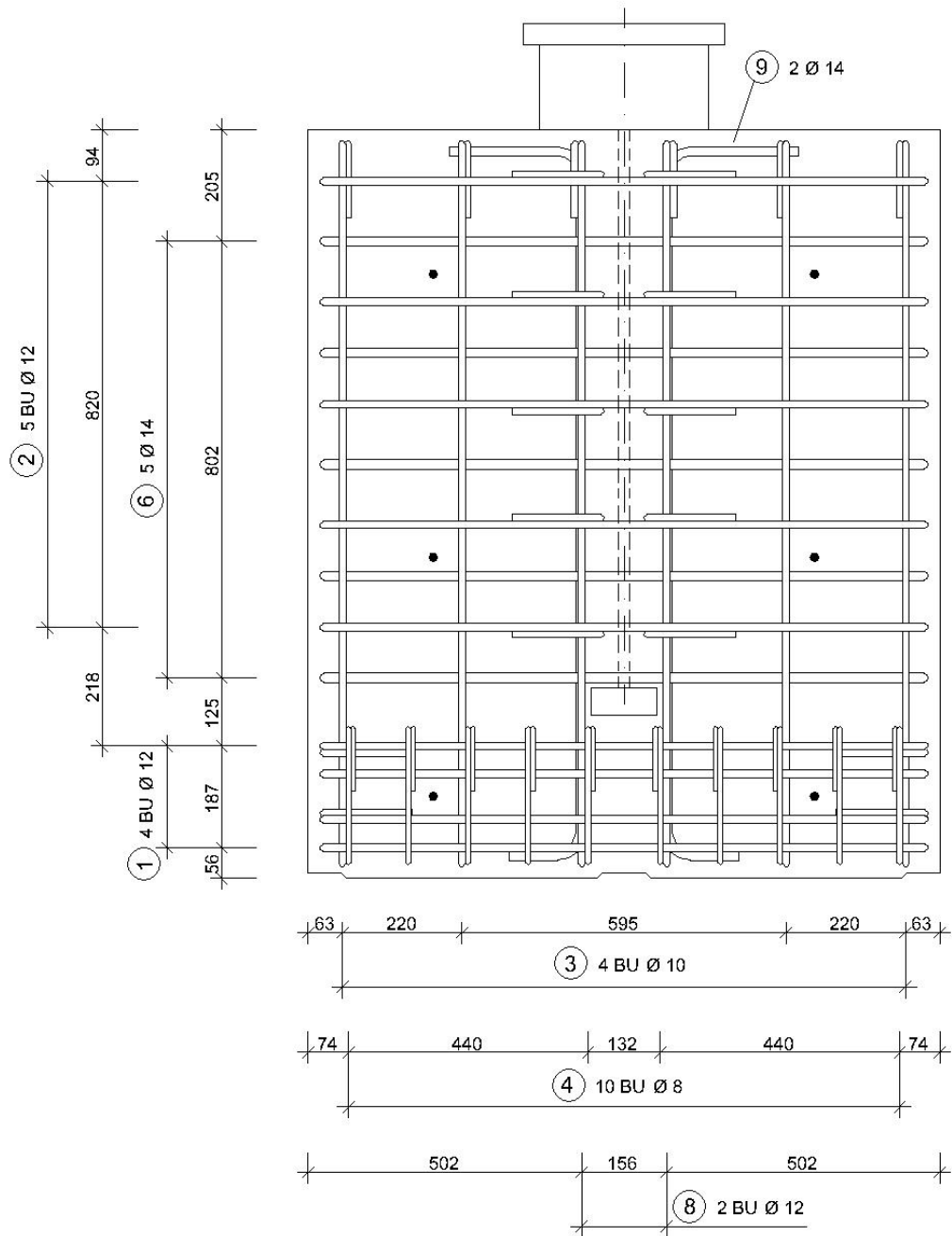
Blatt: 3/3

Stand: 31. Mai 2006

Abbildung 94: Schalpläne v2_A_a.1

Bewehrungsplan "v2 A a.1"

Ansicht A - A



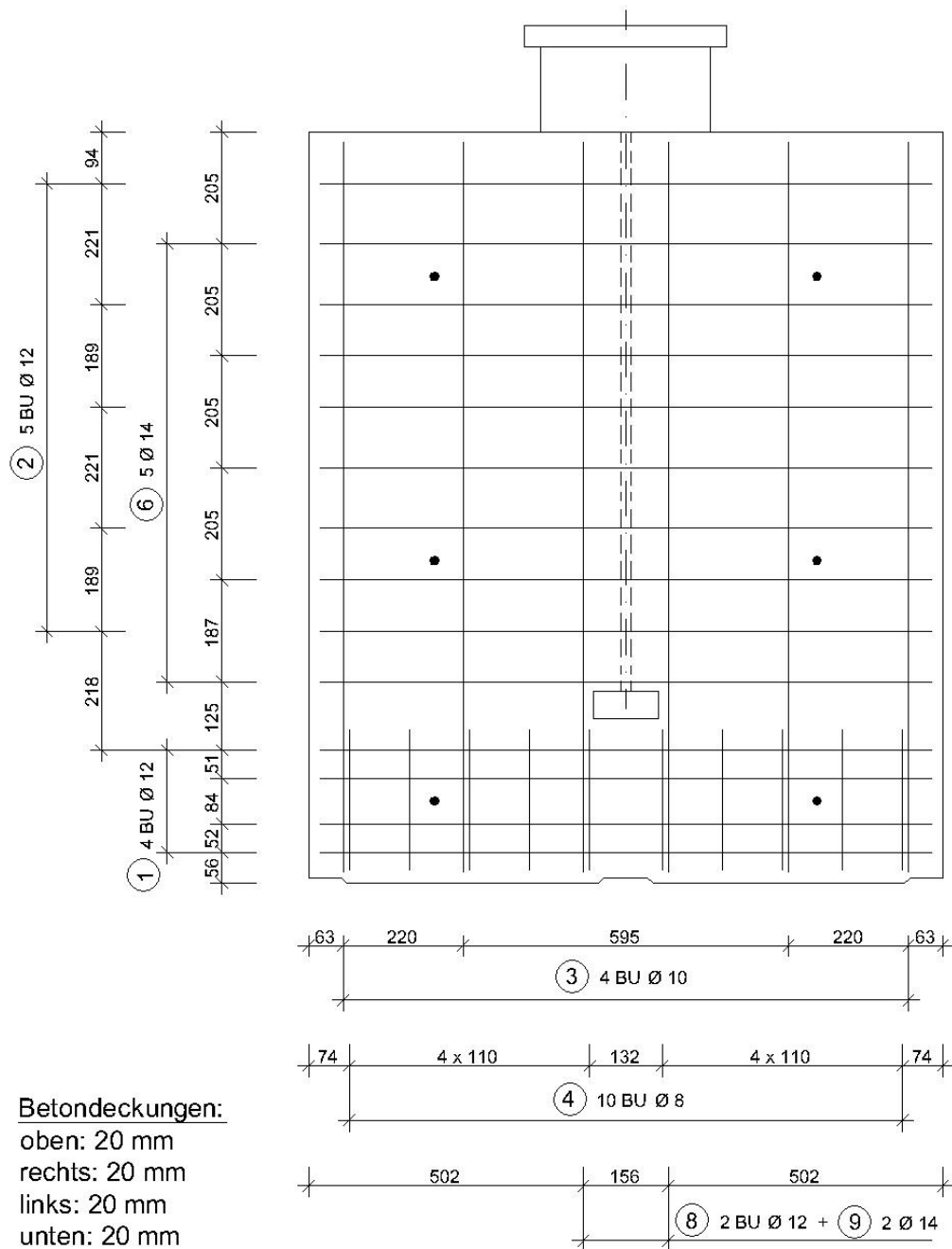
M = 1 : 10

Blatt: 1/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.1"

Ansicht A - A



Betondeckungen:
oben: 20 mm
rechts: 20 mm
links: 20 mm
unten: 20 mm

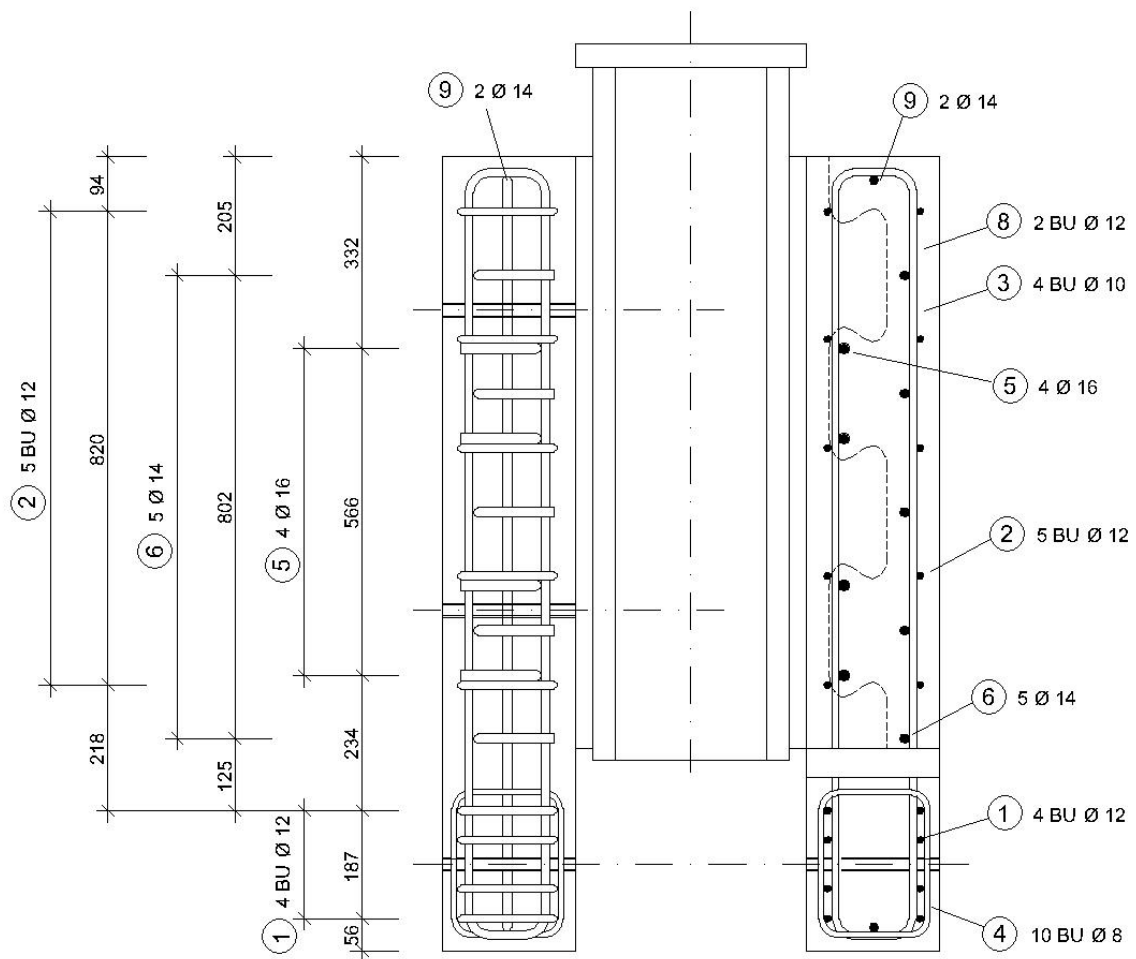
M = 1 : 10

Blatt: 2/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



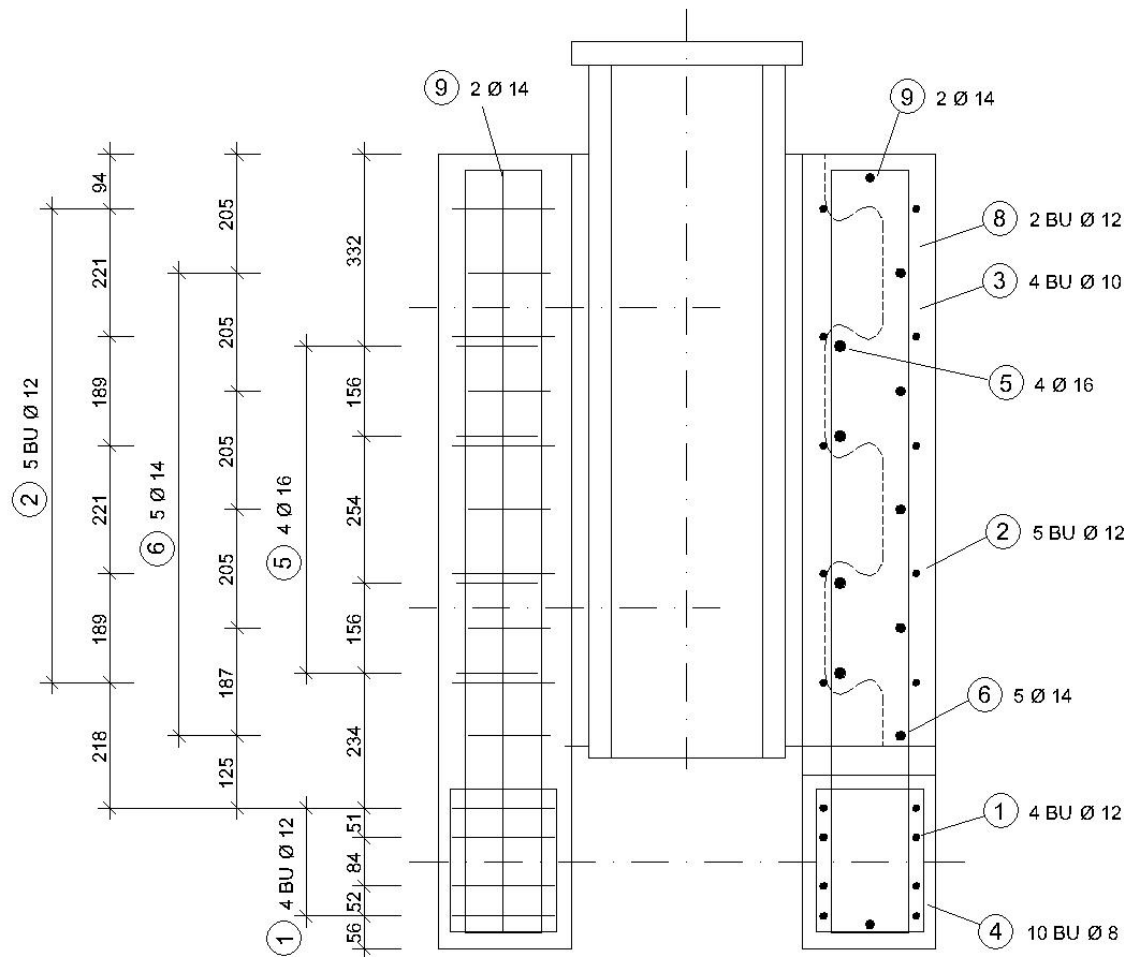
M = 1 : 10

Blatt: 3/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2_A_a.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Betondeckungen:
oben innen: 30 mm
oben außen: 25 mm

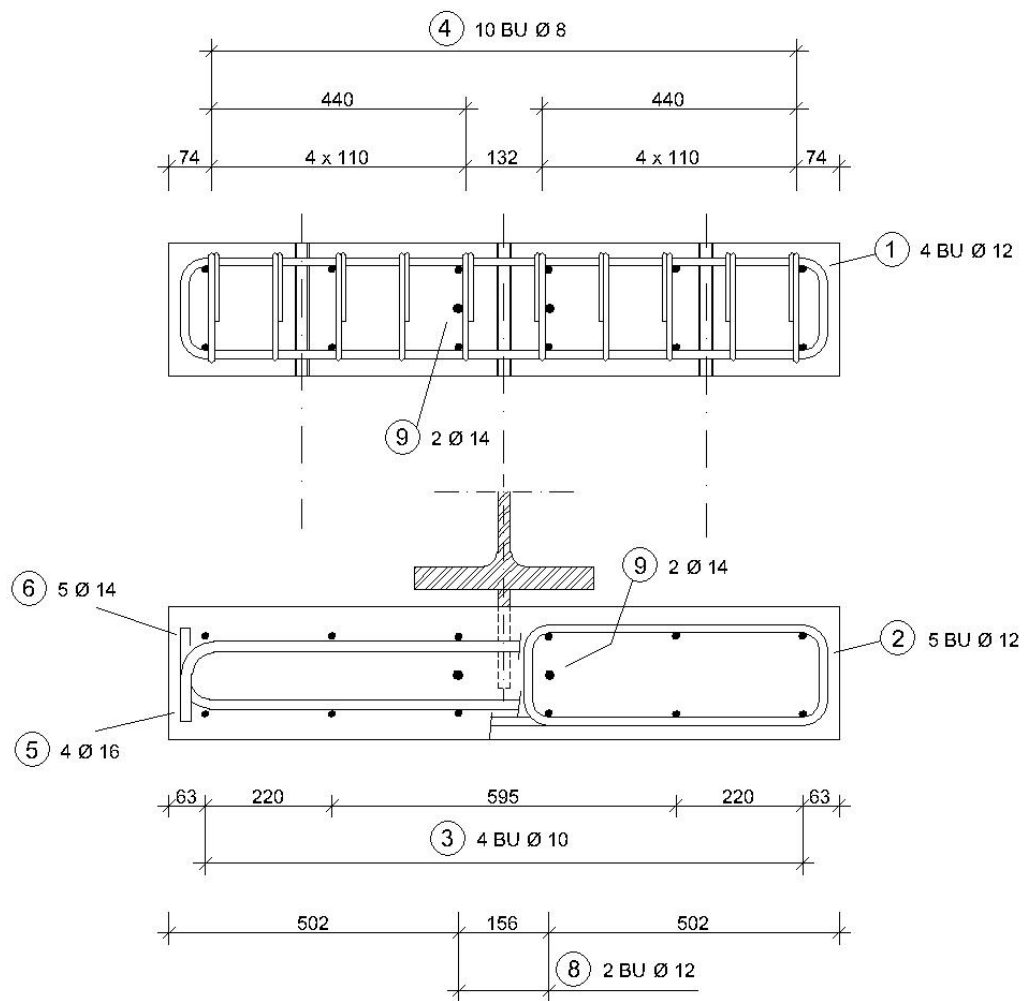
M = 1 : 10

Blatt: 4/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



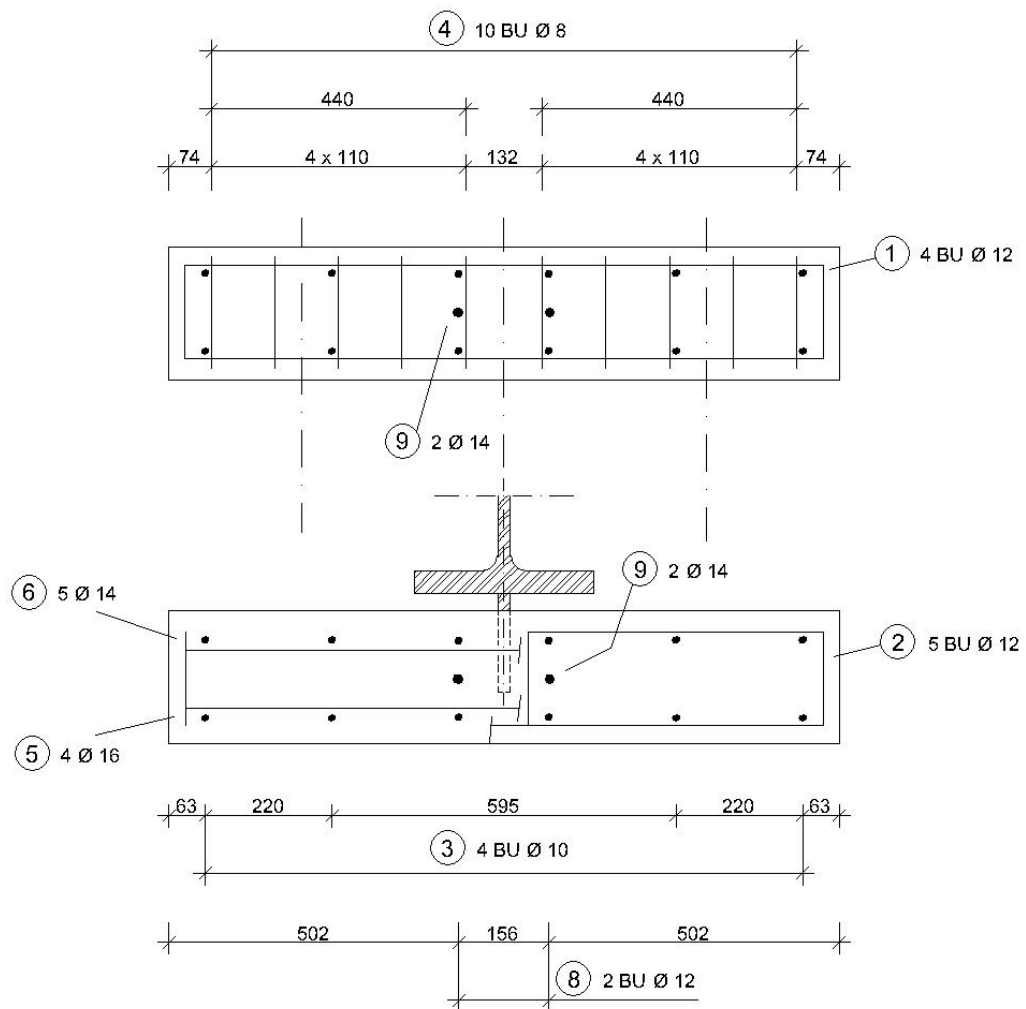
M = 1 : 10

Blatt: 5/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



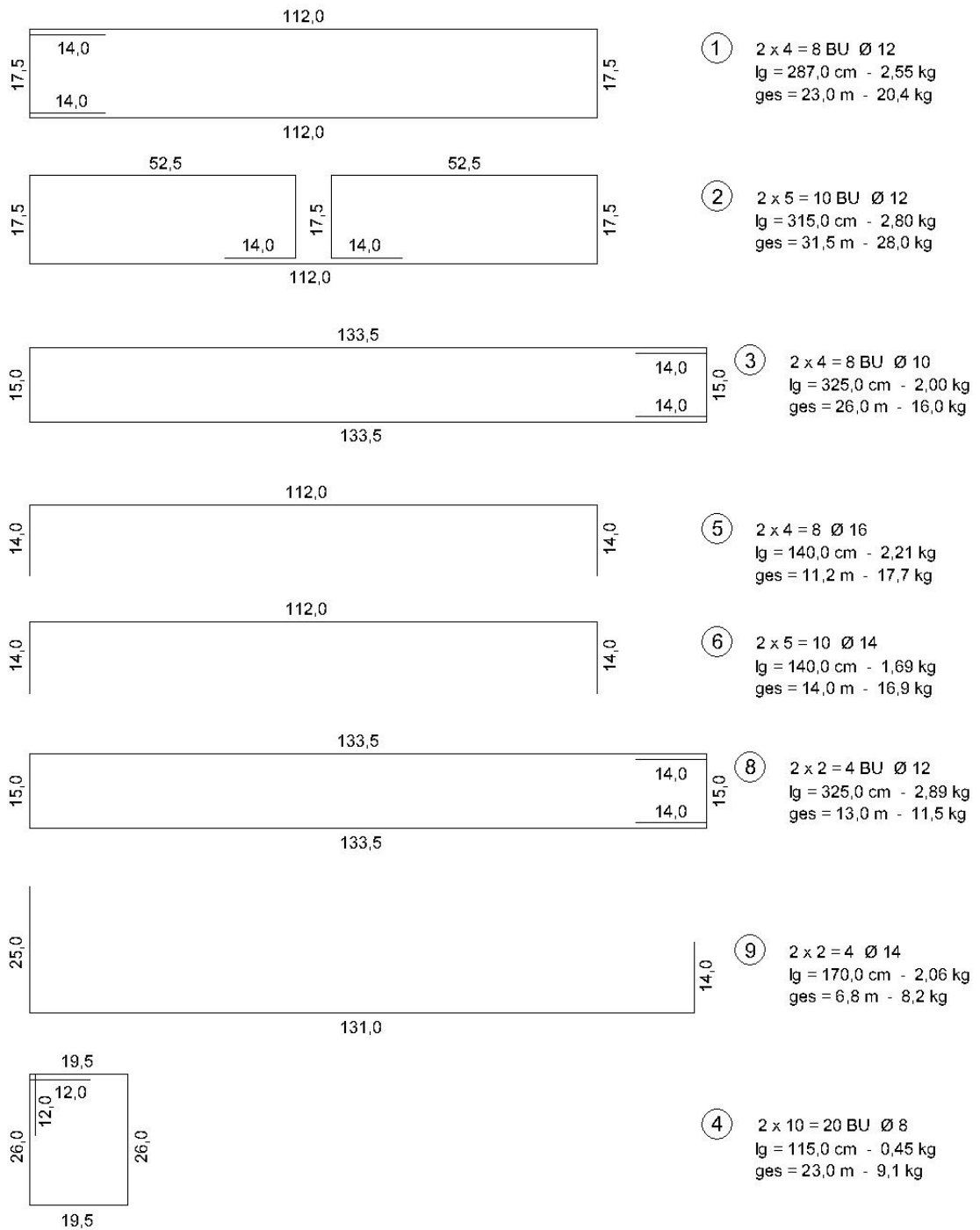
M = 1 : 10

Blatt: 6/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2_A a.1"

bemaßte Biegeformen



M = 1 : 10

Blatt: 7/7

Stand: 3. März 2006

Abbildung 95: Bewehrungspläne v2_A_a.1

5.1.3. Versuchsdatenblatt v2_A_a.2 (PK5)

5.1.3.1. Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation

Die planparallele Ausrichtung der späteren Kontaktflächen zur Druckplatte des großen Prüfrahmens und zur lastnahen Kopfplatte des Stahlträgers wurde erreicht.

Das Einheben und der Einbau in den großen Prüfrahmen führten zu keinerlei Beeinträchtigungen des Push-Out-Versuchskörpers zum Beispiel durch Anschlagen. Die Druckplatten des großen Prüfrahmens konnten so ausgerichtet werden, dass beide satt am Push-Out-Versuchskörper anlagen.

5.1.3.2. Beschreibung des Versuchsablaufs

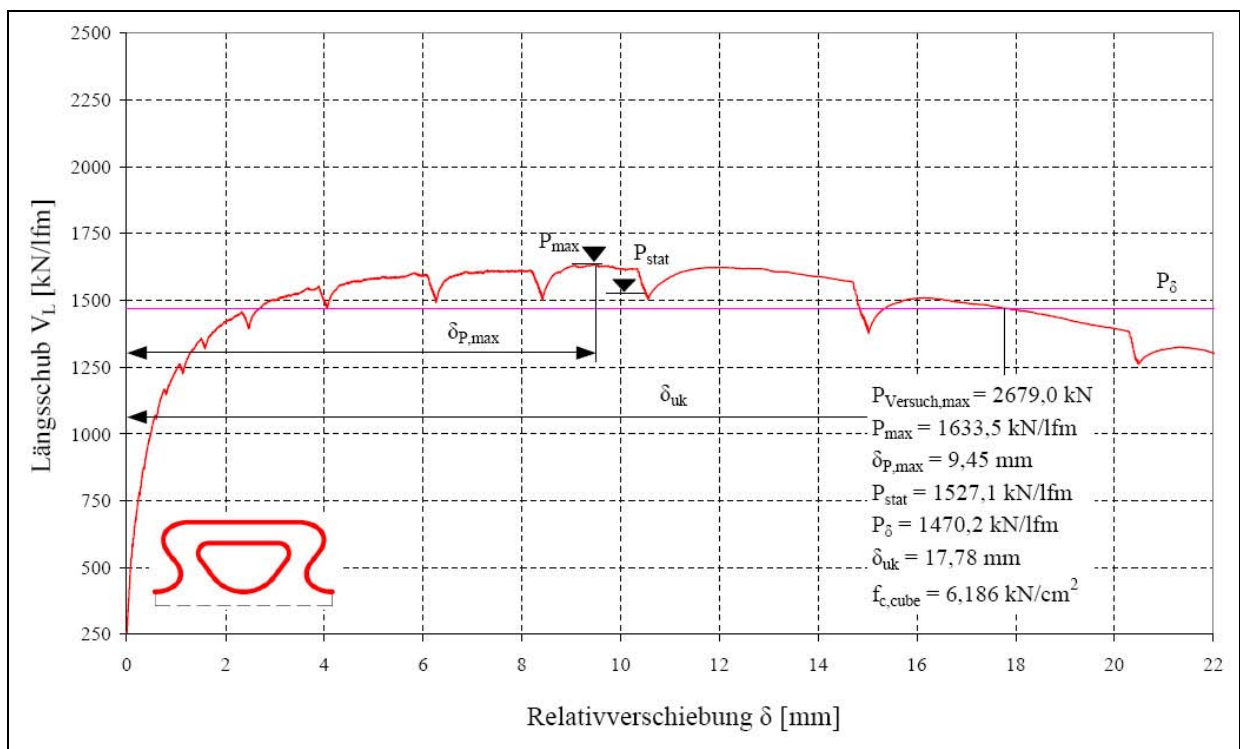


Abbildung 96: Dübelkennlinie v2_A_a.2

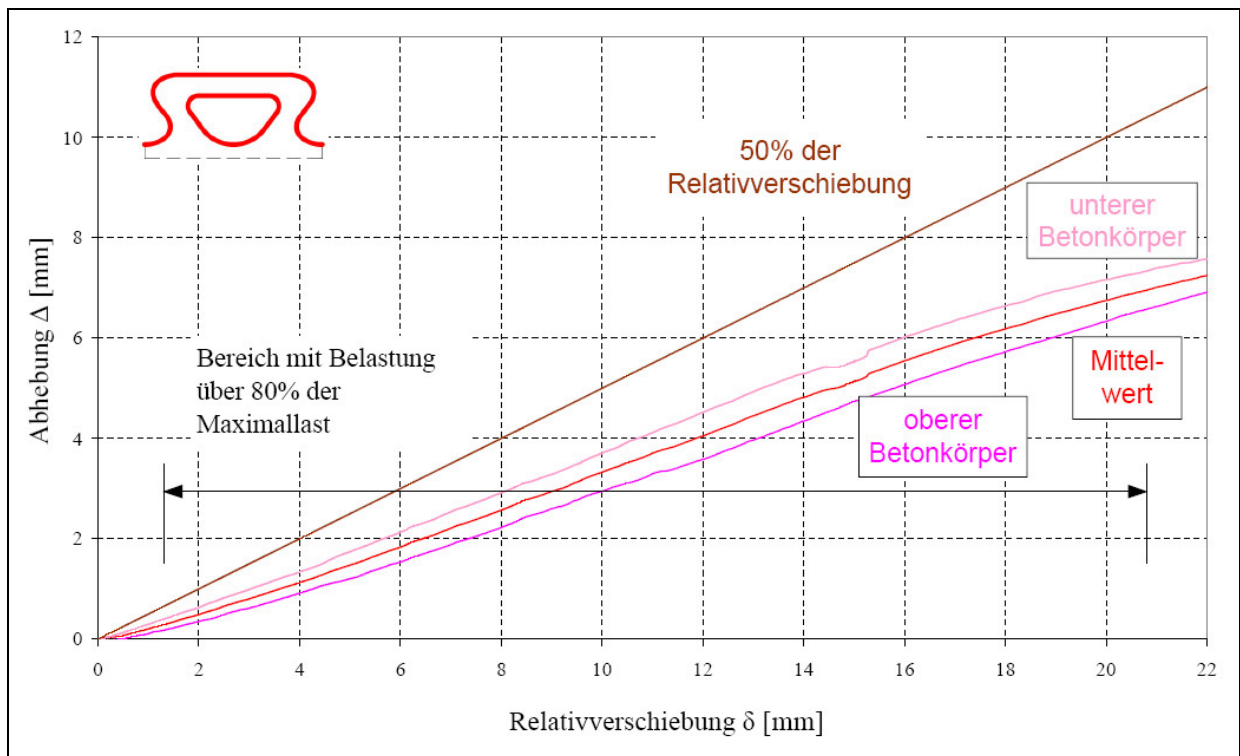


Abbildung 97: Abhebekennlinie v2_A_a.2

5.1.3.3. Beschreibung des Betonkörpers

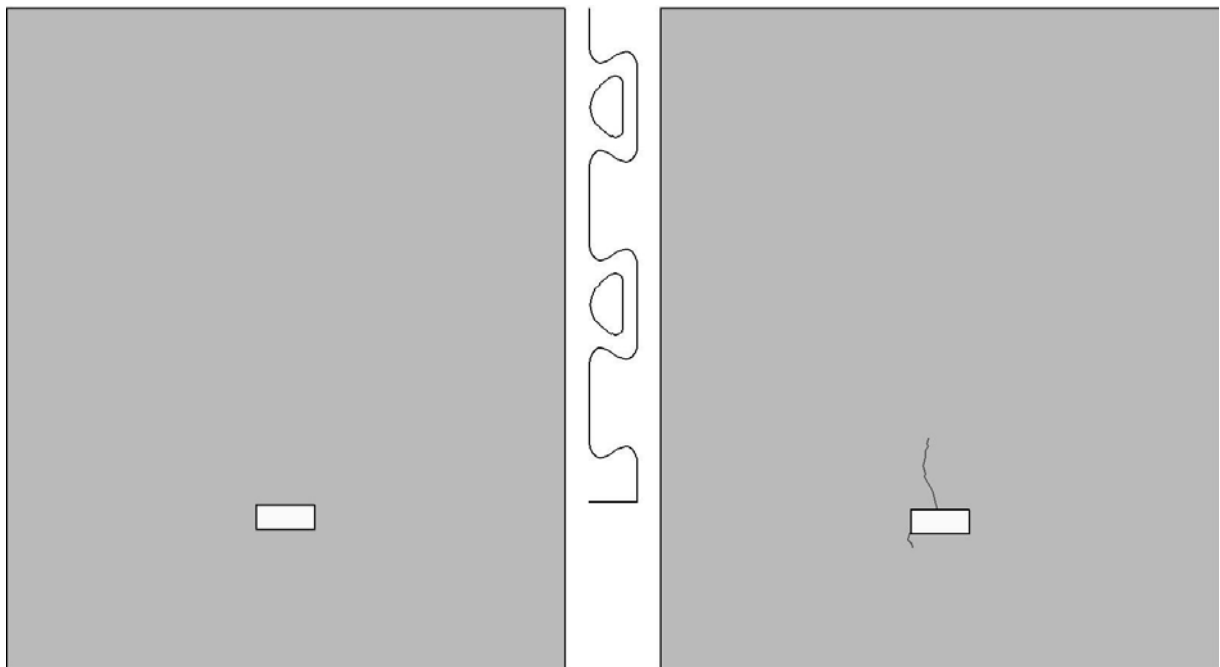


Abbildung 98: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.2 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)



Abbildung 99: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.2 bei Erreichen von P_{max} . Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

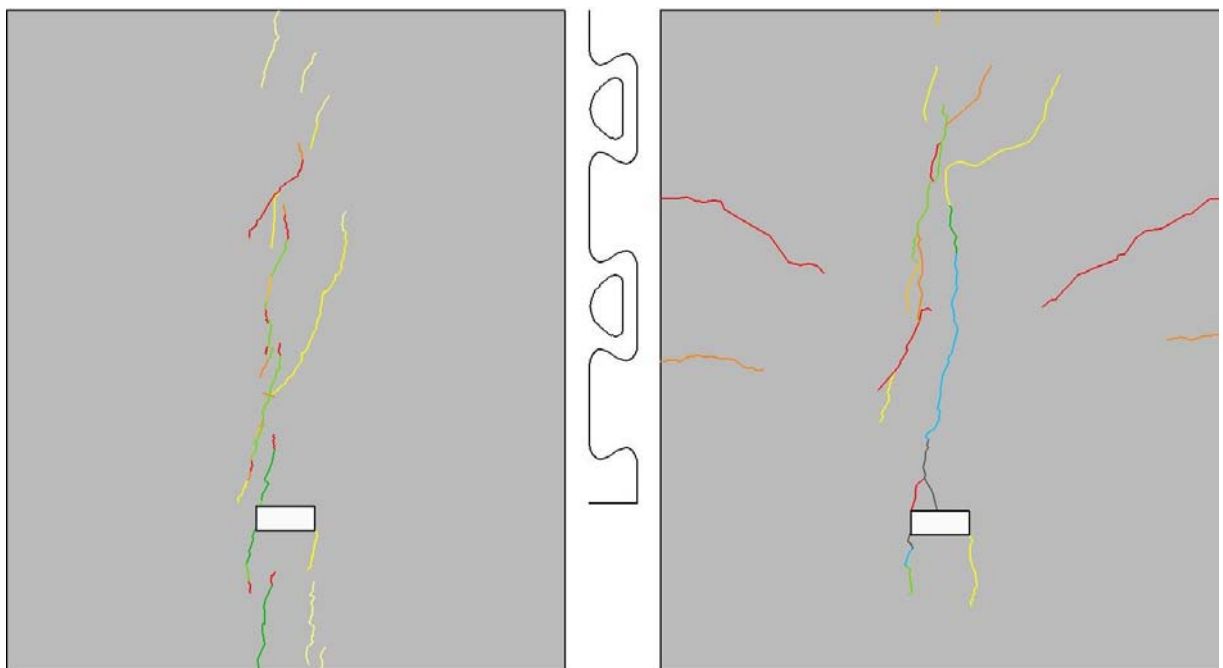


Abbildung 100: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.2 bei Versuche. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

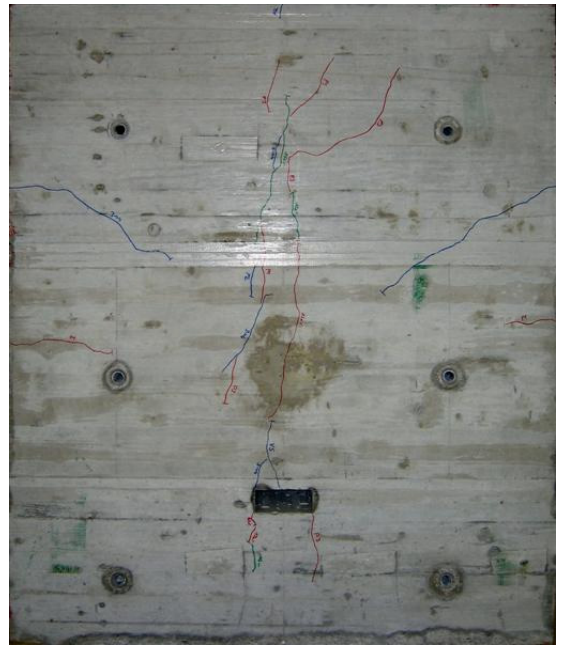
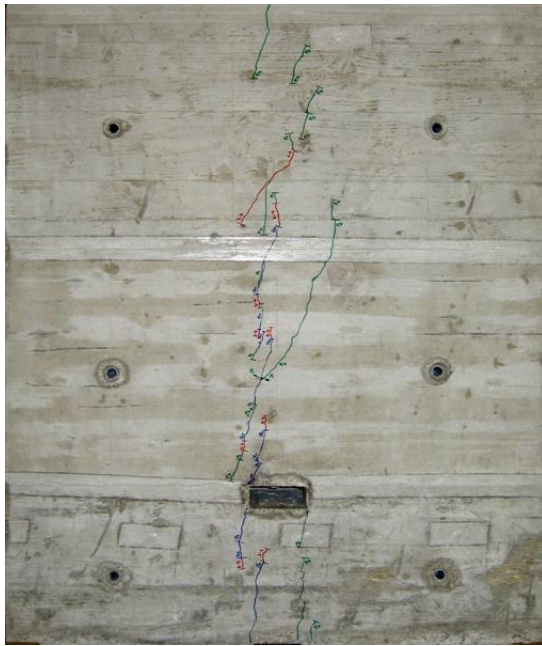


Abbildung 101: Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_a.2 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.

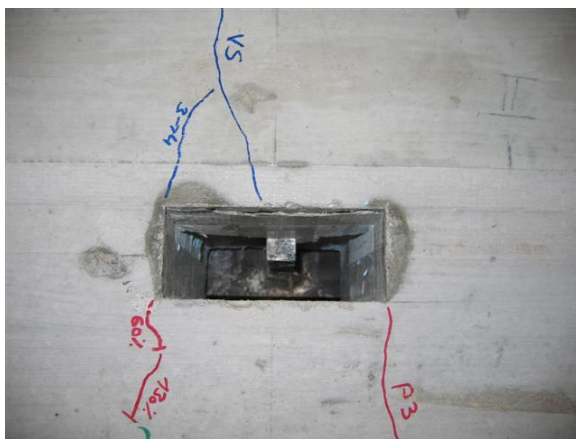


Abbildung 102: ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)

5.1.3.4. Beschreibung des Dübelblechs

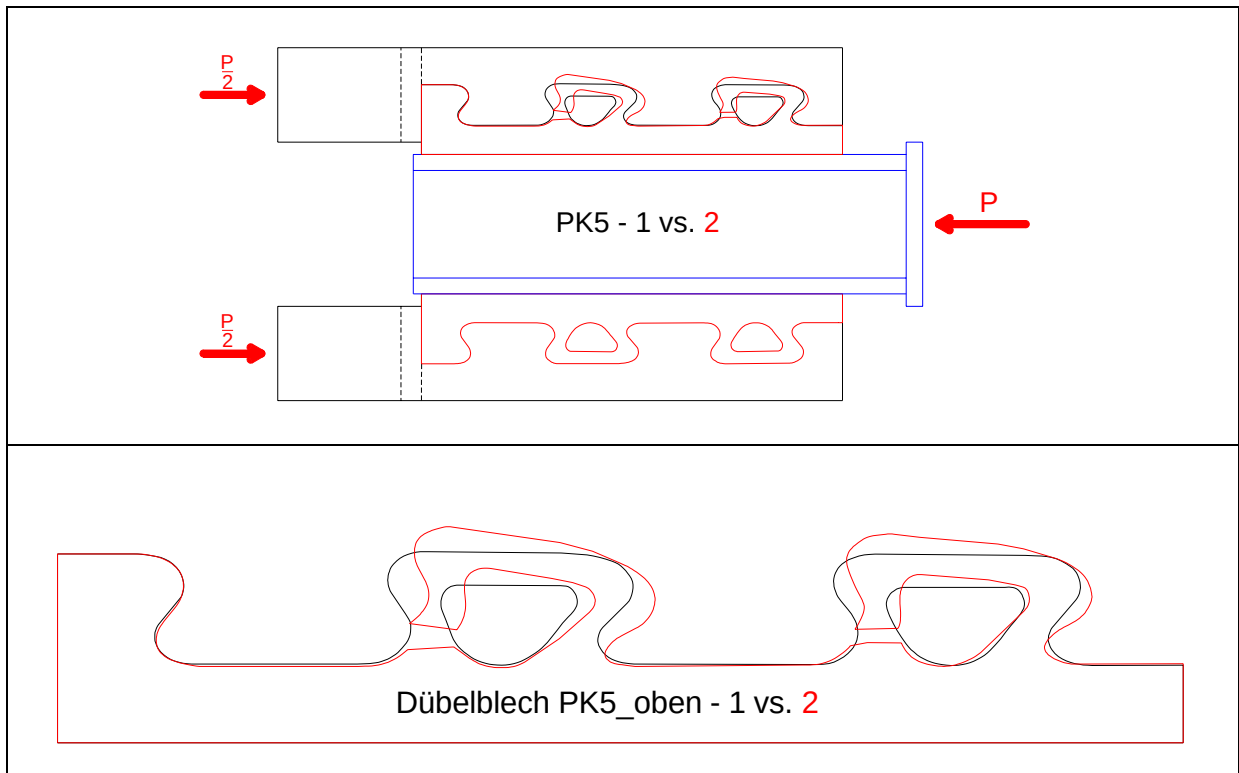


Abbildung 103: Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch

5.1.3.5. DMS-Auswertung

Bei diesem Push-Out-Versuchskörper lieferten insgesamt vier DMS-Rosetten brauchbare Messwerte. Es handelt sich dabei um DMS 1, DMS 2, DMS 4 und DMS 6. Allerdings können die Werte von DMS 1 nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 6,7 mm zur Auswertung herangezogen werden. Die Werte von DMS 2 nur bis etwa 3,4 mm und die Werte von DMS 4 nur bis etwa 5,8 mm. DMS 6 lieferte über die volle Versuchsdauer brauchbare Werte.

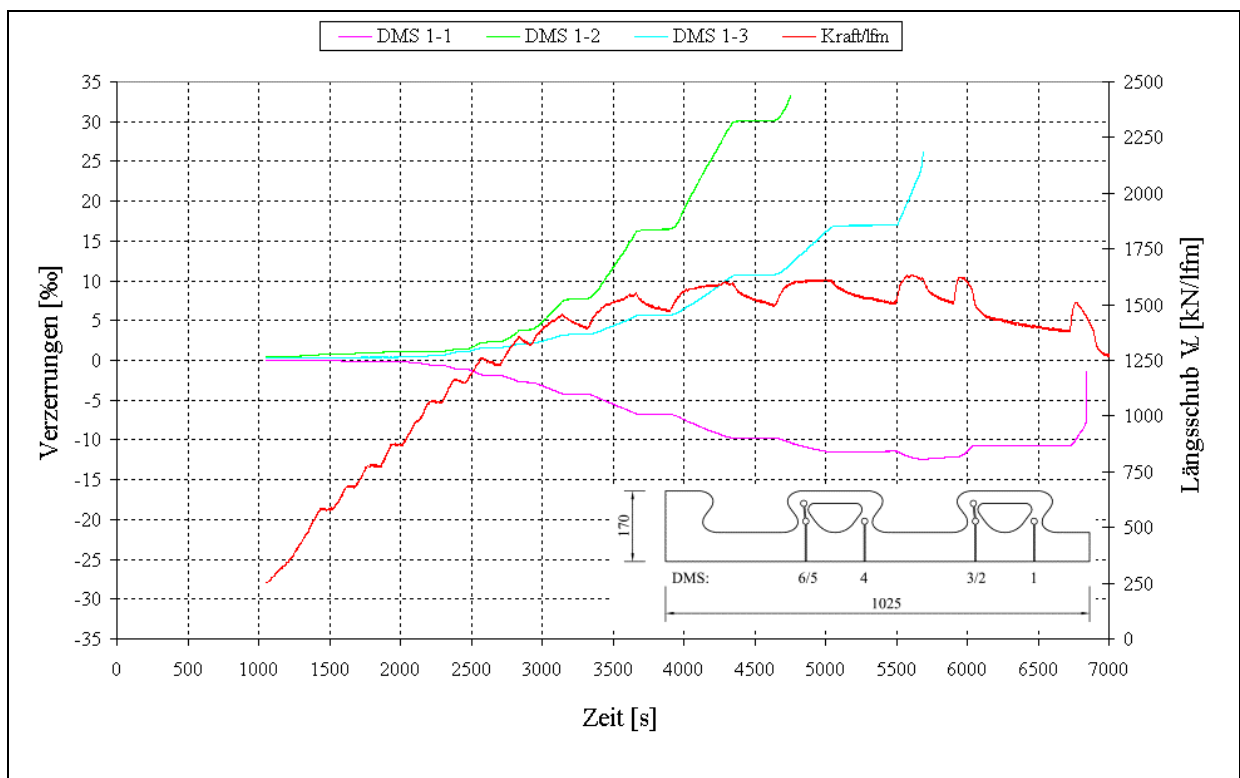


Abbildung 104: DMS 1 – Messwerte

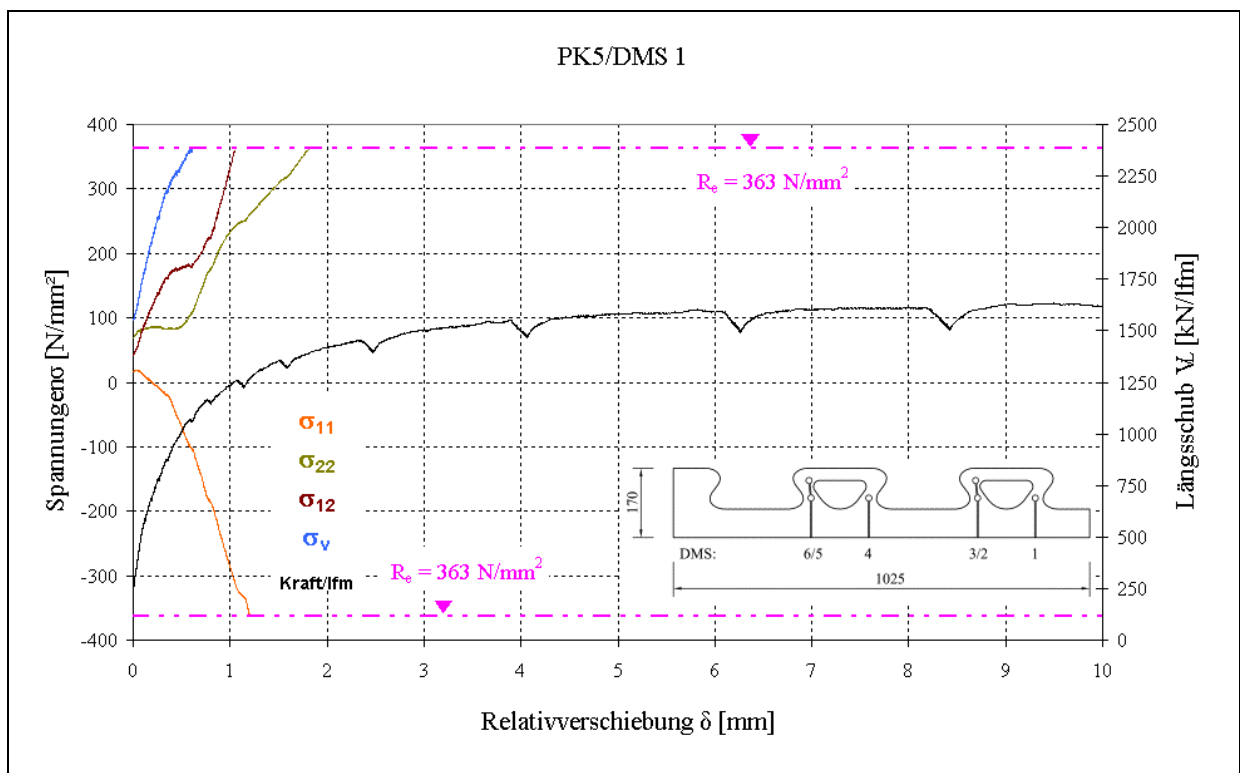


Abbildung 105: DMS 1 – Spannungen

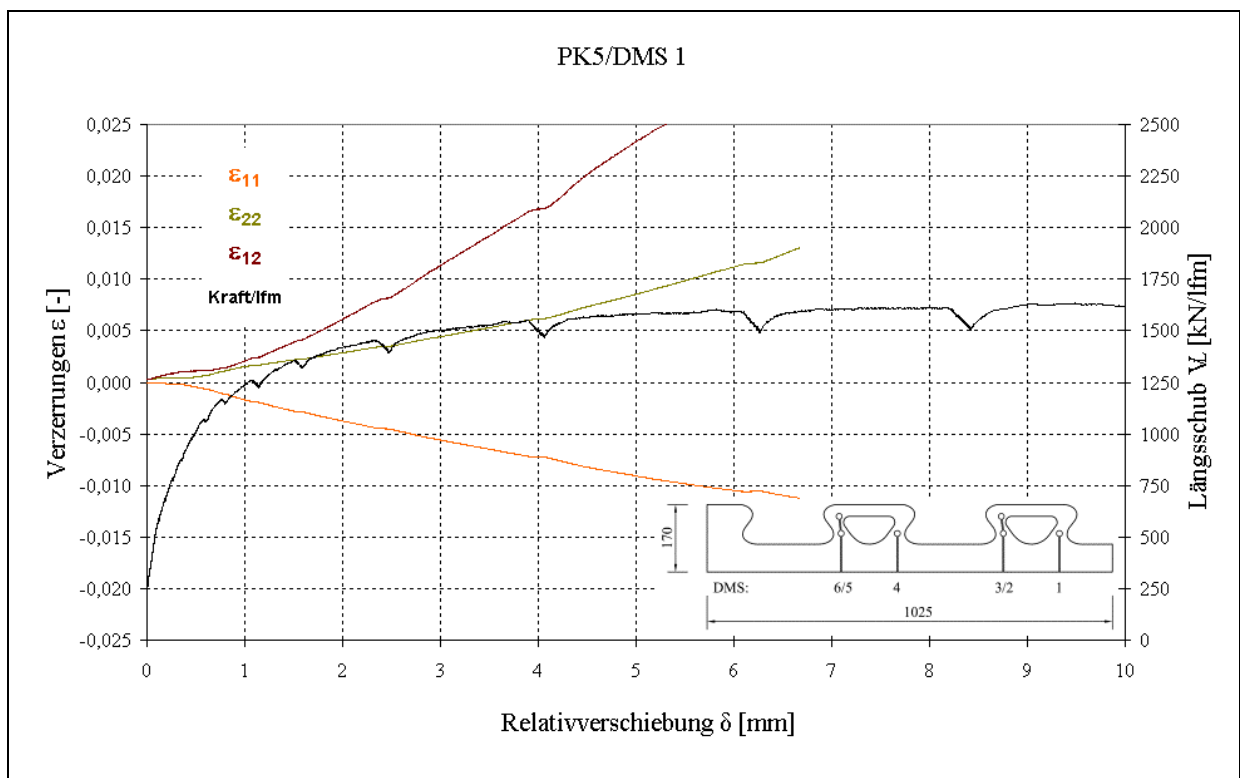


Abbildung 106: DMS 1 – Verzerrungen

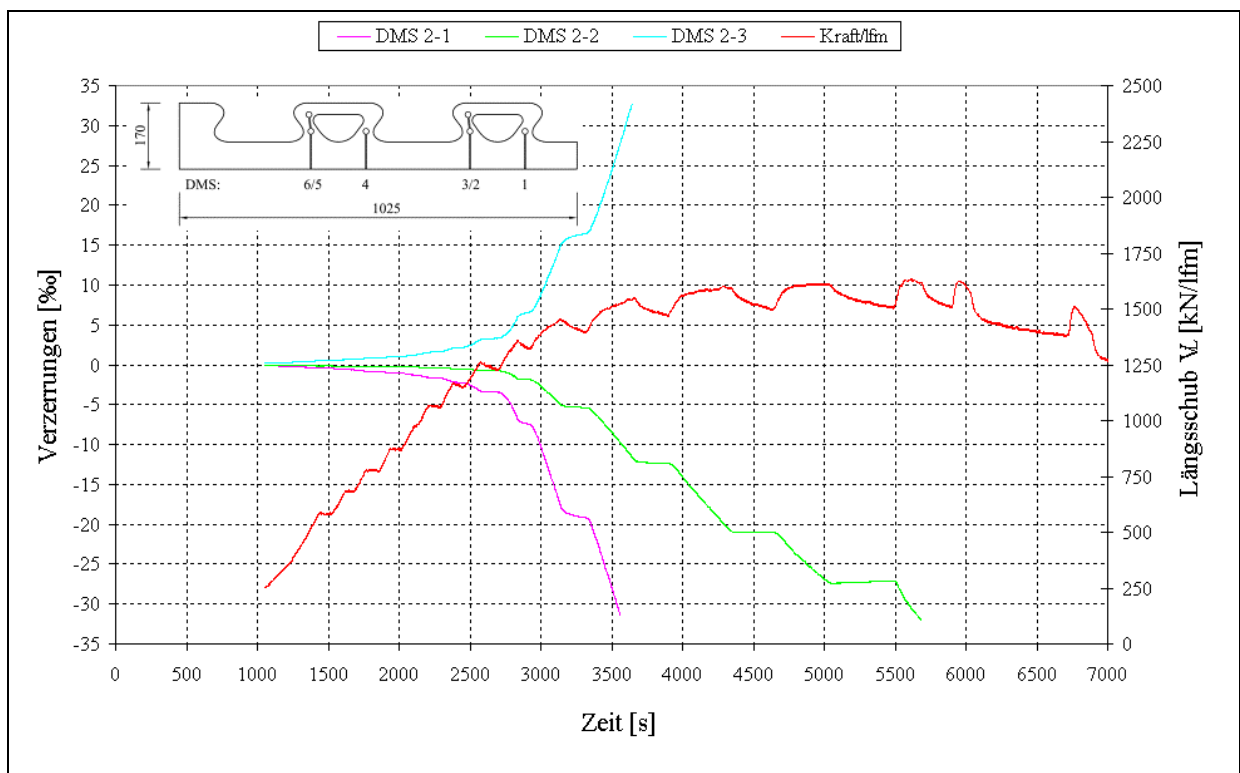


Abbildung 107: DMS 2 – Messwerte

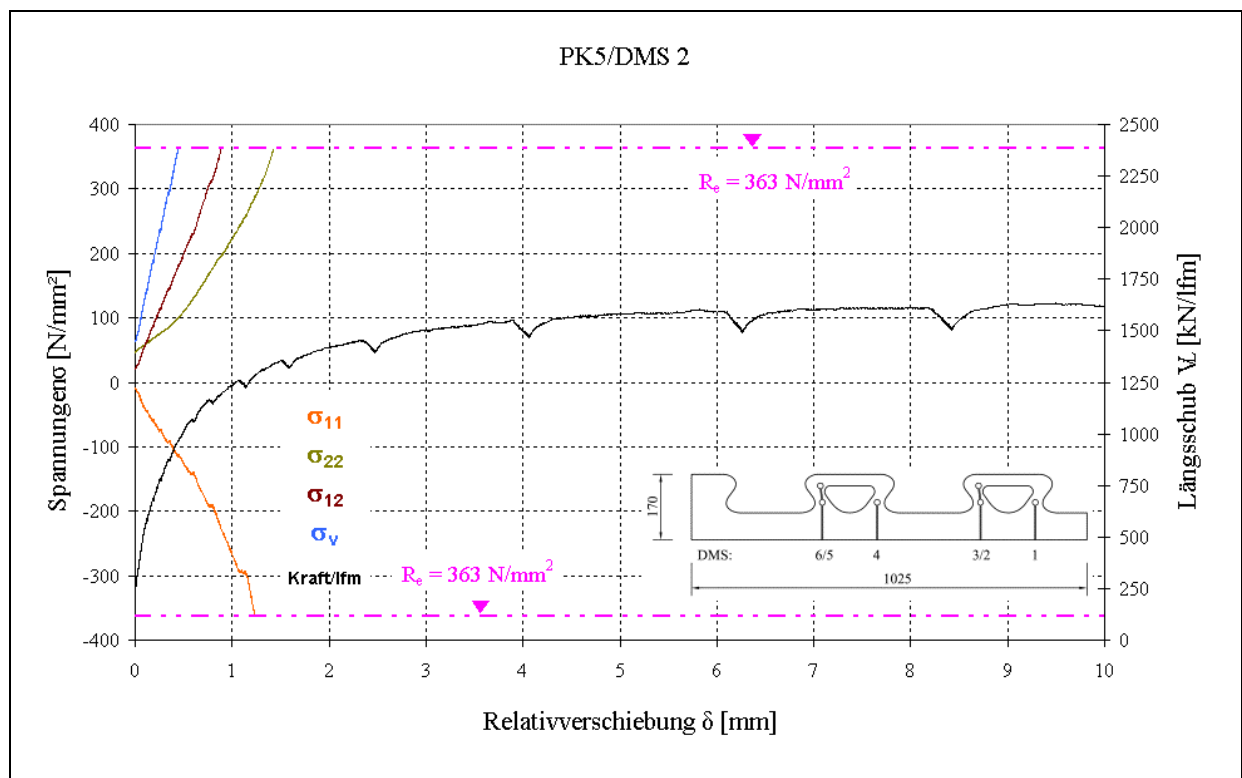


Abbildung 108: DMS 2 – Spannungen

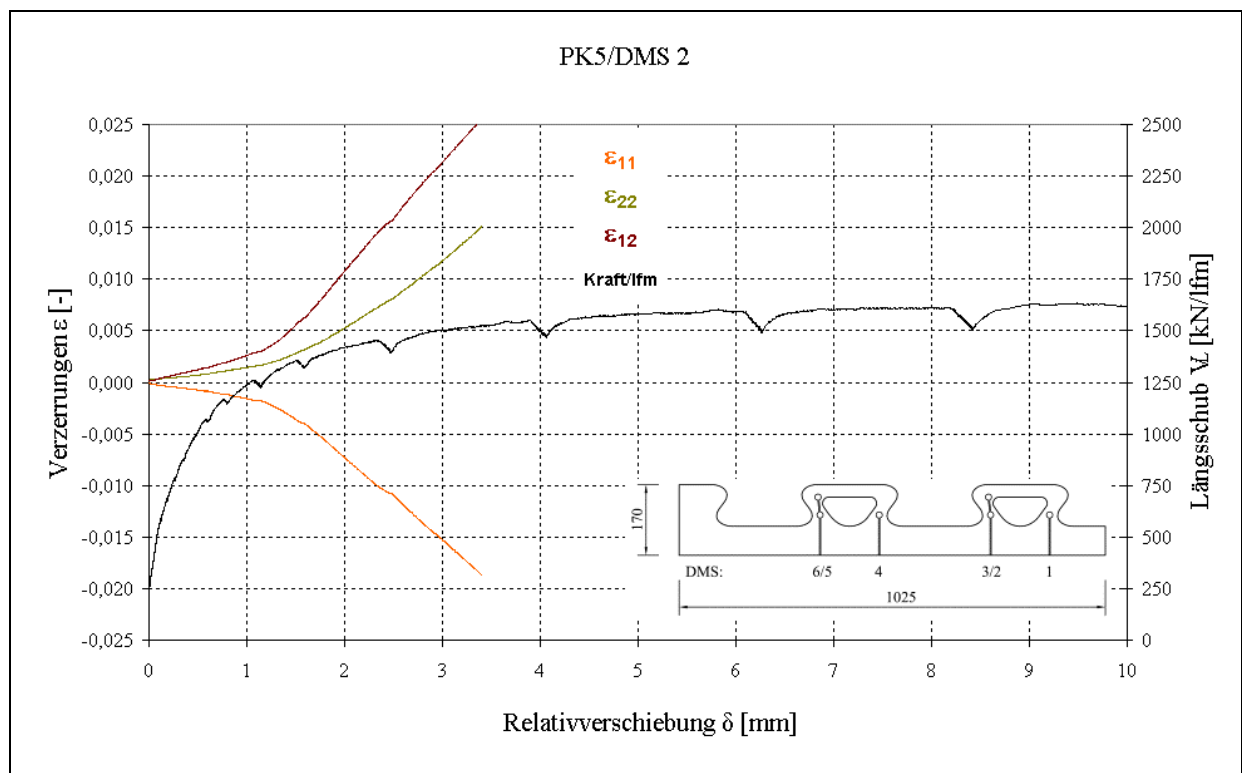
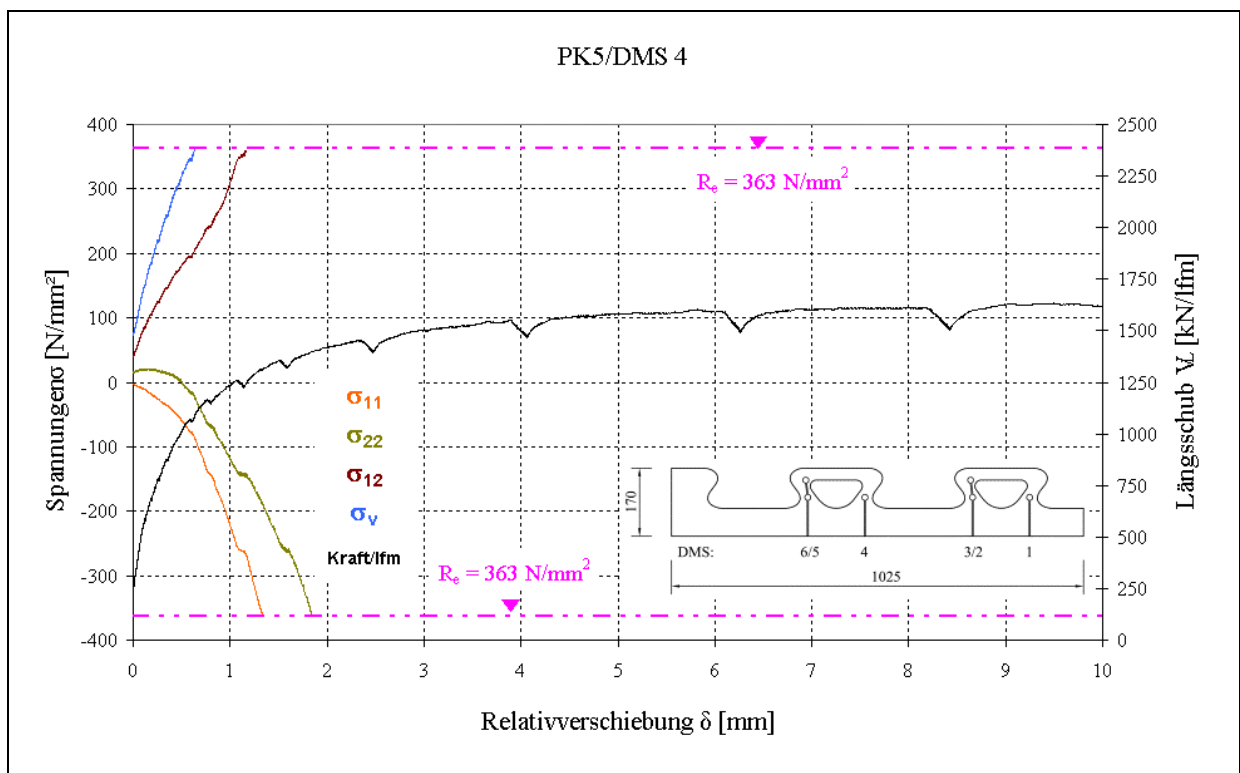
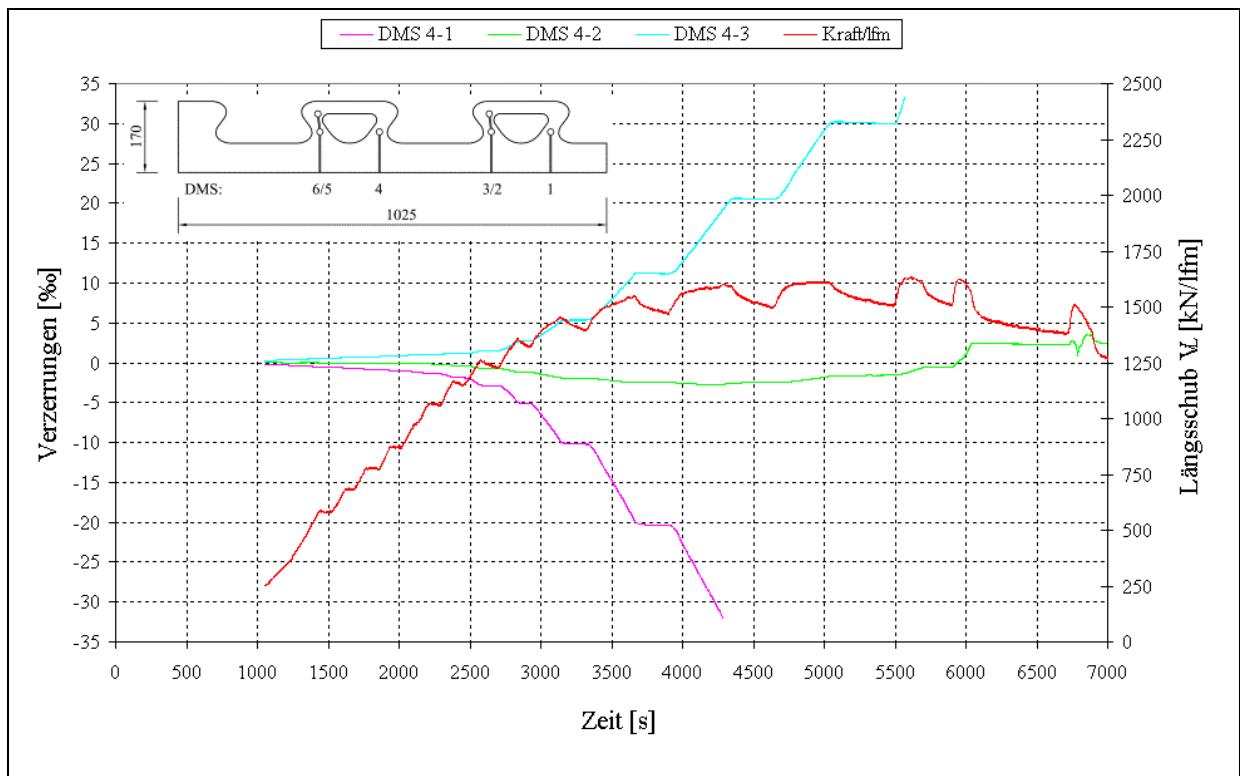


Abbildung 109: DMS 2 – Verzerrungen



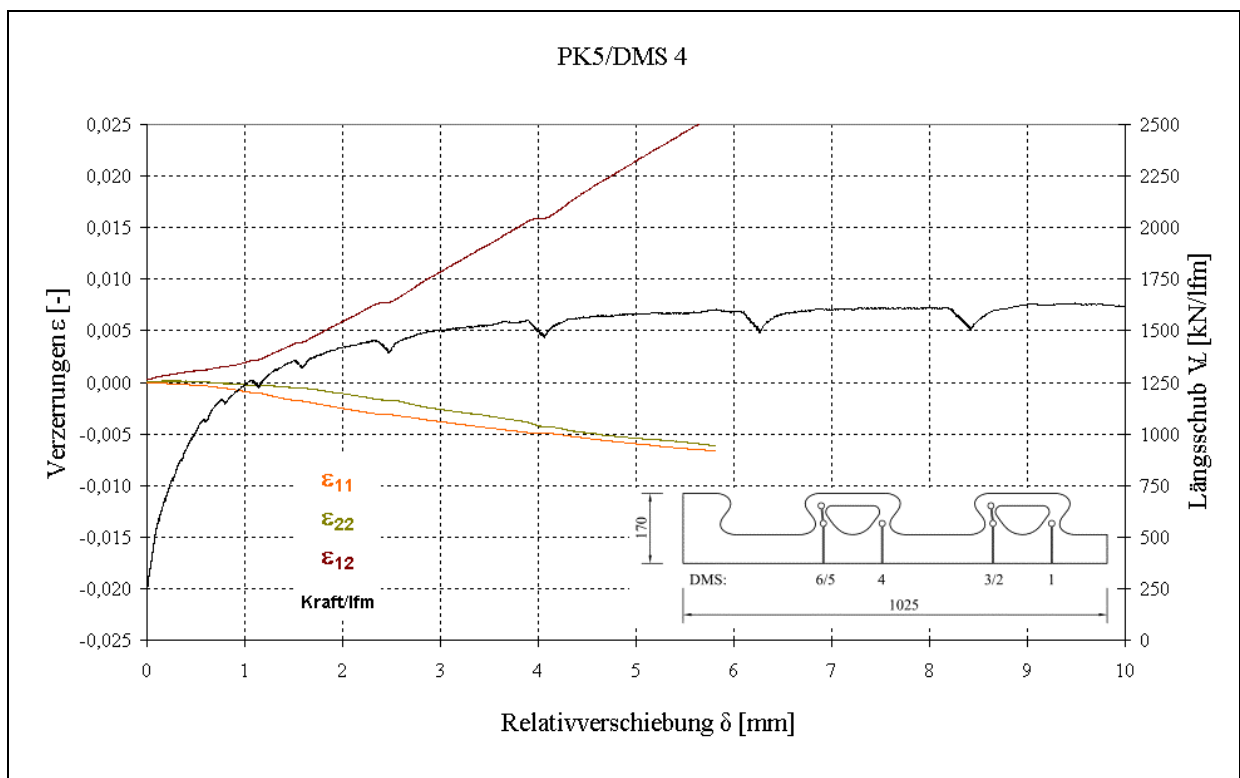


Abbildung 112: DMS 4 – Verzerrungen

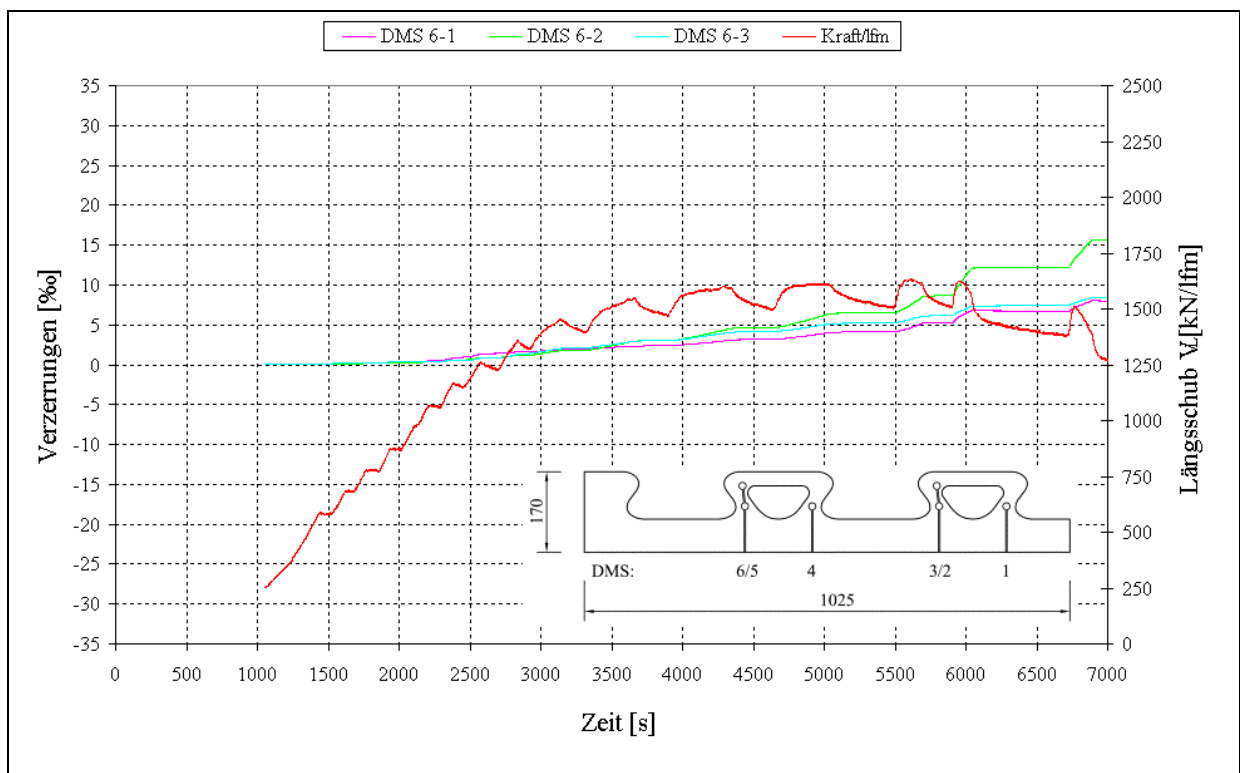


Abbildung 113: DMS 6 – Messwerte

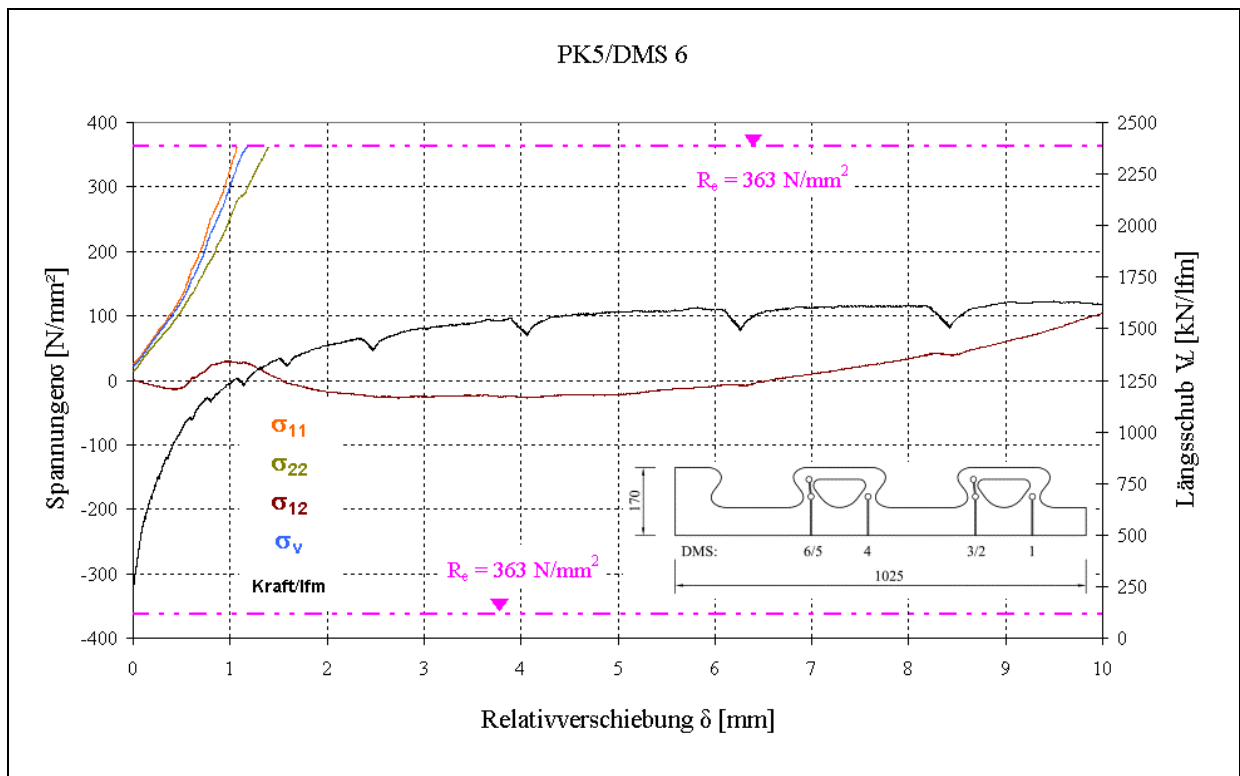


Abbildung 114: DMS 6 – Spannungen

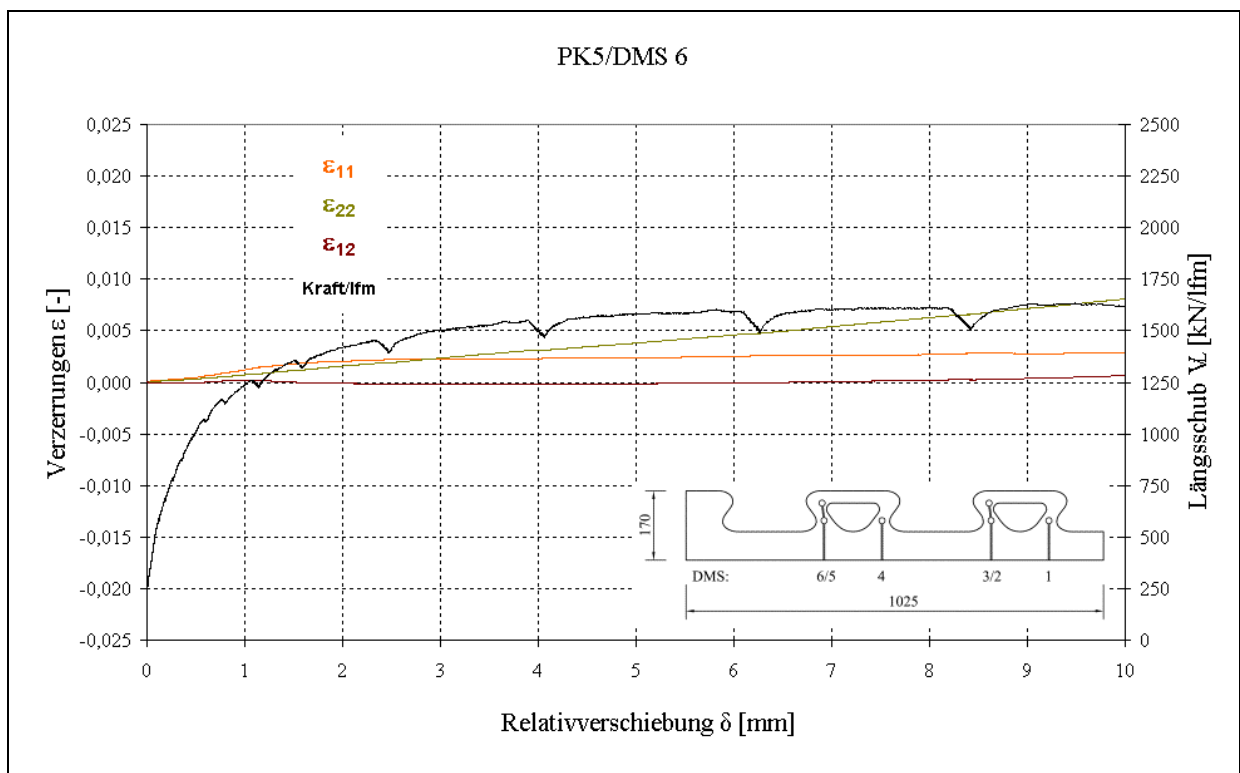


Abbildung 115: DMS 6 – Verzerrungen

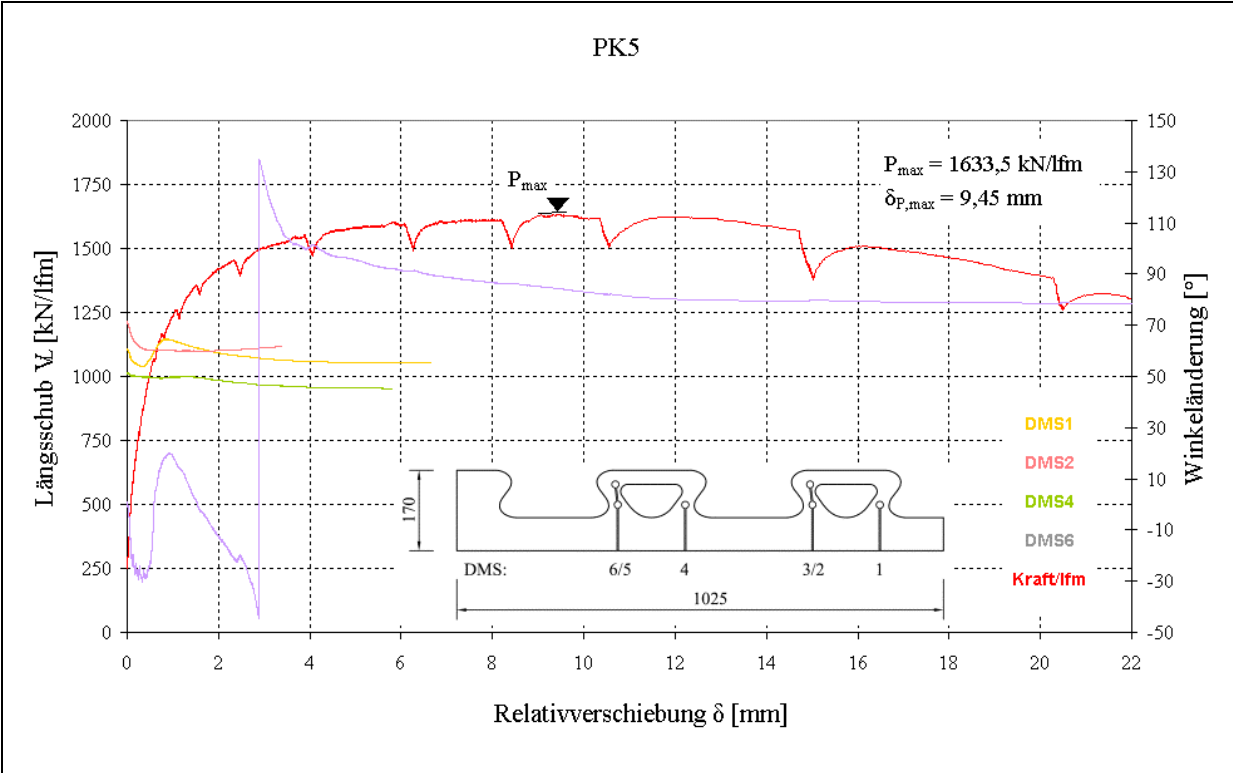


Abbildung 116: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen

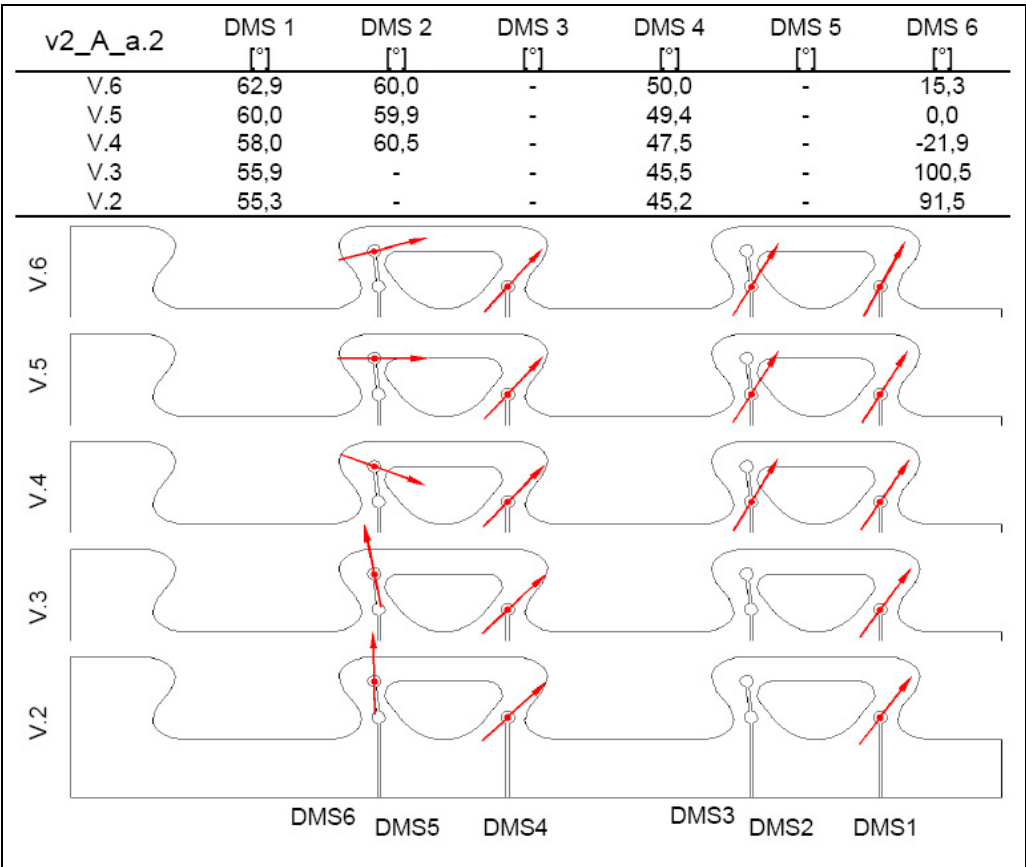
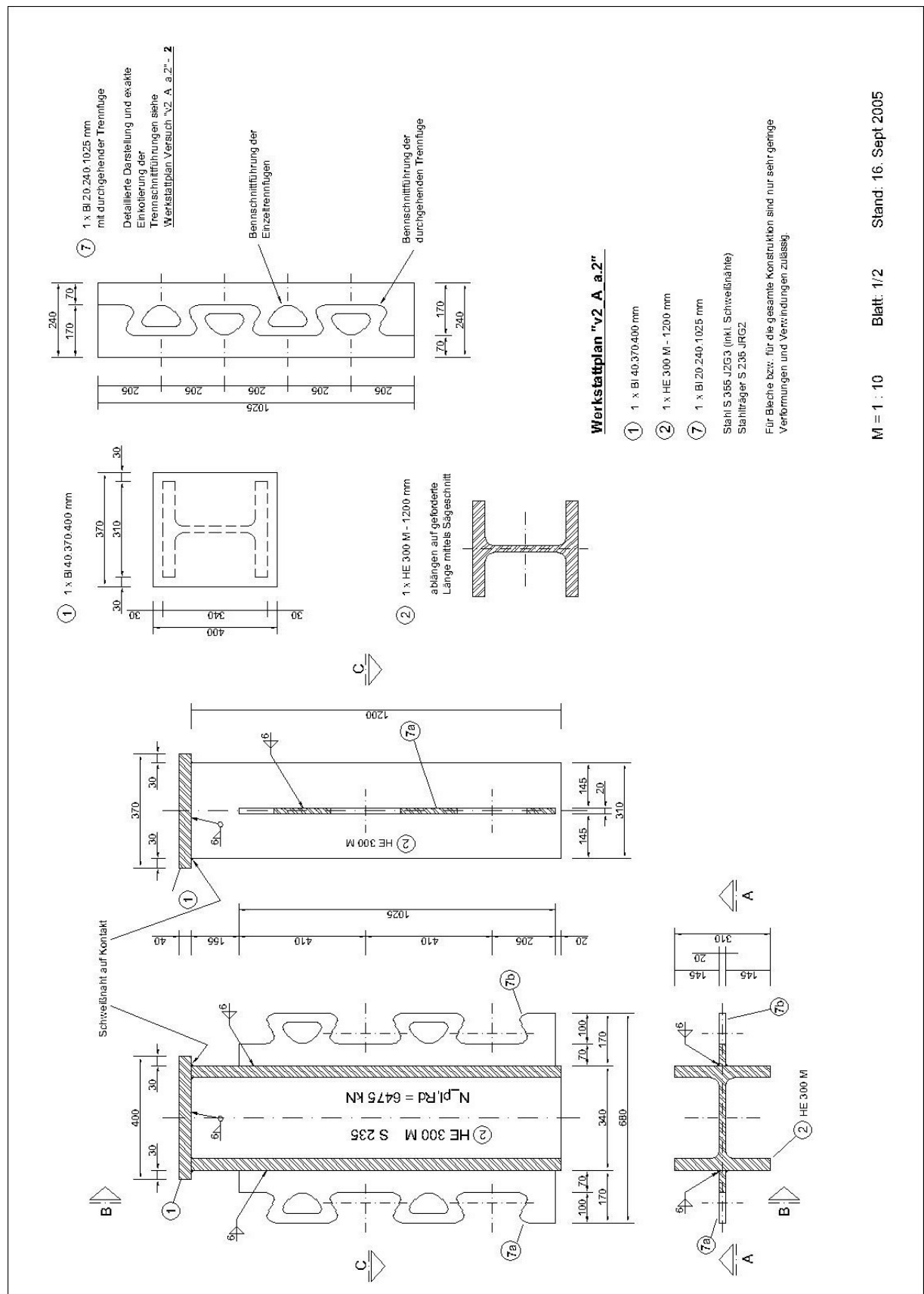
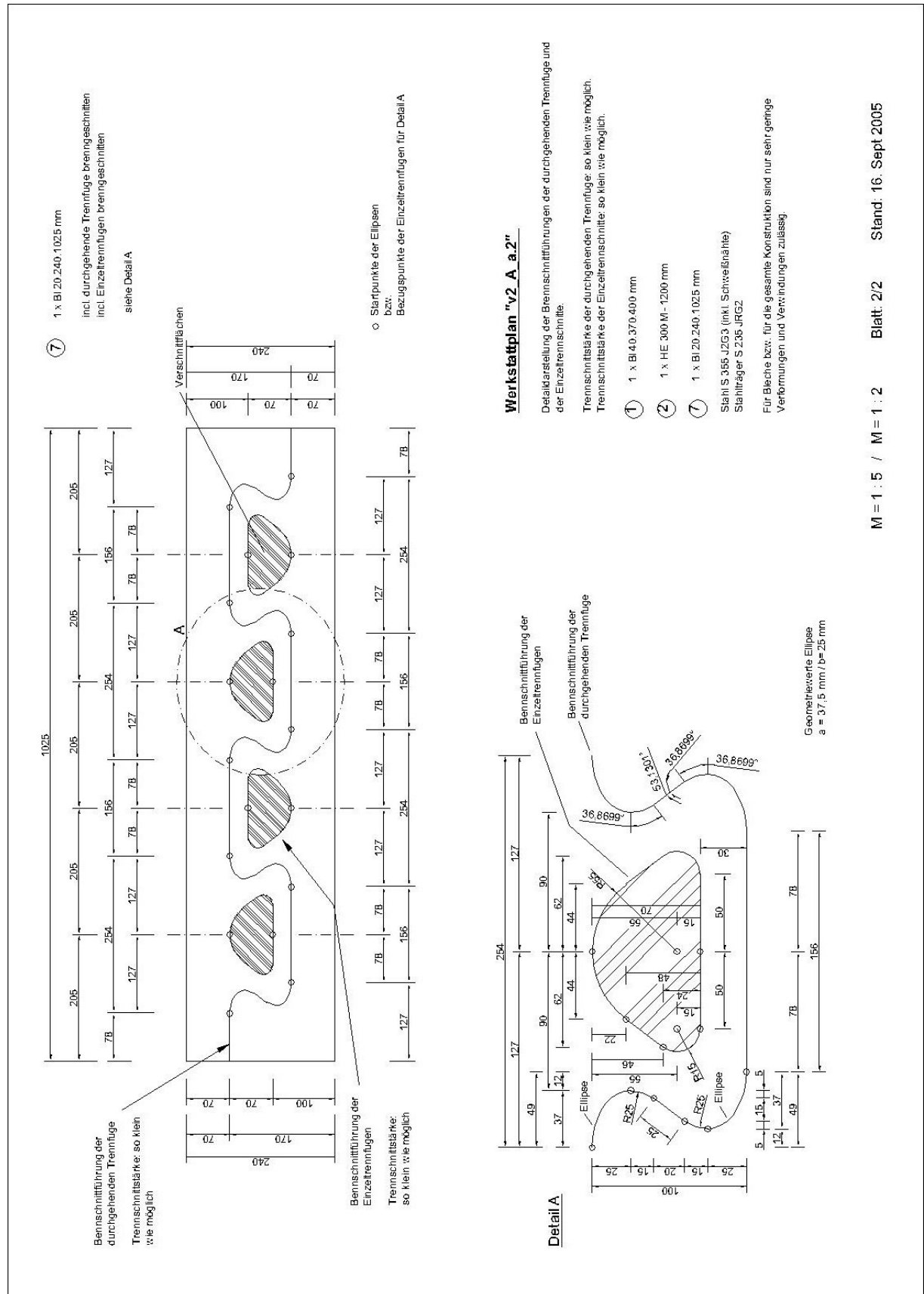


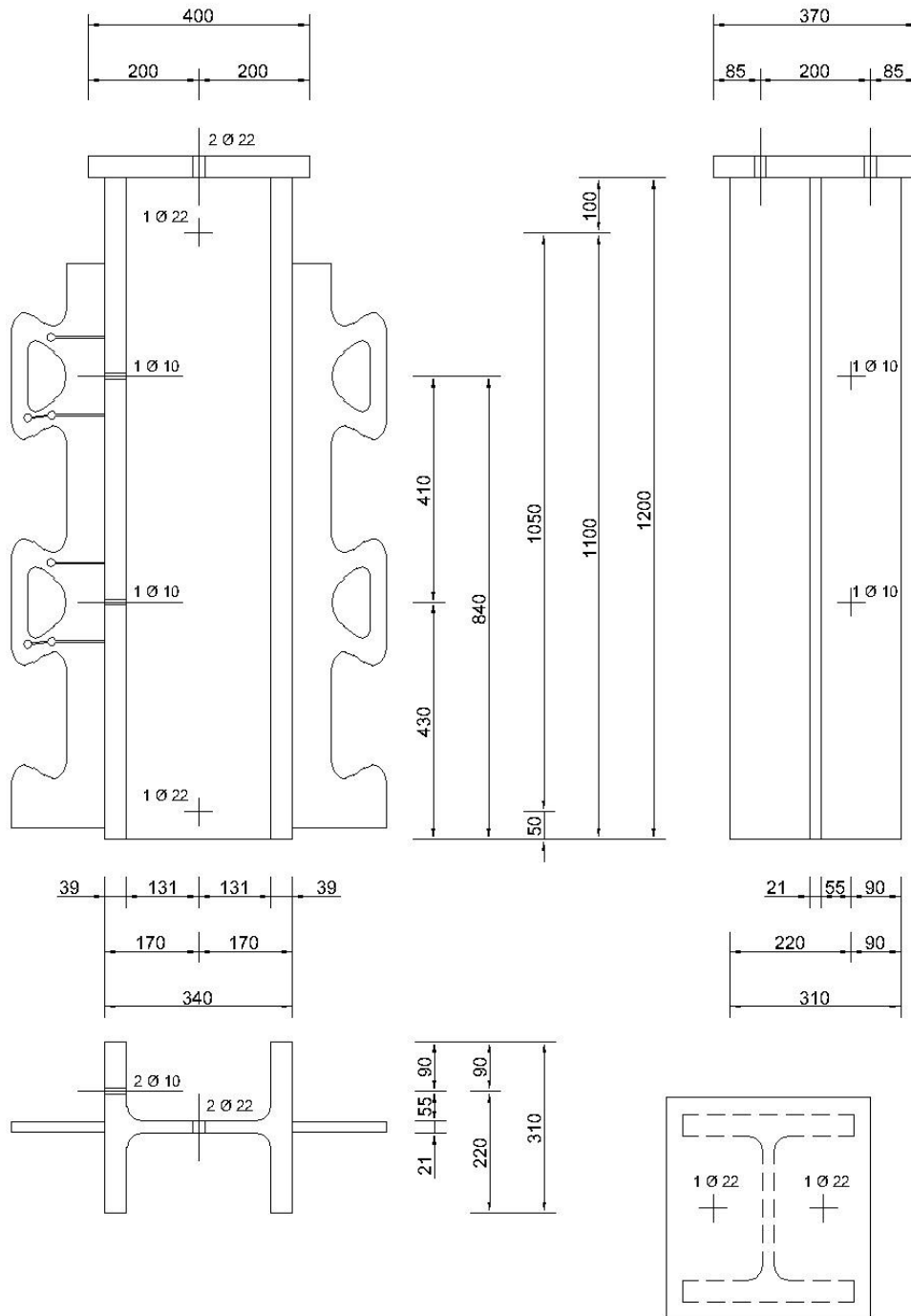
Abbildung 117: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus

5.1.3.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers





Bearbeitung Stahlbauteil "v2 A a.2"



M = 1 : 10

Blatt: 1/1

Stand: 1. Juni 2006

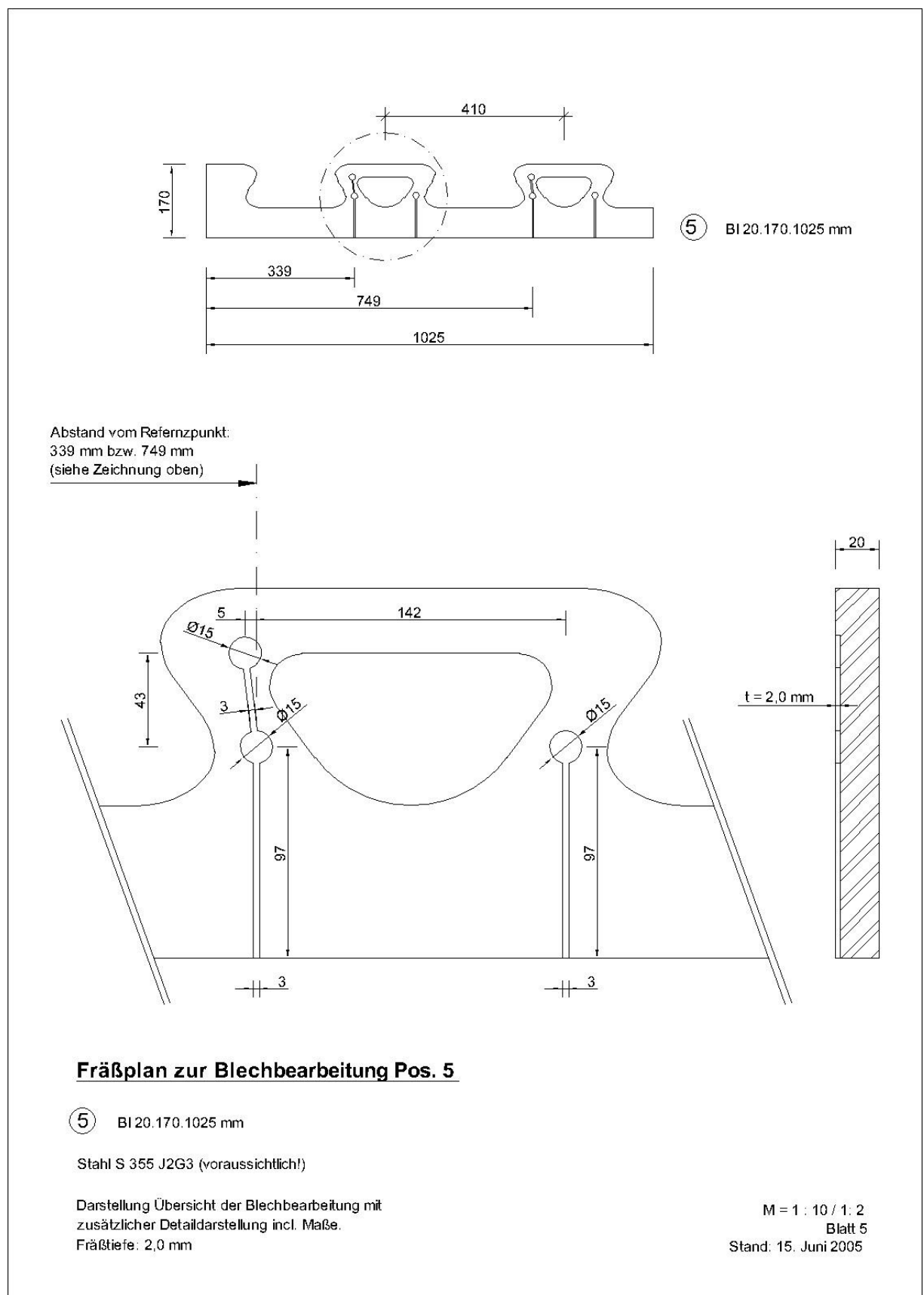
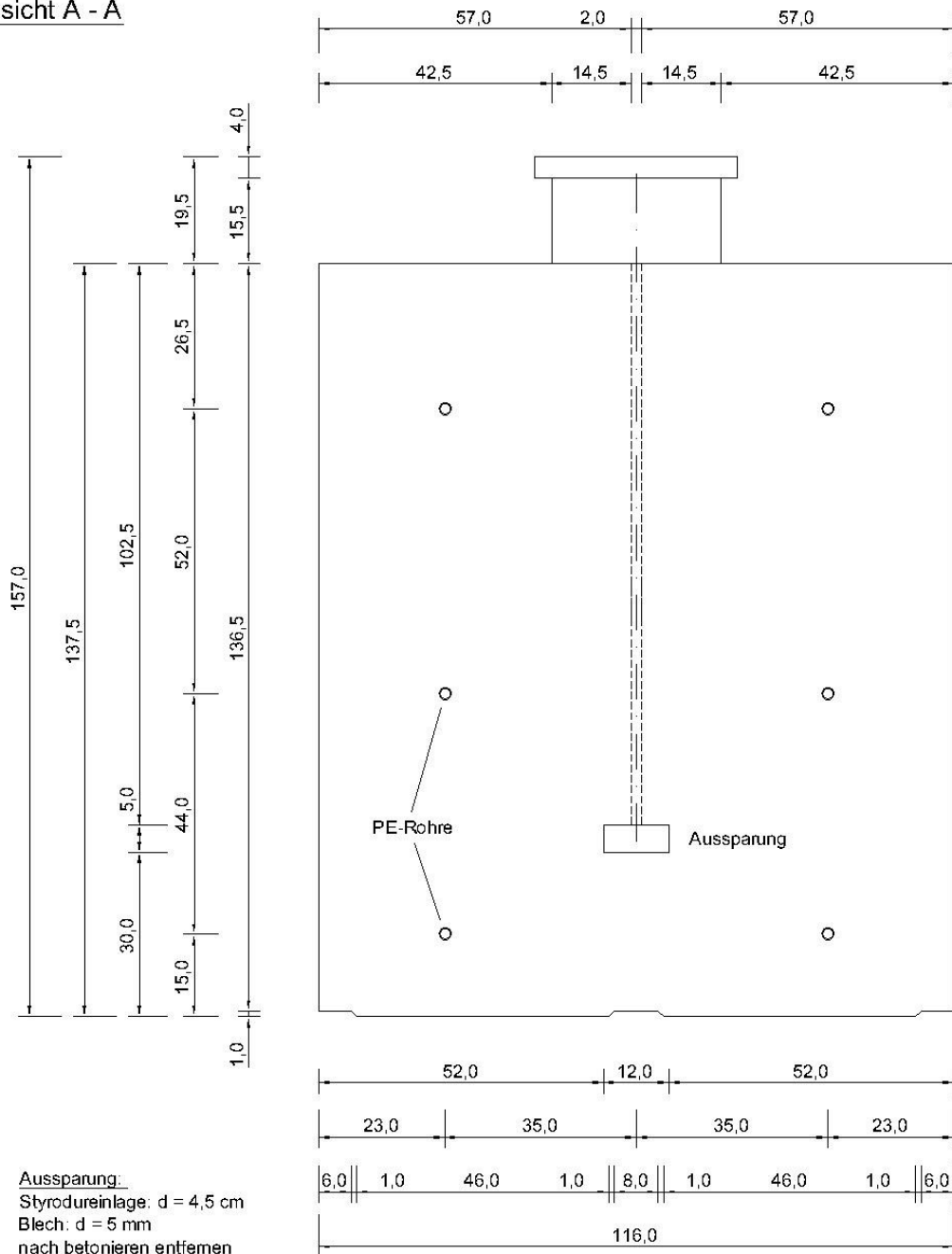


Abbildung 118: Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_a.2

Schalungsplan "v2 A a.2"

Ansicht A - A



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

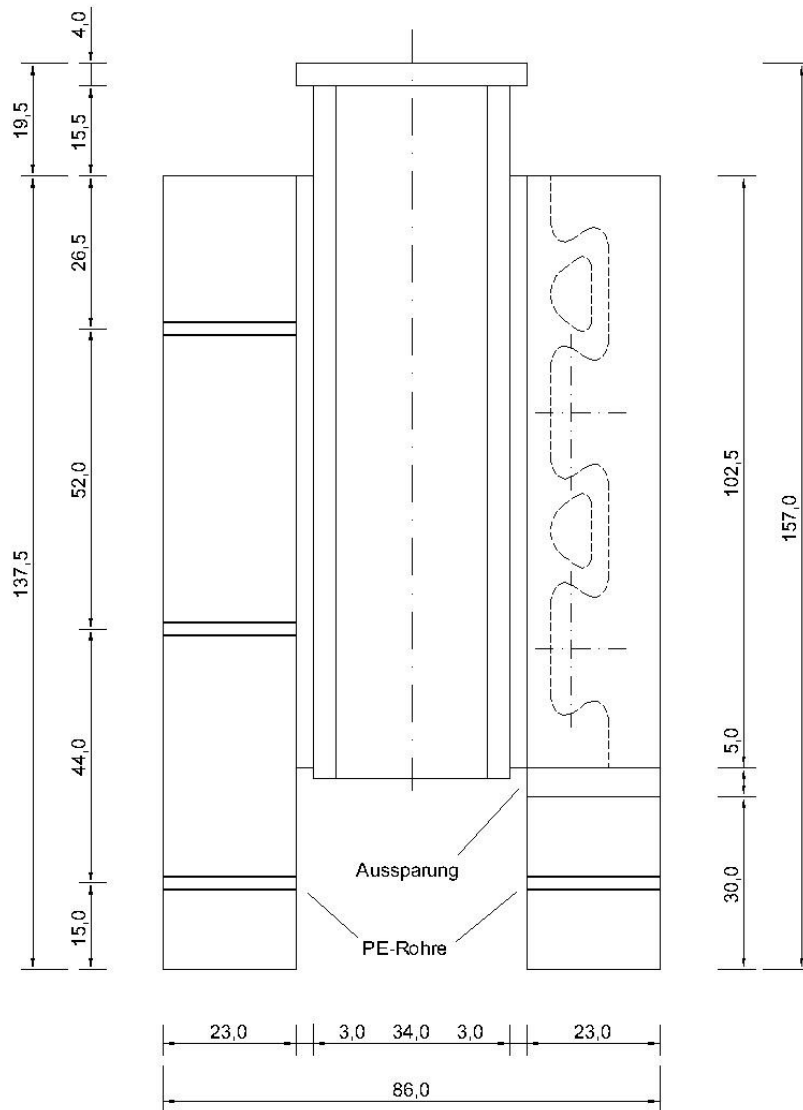
M = 1 : 10

Blatt: 1/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2 A a.2"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

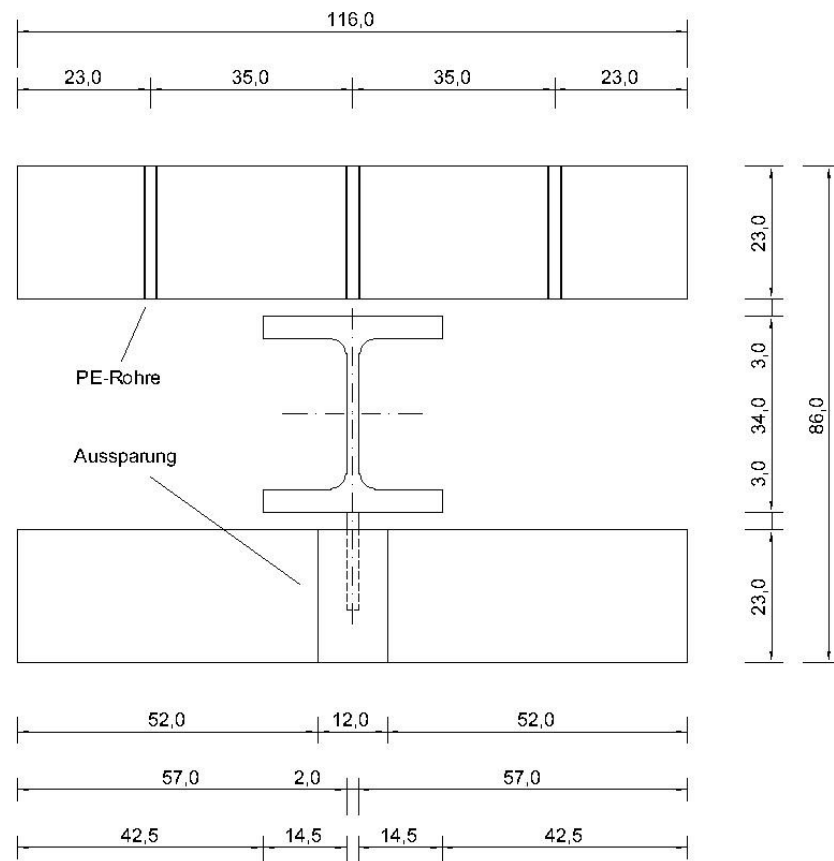
M = 1 : 10

Blatt: 2/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2_A_a.2"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



Aussparung:
Styrodureinlage: $d = 4,5 \text{ cm}$
Blech: $d = 5 \text{ mm}$
nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
Außendurchmesser $\varnothing = 22 \text{ mm}$
mit einbetoniert,
zur Führung der Zugstangen

M = 1 : 10

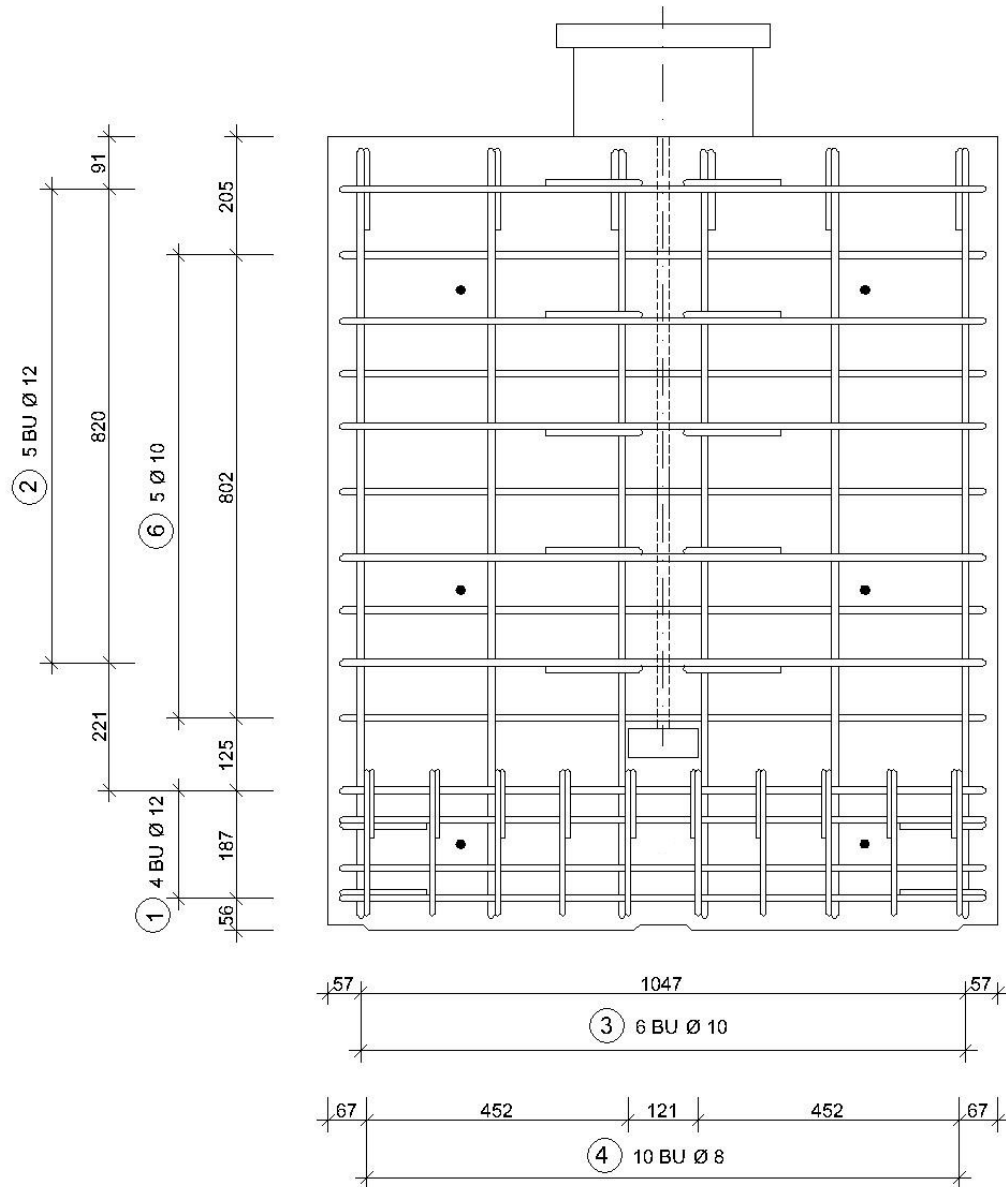
Blatt: 3/3

Stand: 1. Juni 2006

Abbildung 119: Schalpläne v2_A_a.2

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Ansicht A - A



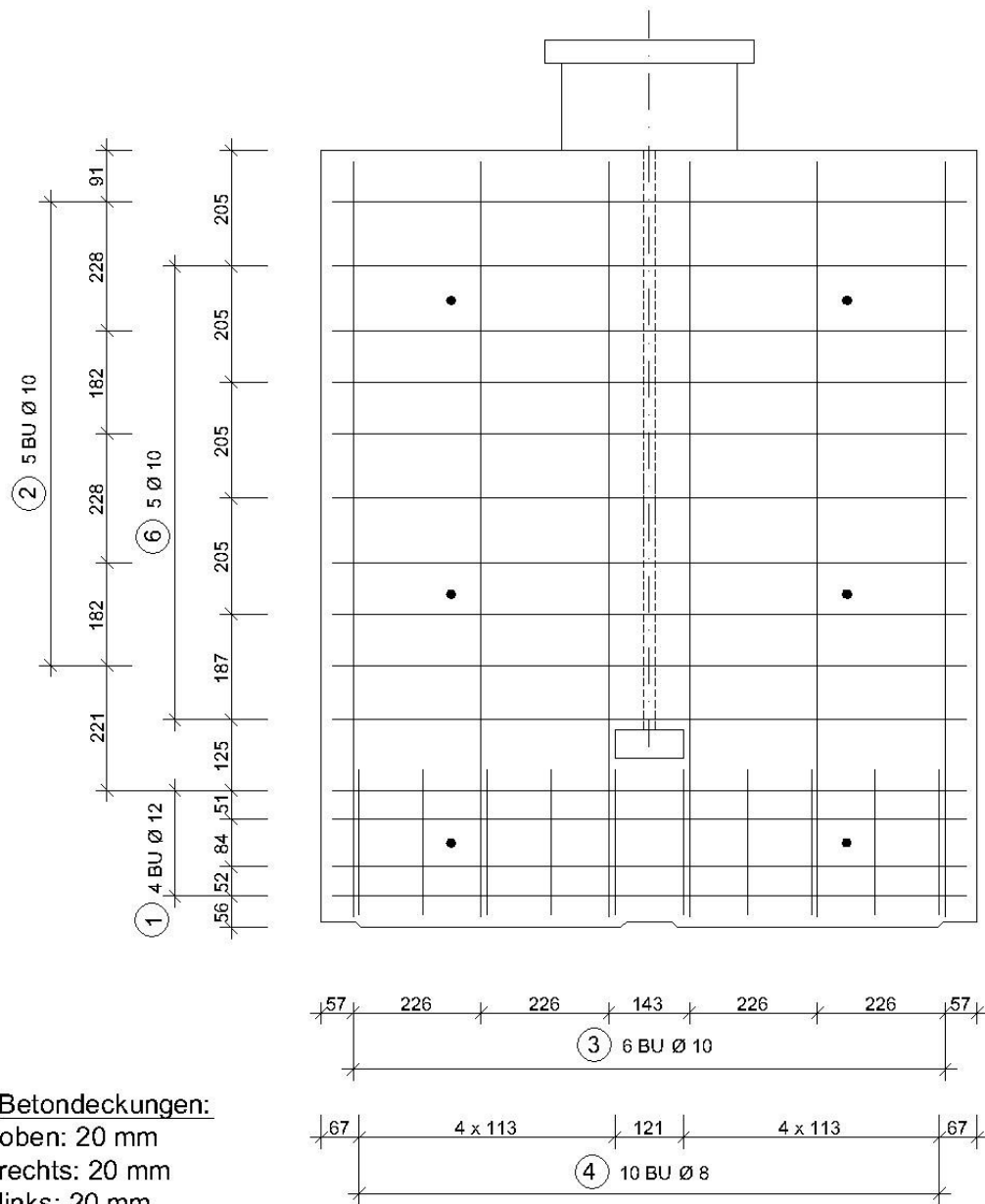
M = 1 : 10

Blatt: 1/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Ansicht A - A



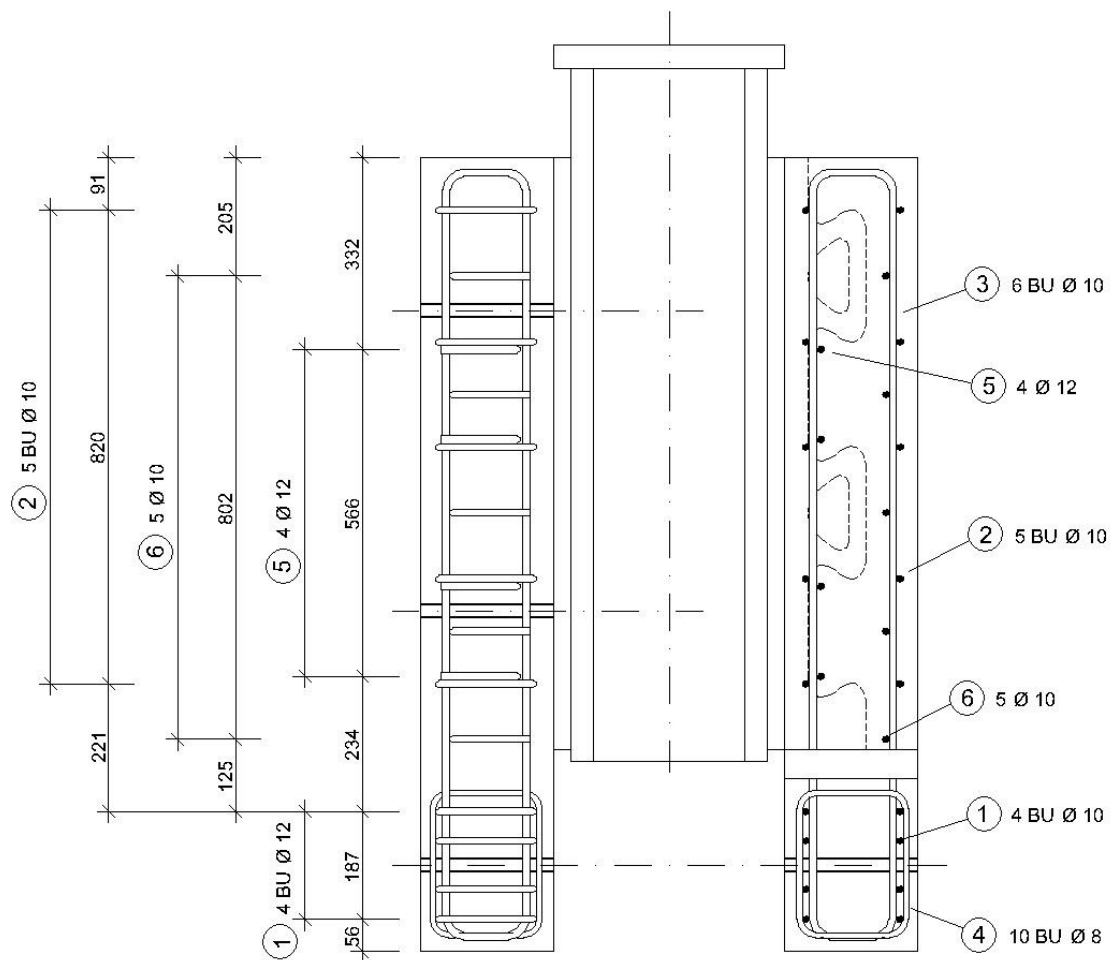
M = 1 : 10

Blatt: 2/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



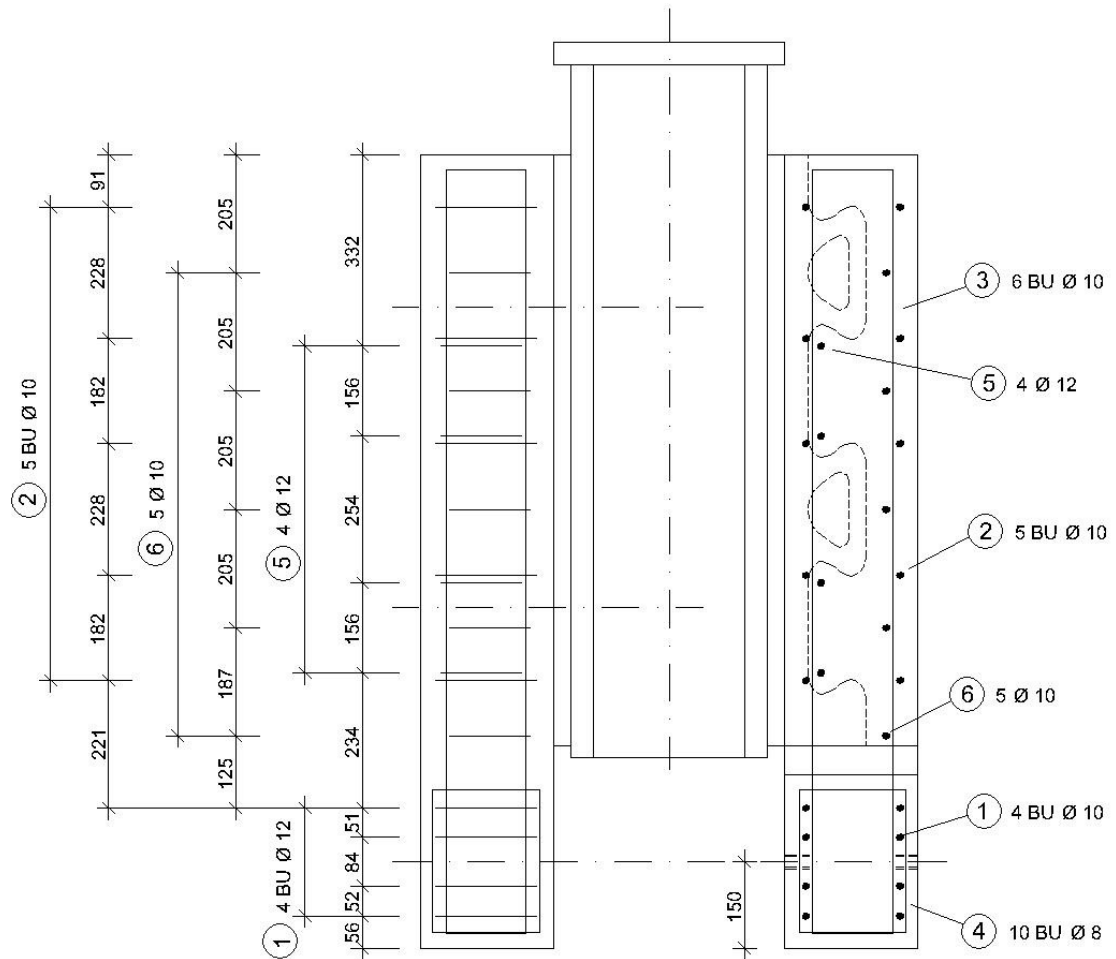
M = 1 : 10

Blatt: 3/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_A_a.2"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Betondeckungen:
oben innen: 30 mm
oben außen: 25 mm

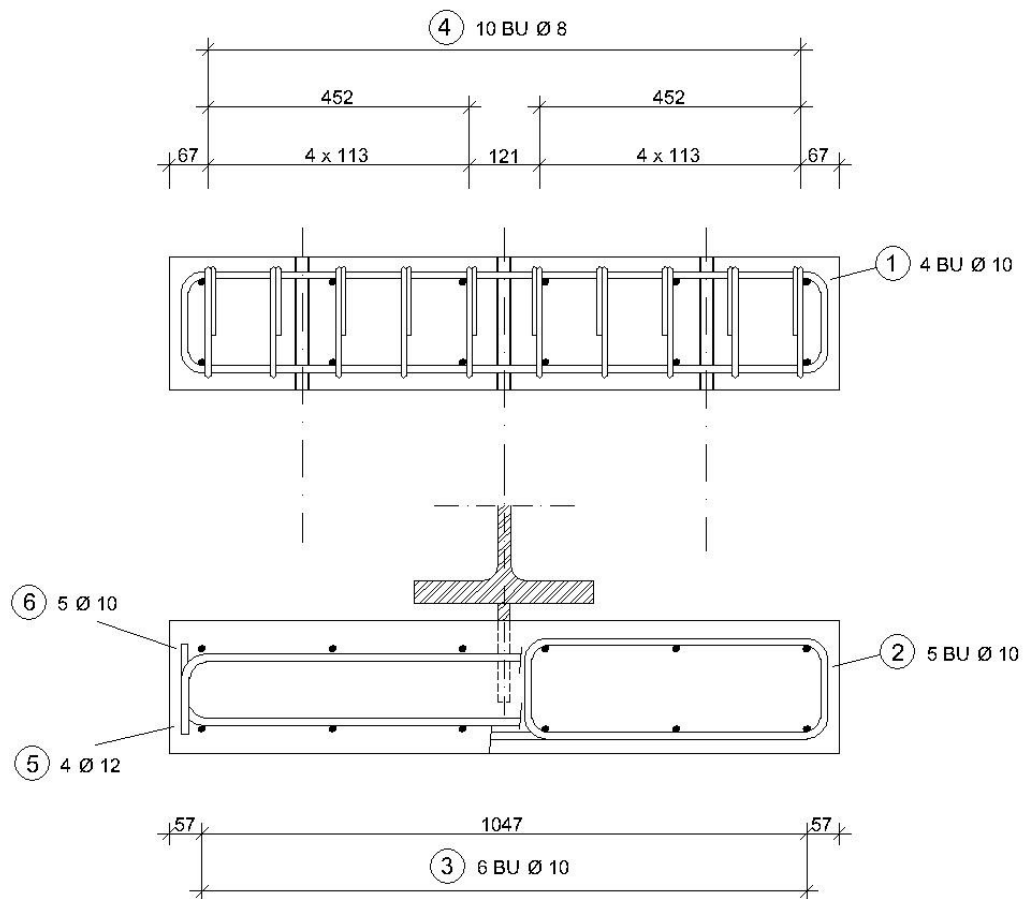
M = 1 : 10

Blatt: 4/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



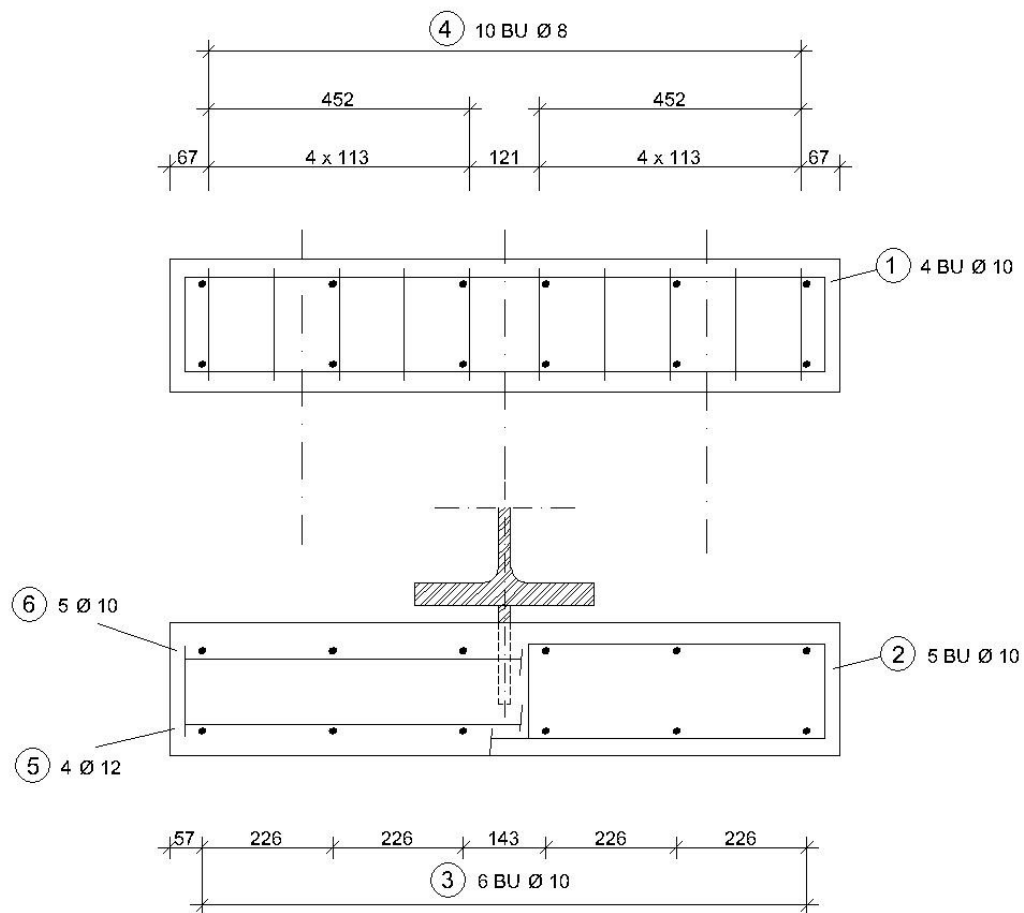
M = 1 : 10

Blatt: 5/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



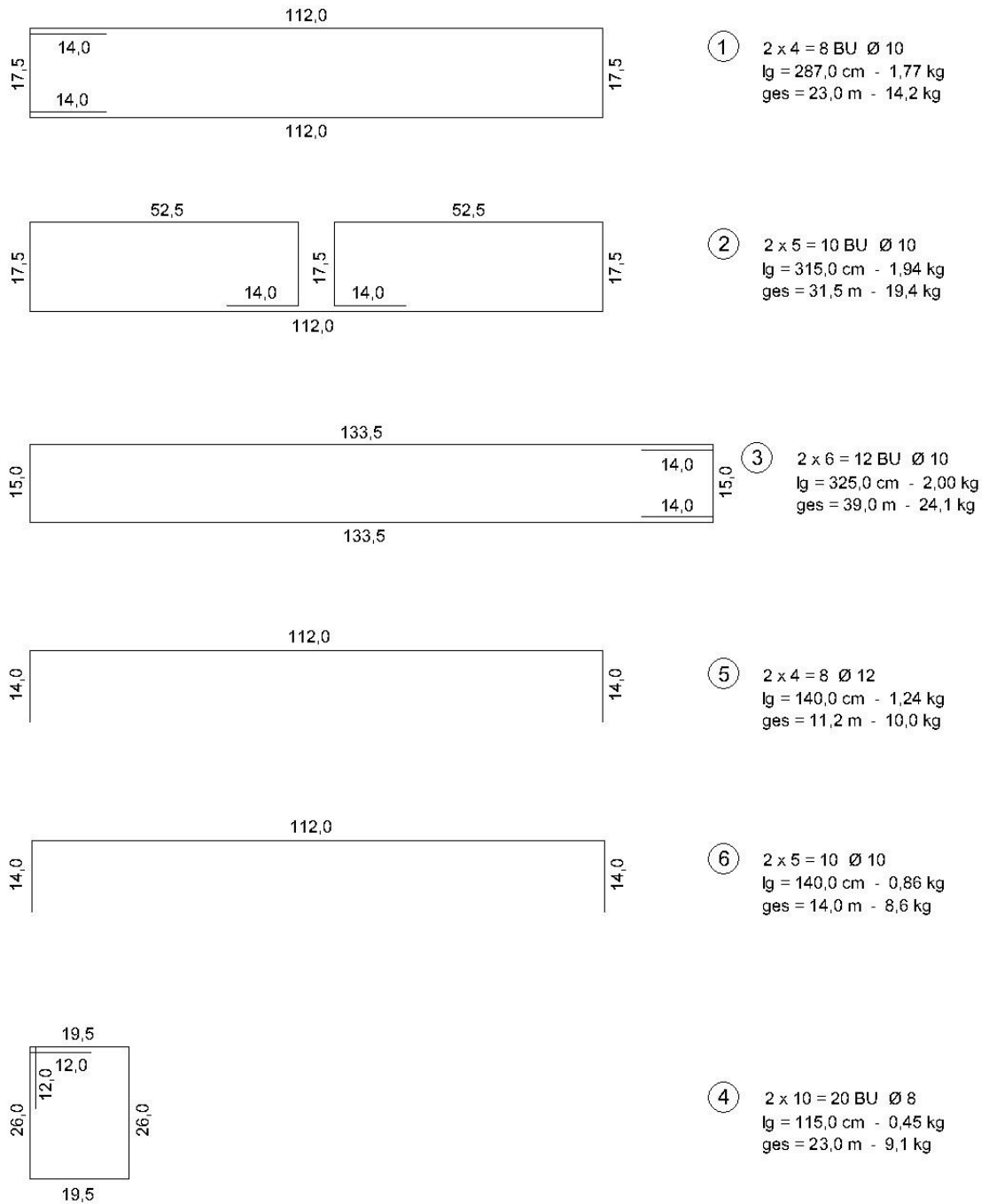
M = 1 : 10

Blatt: 6/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_A_a.2"

bemaßte Biegeformen



M = 1 : 10

Blatt: 7/7

Stand: 13. März 2006

Abbildung 120: Bewehrungspläne v2_A_a.2

5.1.4. Versuchsdatenblatt v2_A_b.2 (PK4)

5.1.4.1. Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation

Die planparallele Ausrichtung der späteren Kontaktflächen zur Druckplatte des großen Prüfrahmens und zur lastnahen Kopfplatte des Stahlträgers wurde erreicht.

Das Einheben und der Einbau in den großen Prüfrahmen führten zu keinerlei Beeinträchtigungen des Push-Out-Versuchskörpers zum Beispiel durch Anschlagen. Die Druckplatten des großen Prüfrahmens konnten so ausgerichtet werden, dass beide satt am Push-Out-Versuchskörper anlagen.

5.1.4.2. Beschreibung des Versuchsablaufs

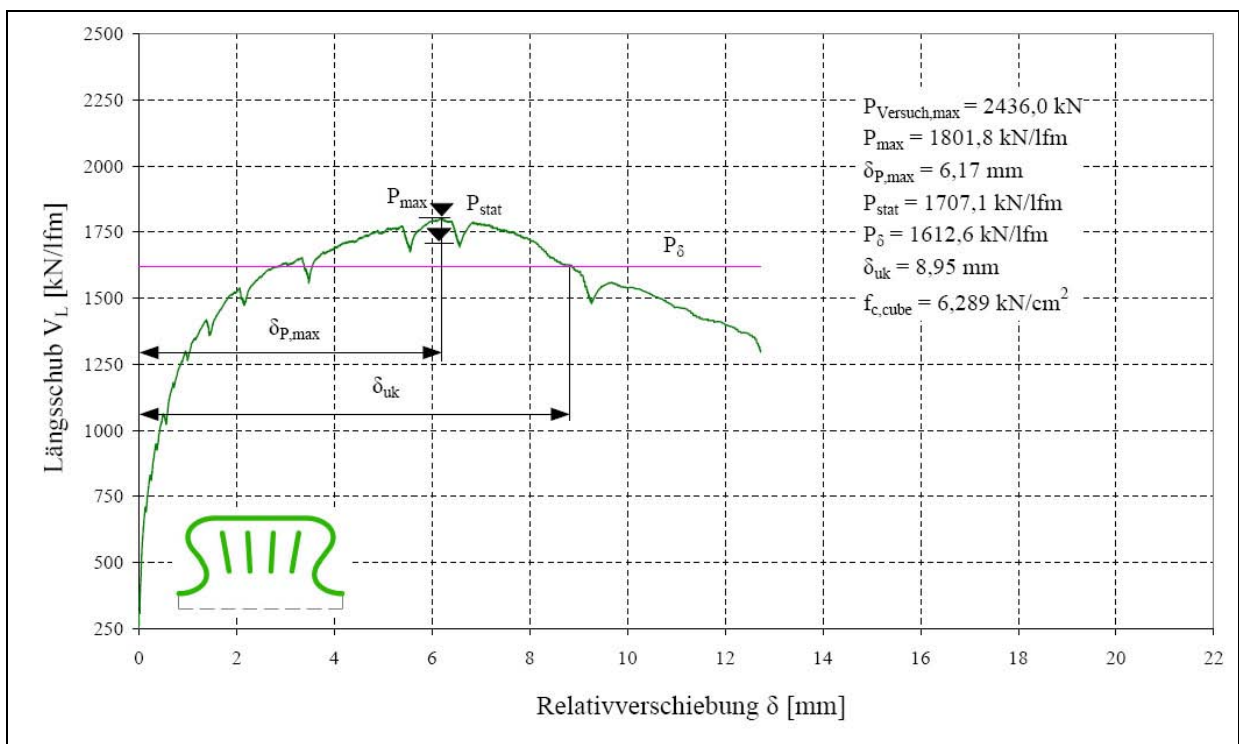


Abbildung 121: Dübelkennlinie v2_A_b.2

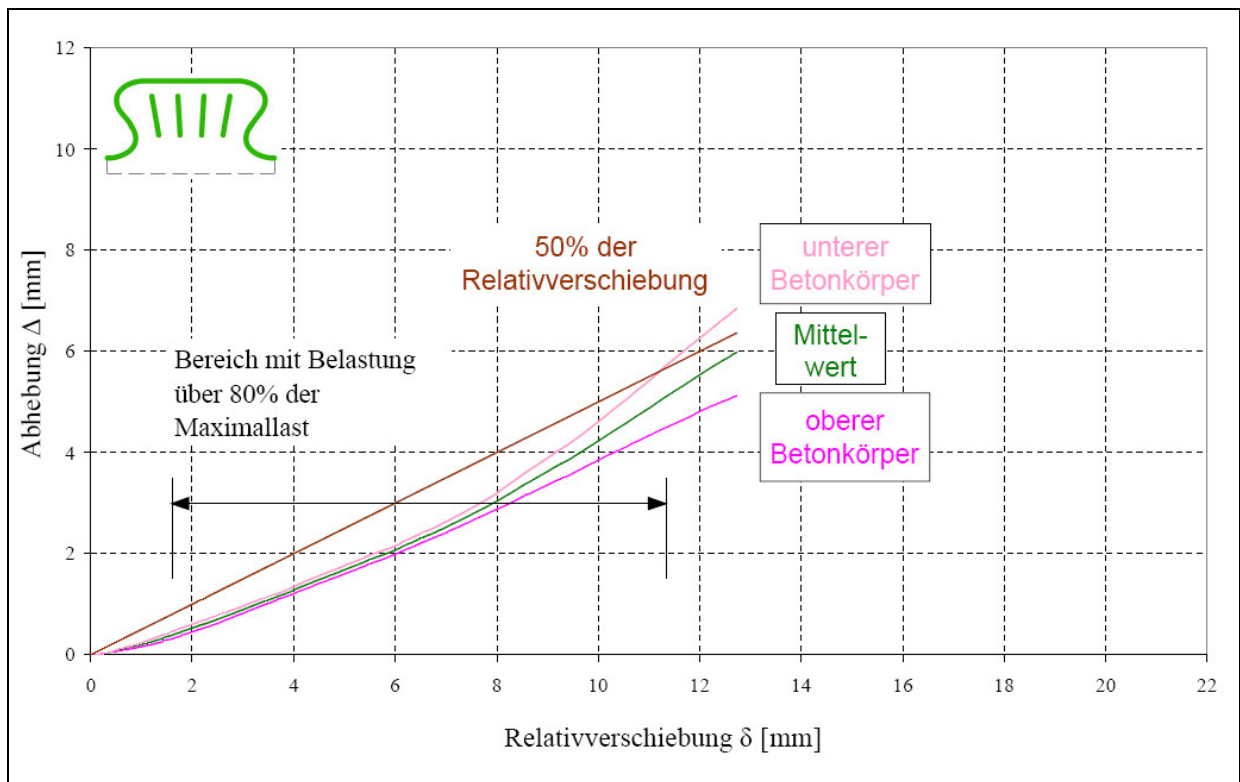


Abbildung 122: Abhebekennlinie v2_A_b.2

5.1.4.3. Beschreibung des Betonkörpers

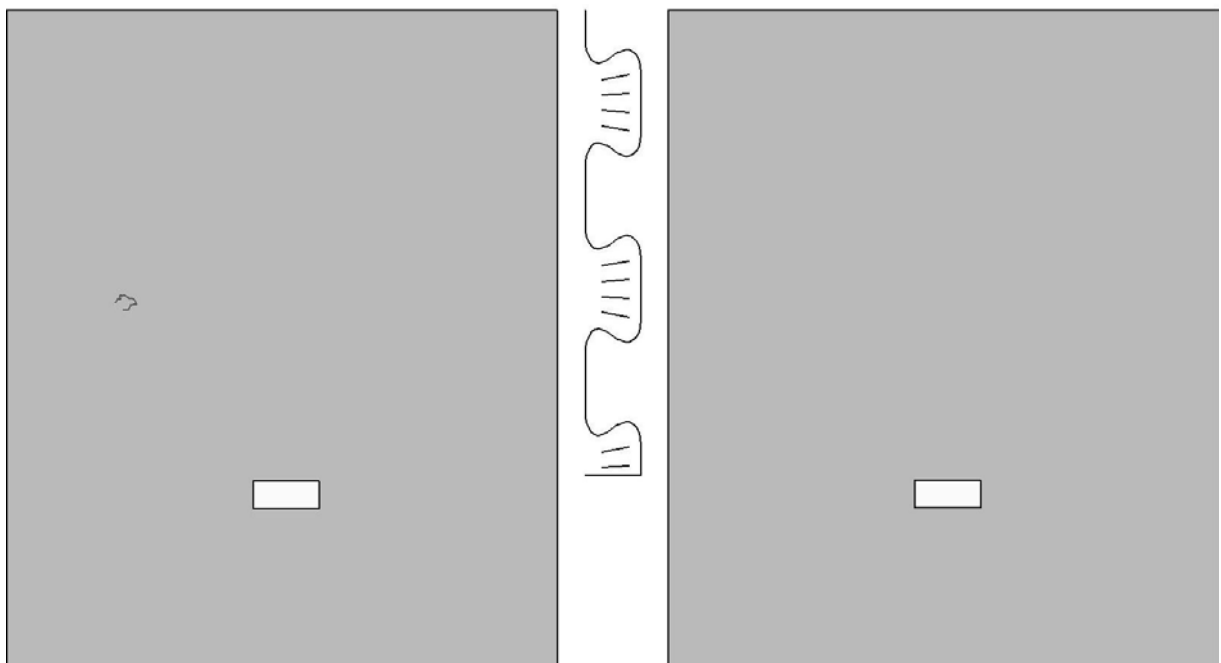


Abbildung 123: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_b.2 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

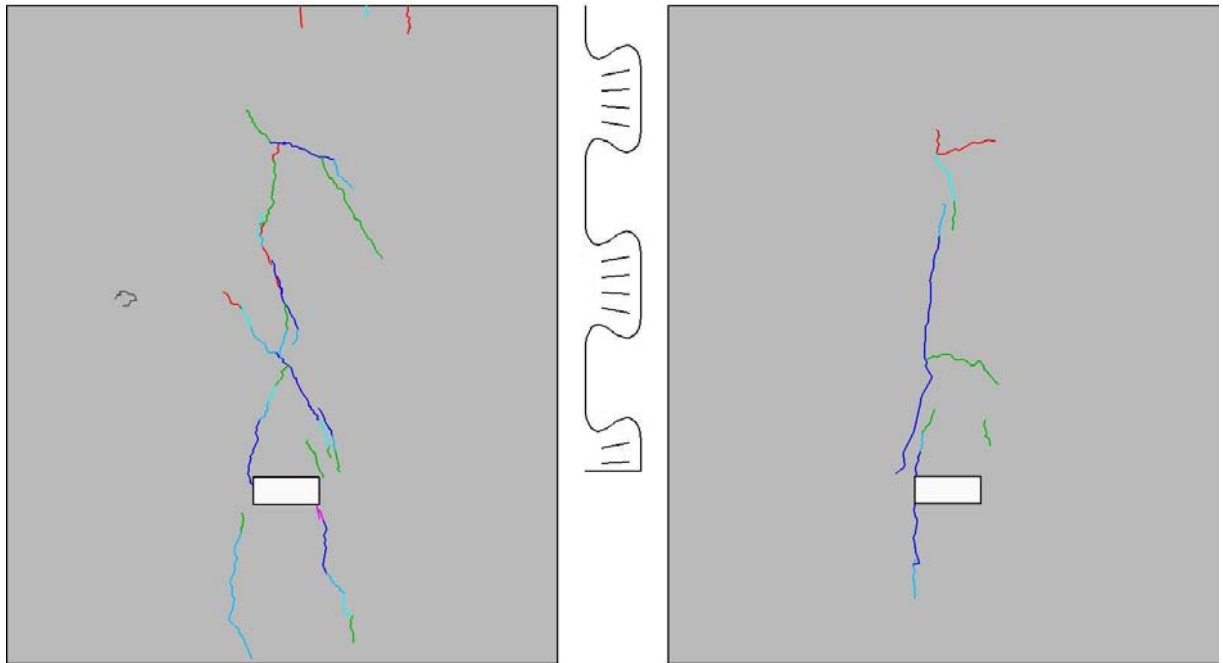


Abbildung 124: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_b.2 bei Erreichen von P_{max} . Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

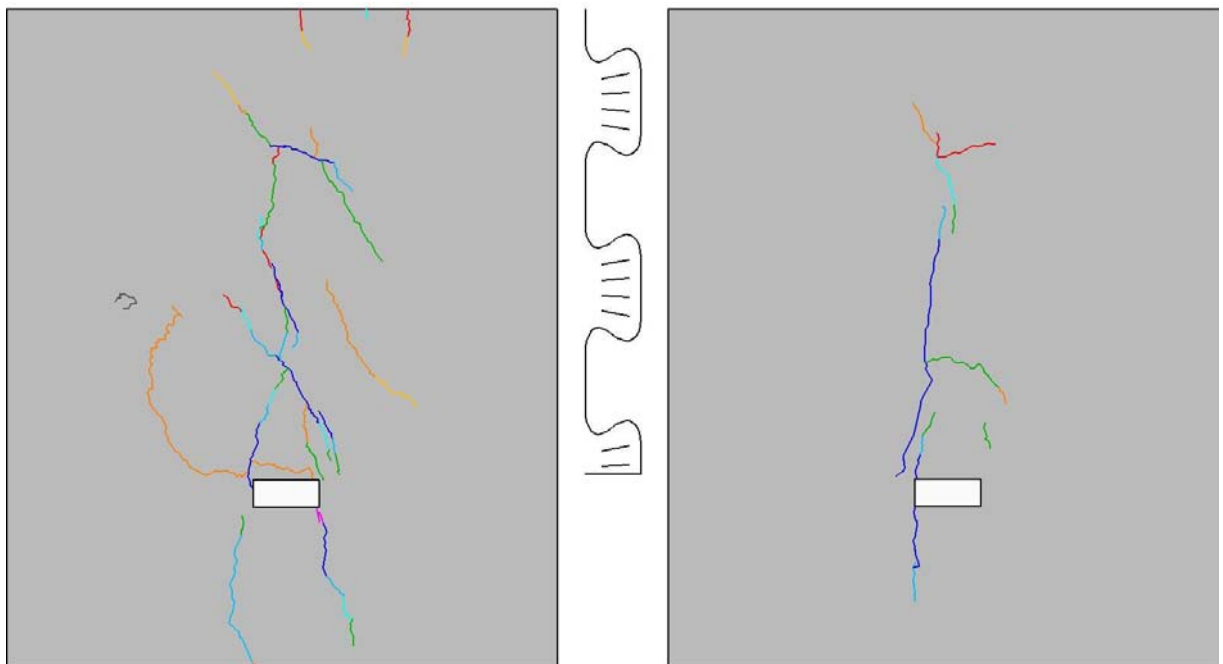


Abbildung 125: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_b.2 bei Versuche. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

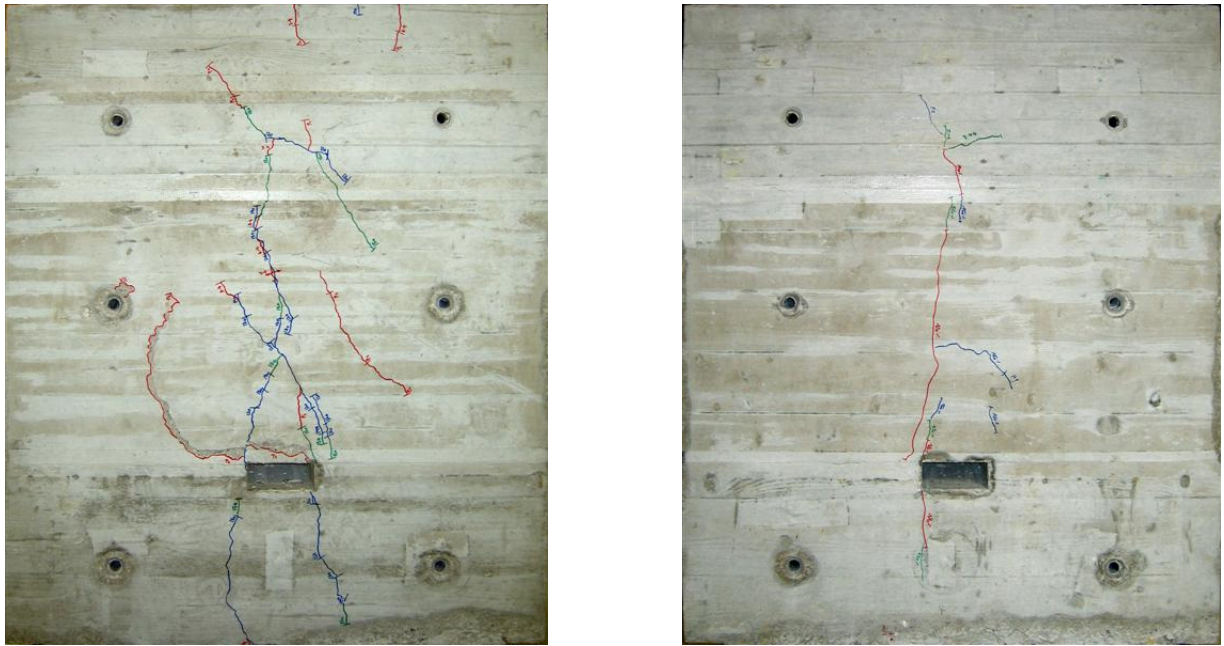


Abbildung 126: Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_b.2 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.

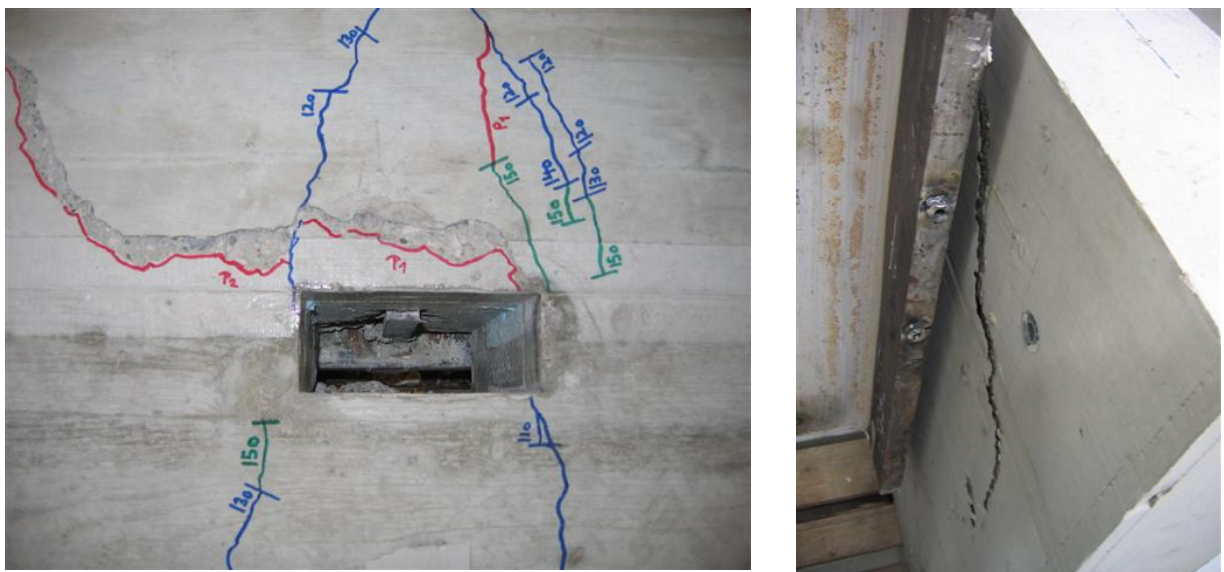


Abbildung 127: ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)

5.1.4.4. Beschreibung des Dübelblechs

Der Ausbau der Dübelbleche wurde bei diesem Prüfkörper nicht durchgeführt.

5.1.4.5. DMS-Auswertung

Bei diesem Push-Out-Versuchskörper lieferten insgesamt vier DMS-Rosetten brauchbare Messwerte. Es handelt sich dabei um DMS 1, DMS 2, DMS 4 und DMS 5. Allerdings können die Werte von DMS 1 nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 0,8 mm zur Auswertung herangezogen werden. Die Werte von DMS 2 und von DMS 5 nur bis etwa 4,2 mm. DMS 4 lieferte über die volle Versuchsdauer brauchbare Werte.

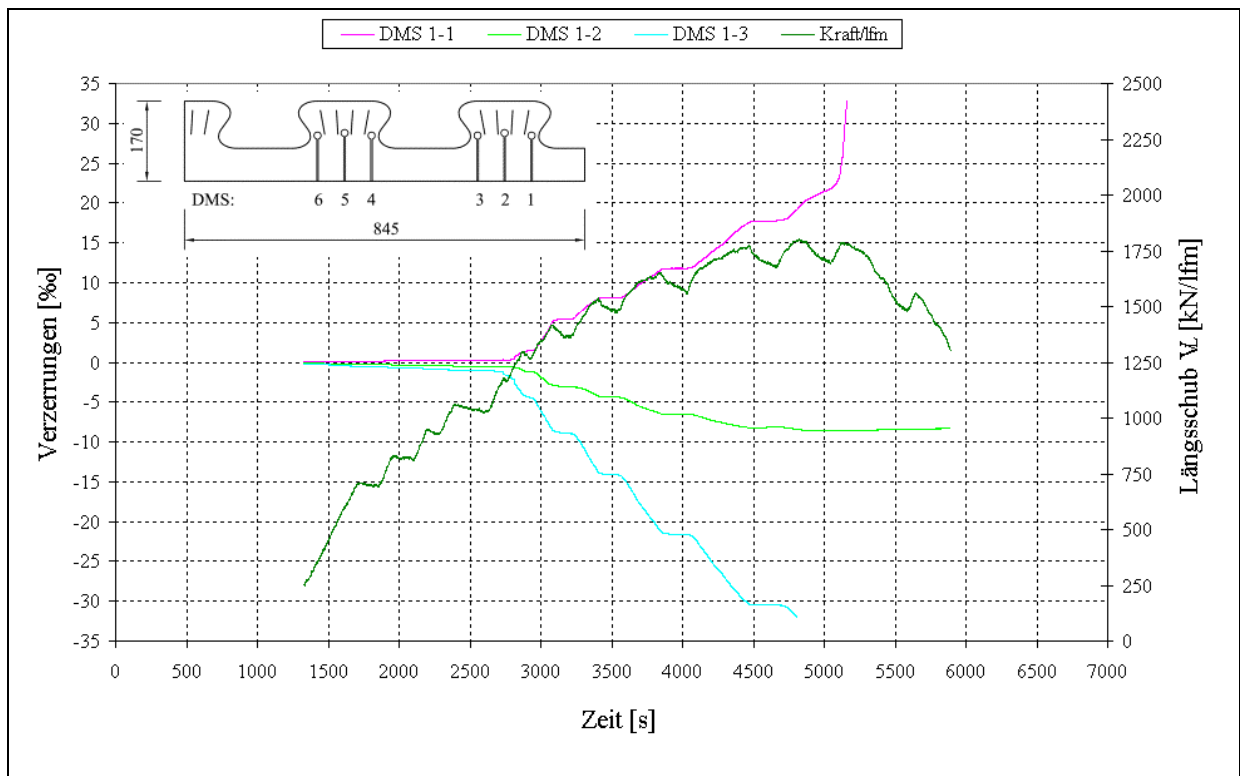


Abbildung 128: DMS 1 – Messwerte

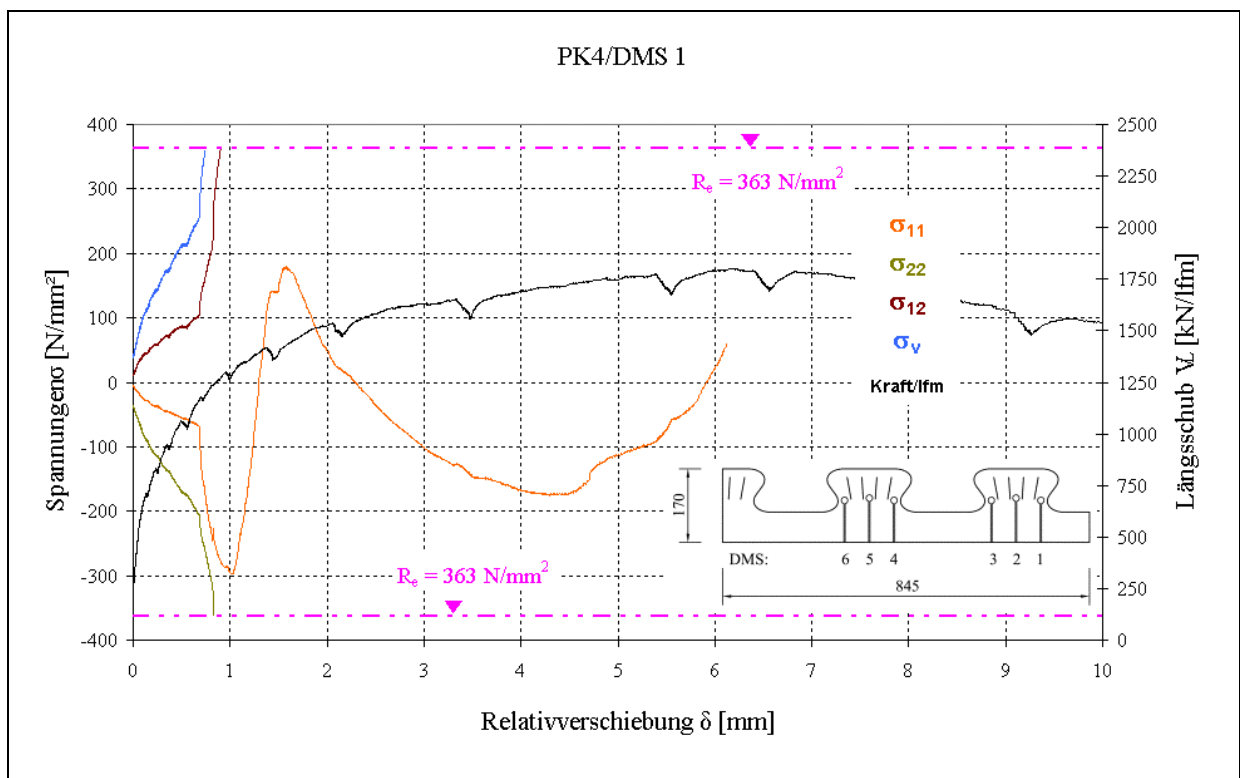


Abbildung 129: DMS 1 – Spannungen

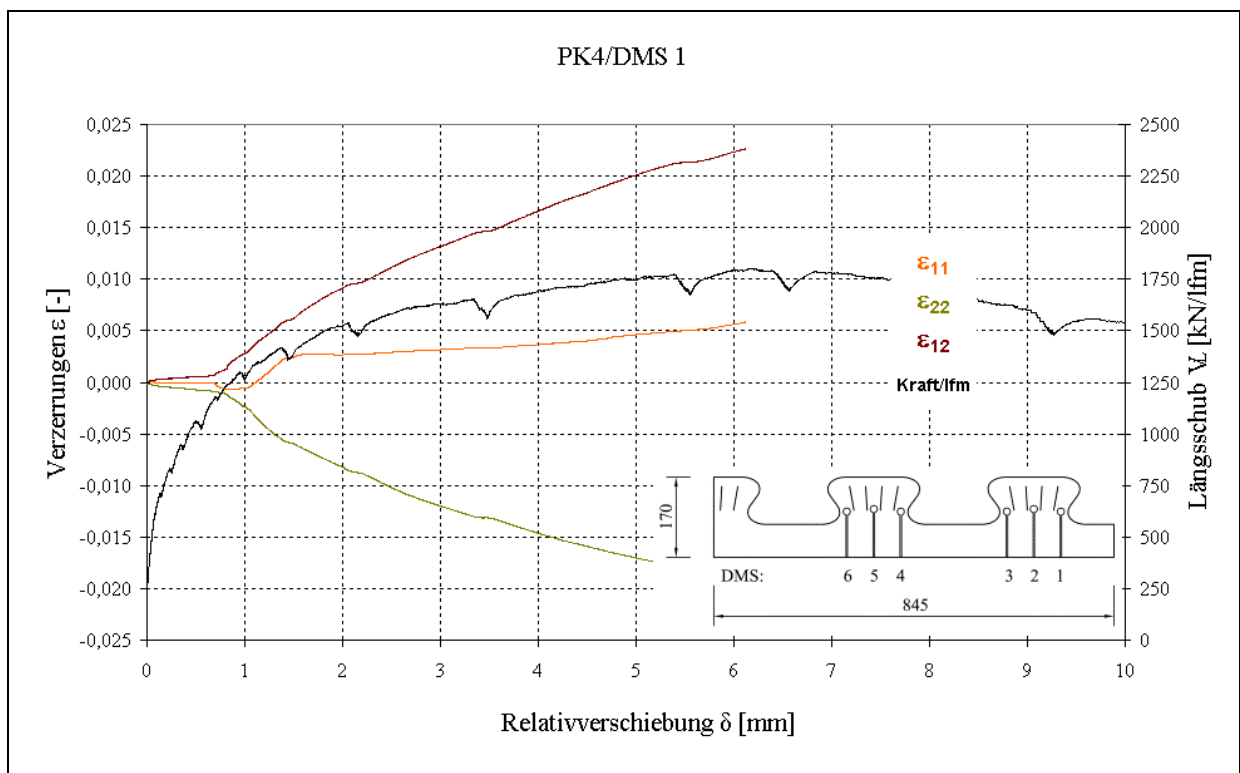


Abbildung 130: DMS 1 – Verzerrungen

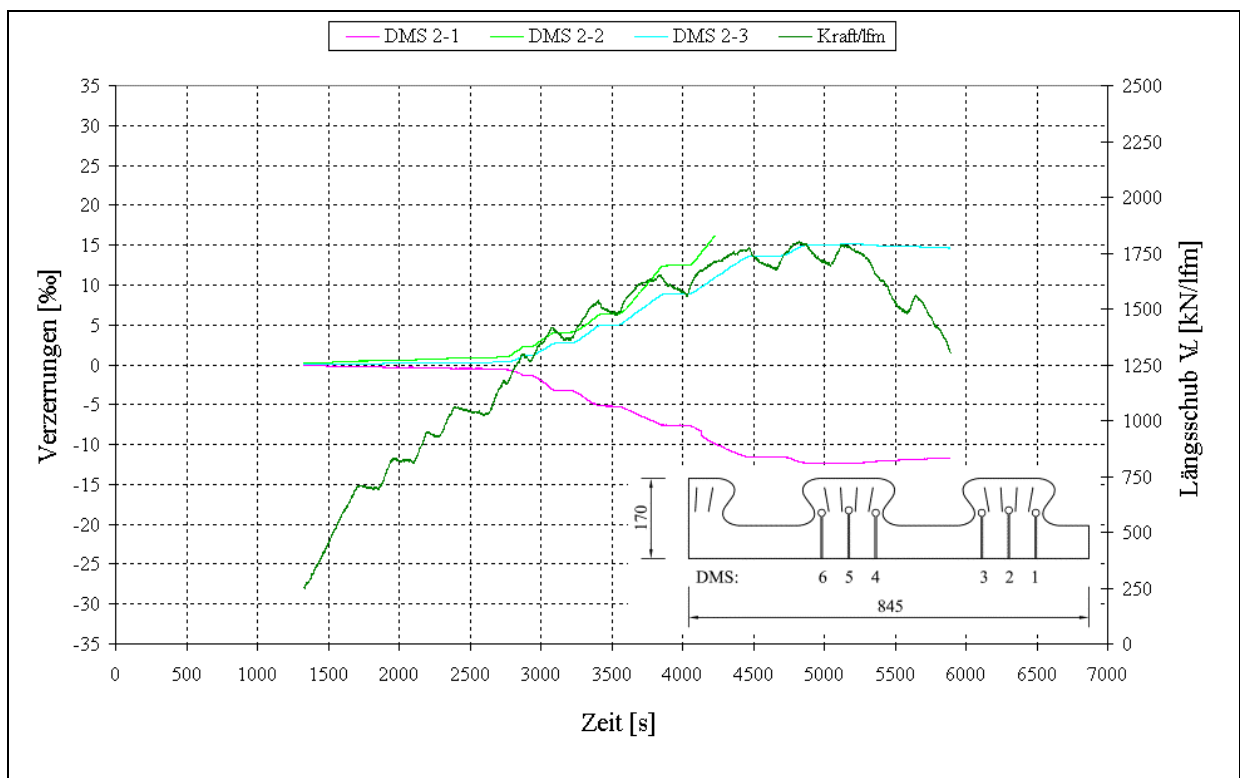


Abbildung 131: DMS 2 – Messwerte

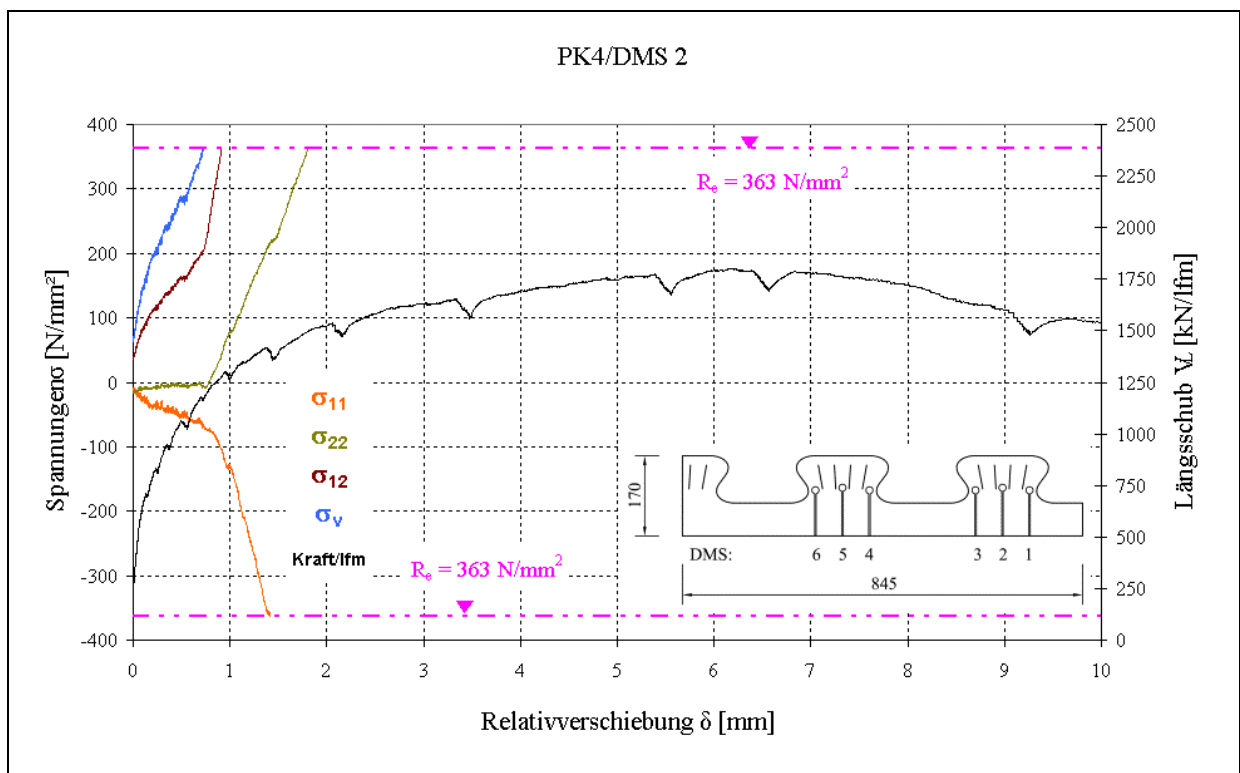


Abbildung 132: DMS 2 – Spannungen

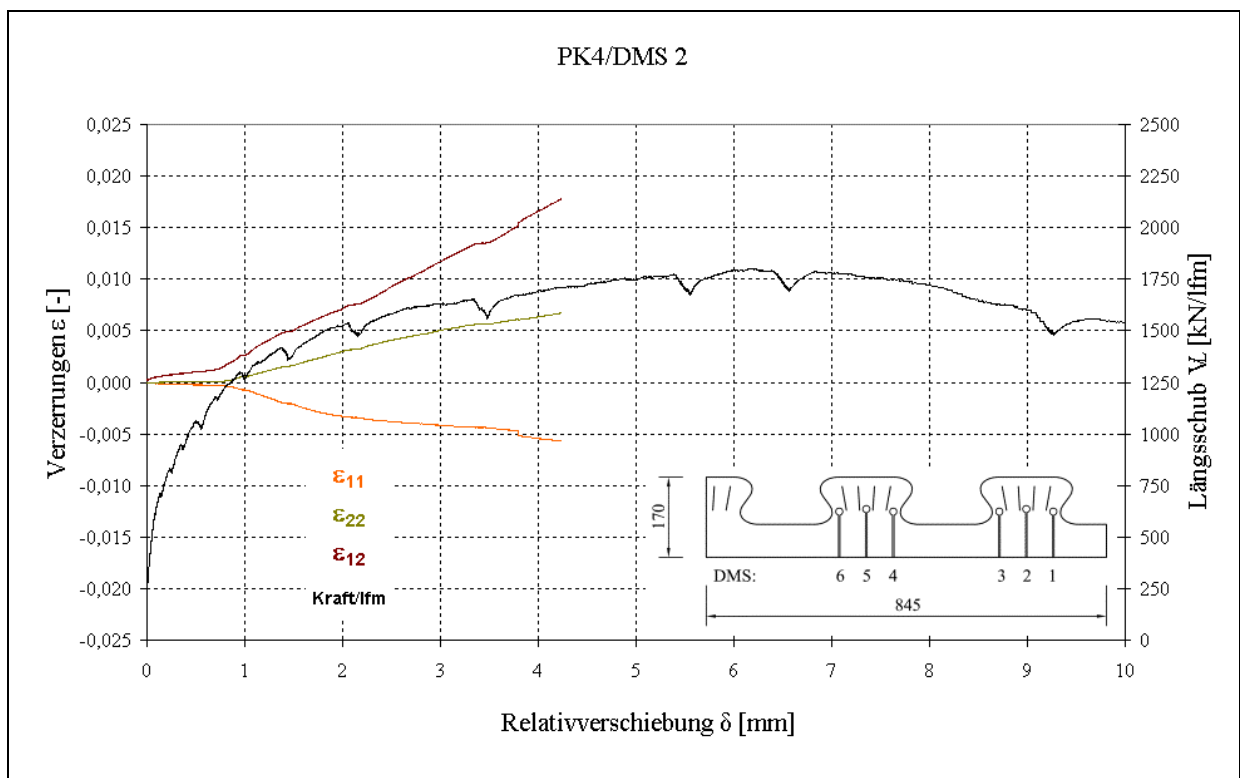


Abbildung 133: DMS 2 – Verzerrungen

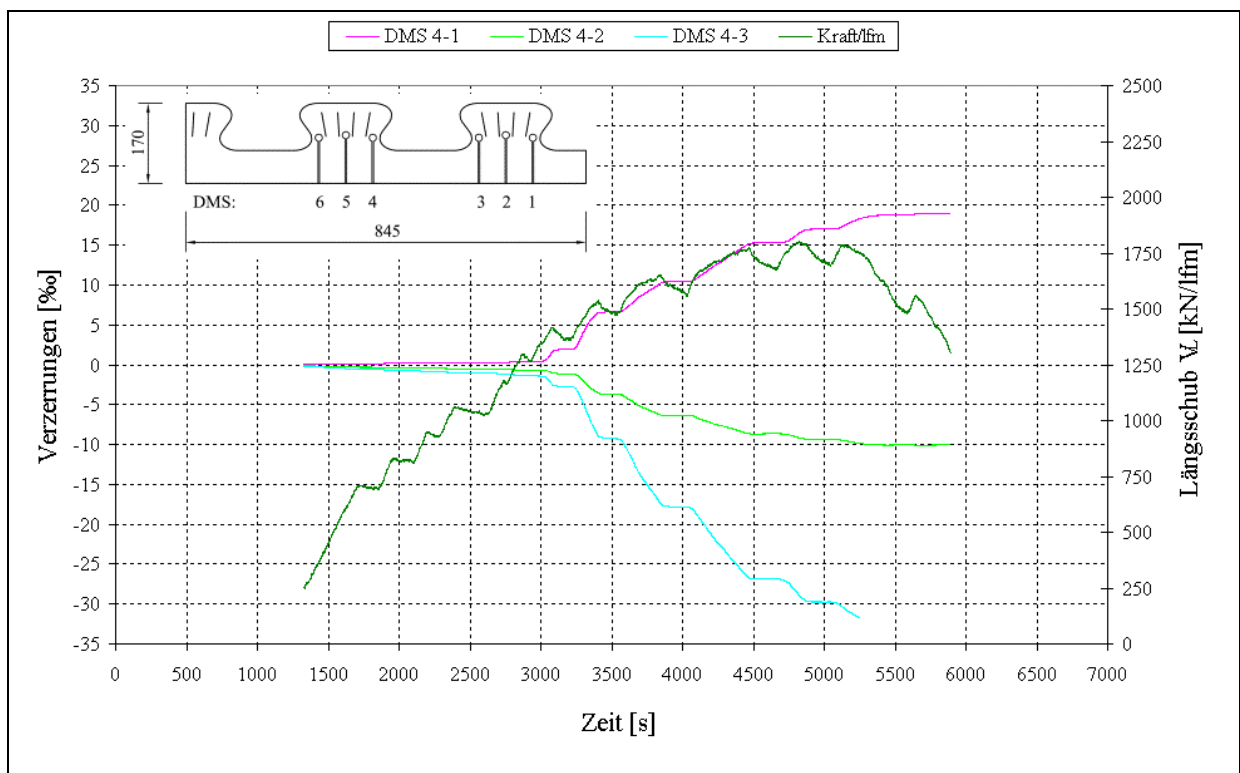


Abbildung 134: DMS 4 – Messwerte

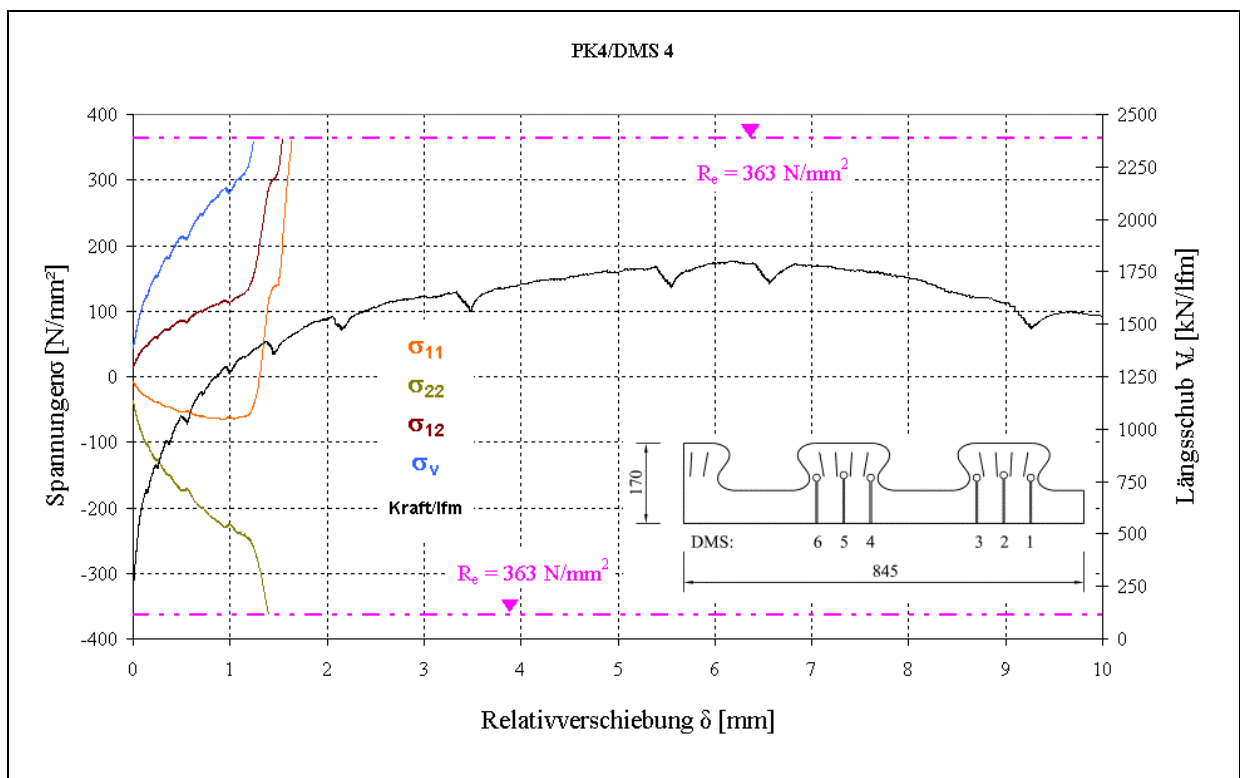


Abbildung 135: DMS 4 – Spannungen

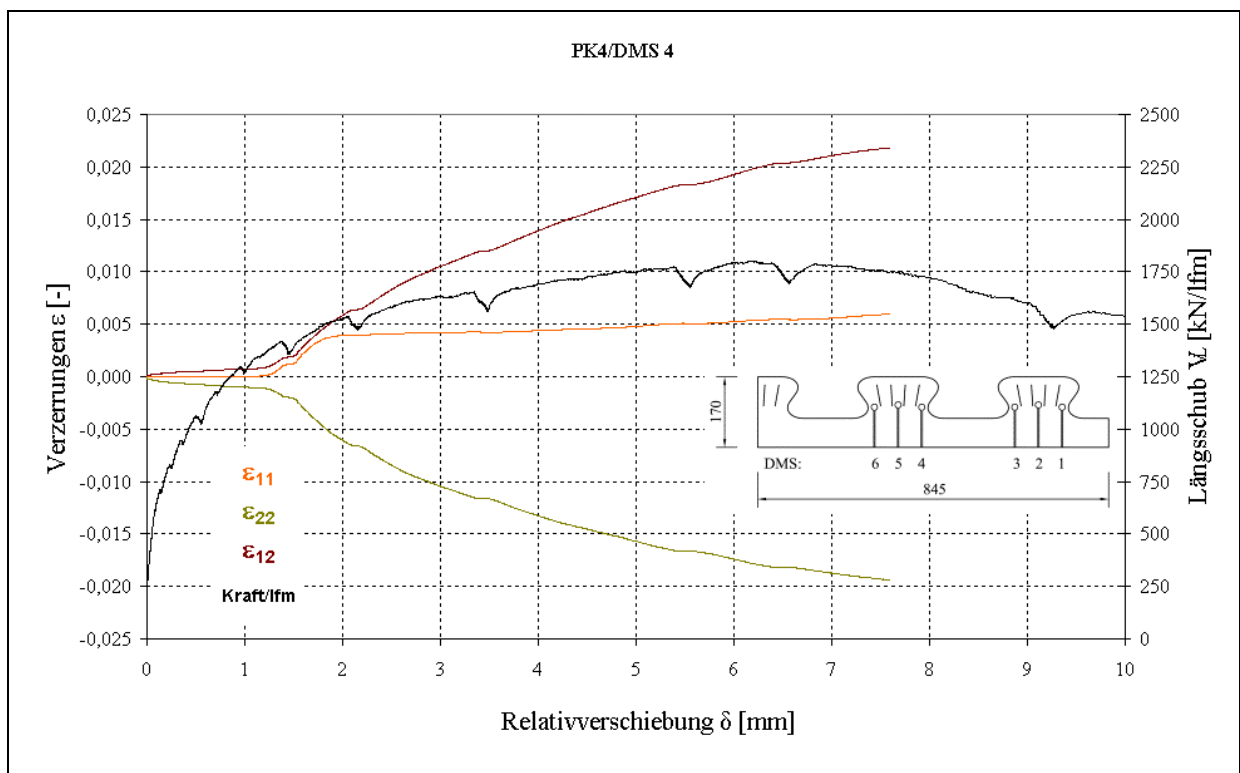


Abbildung 136: DMS 4 – Verzerrungen

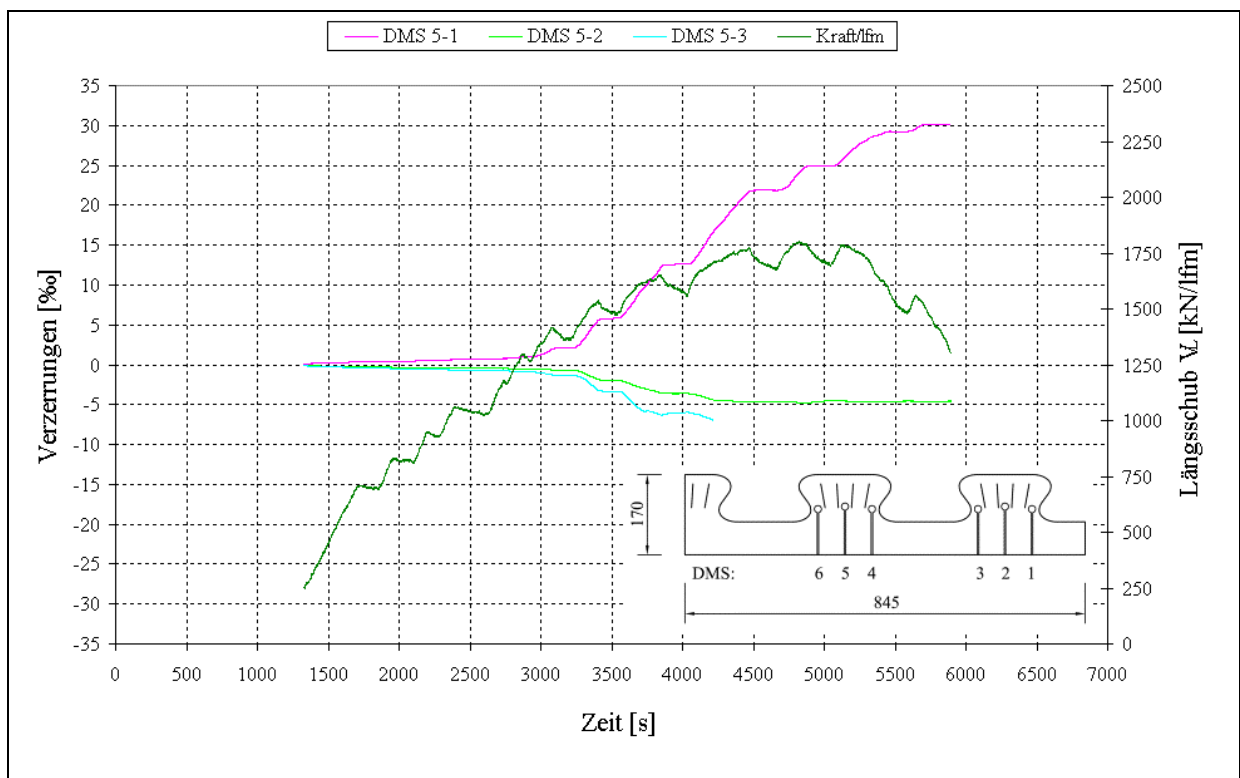


Abbildung 137: DMS 5 – Messwerte

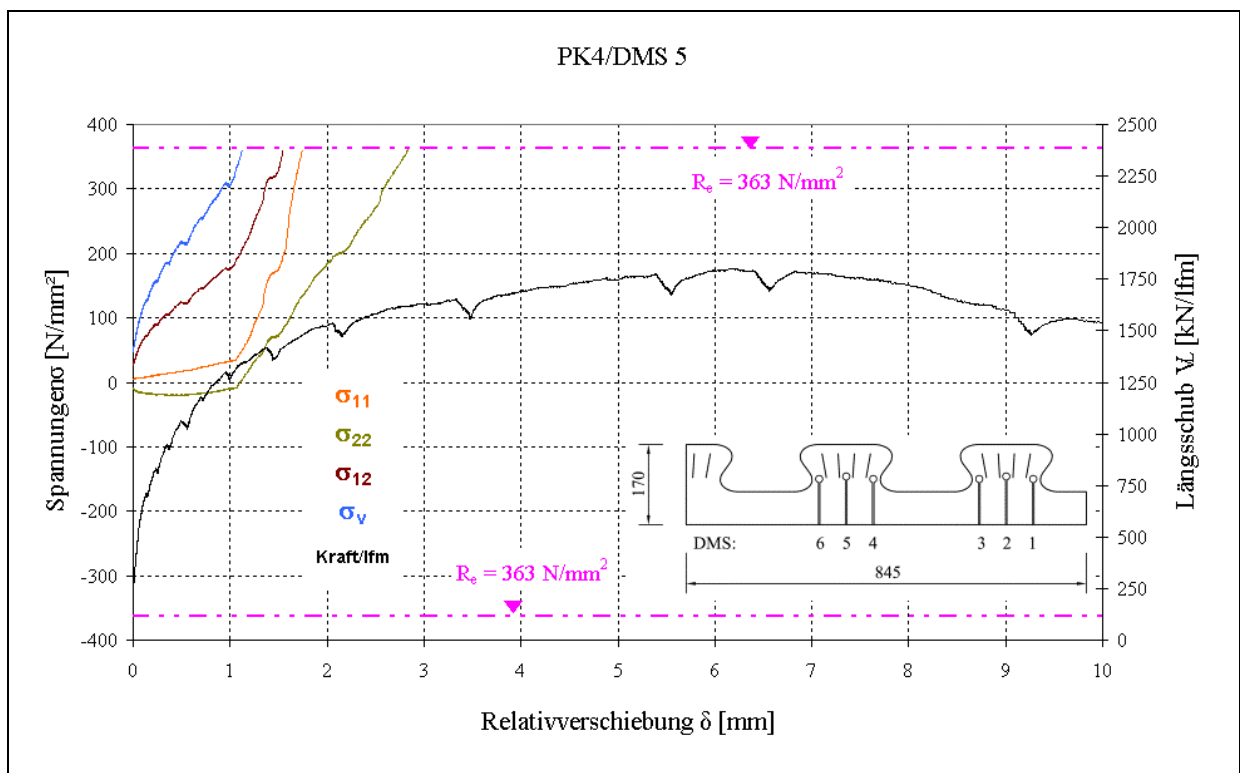


Abbildung 138: DMS 5 – Spannungen

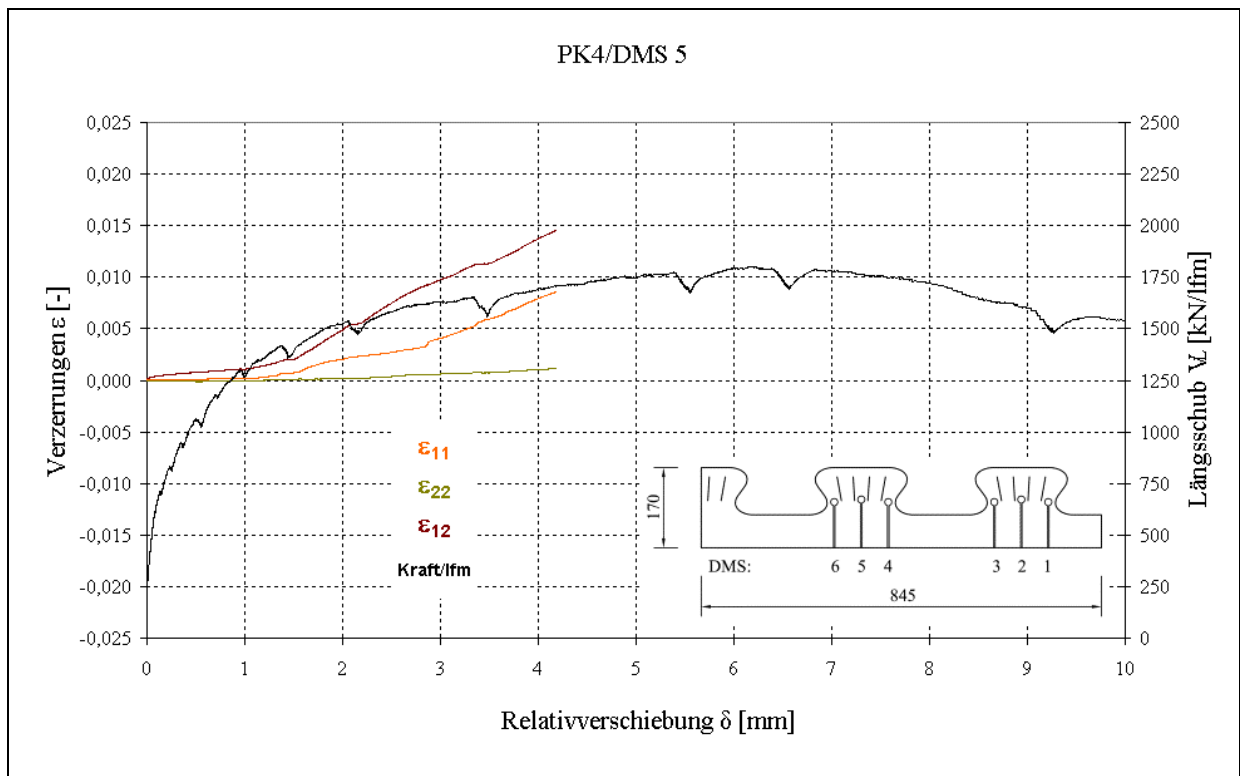


Abbildung 139: DMS 5 – Verzerrungen

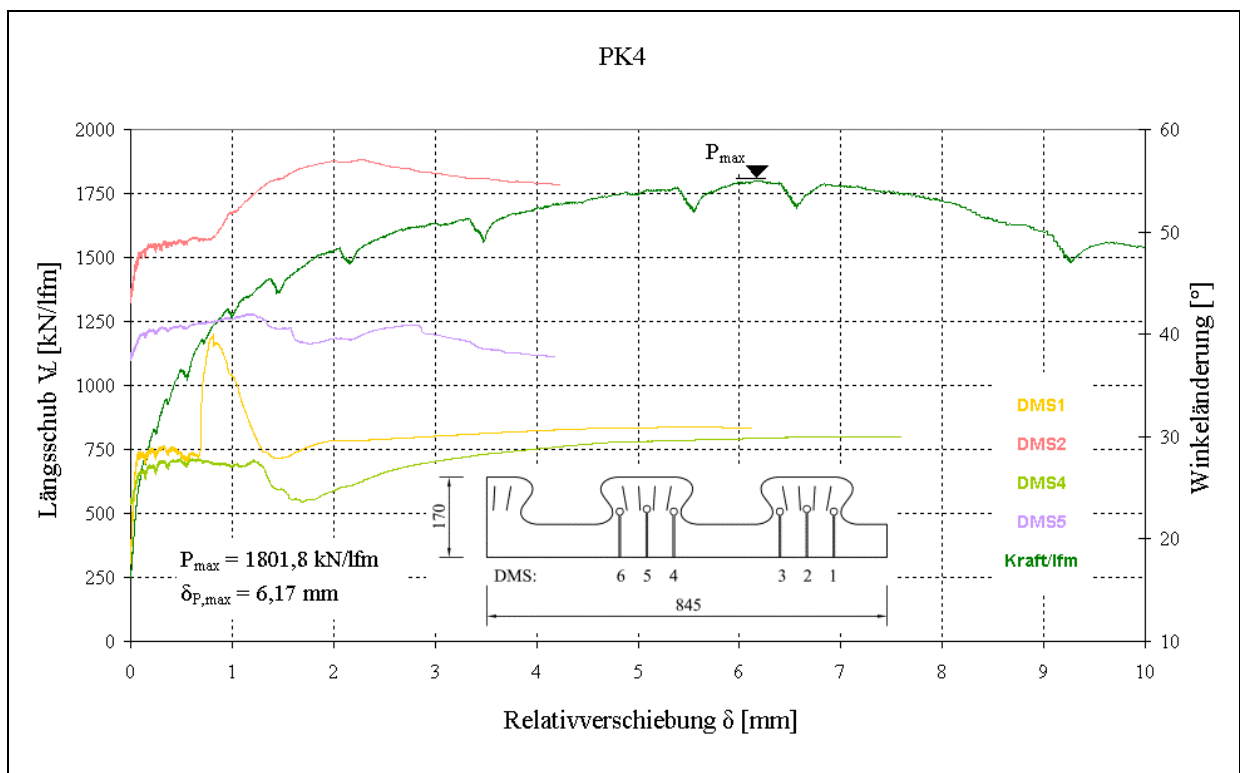


Abbildung 140: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen

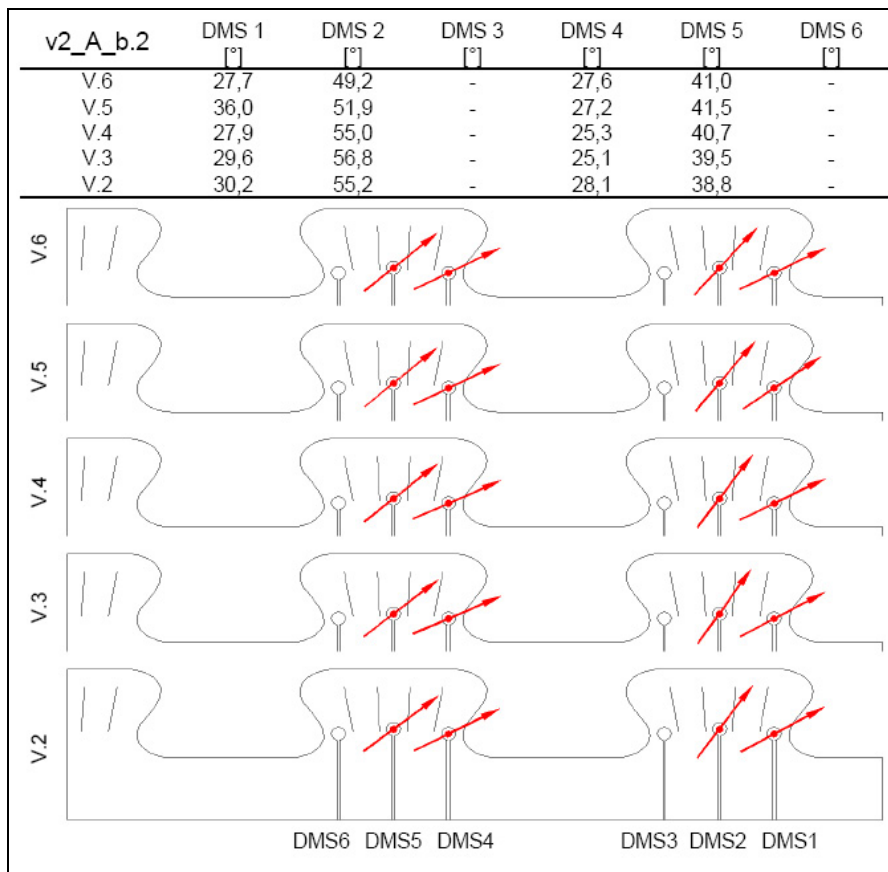
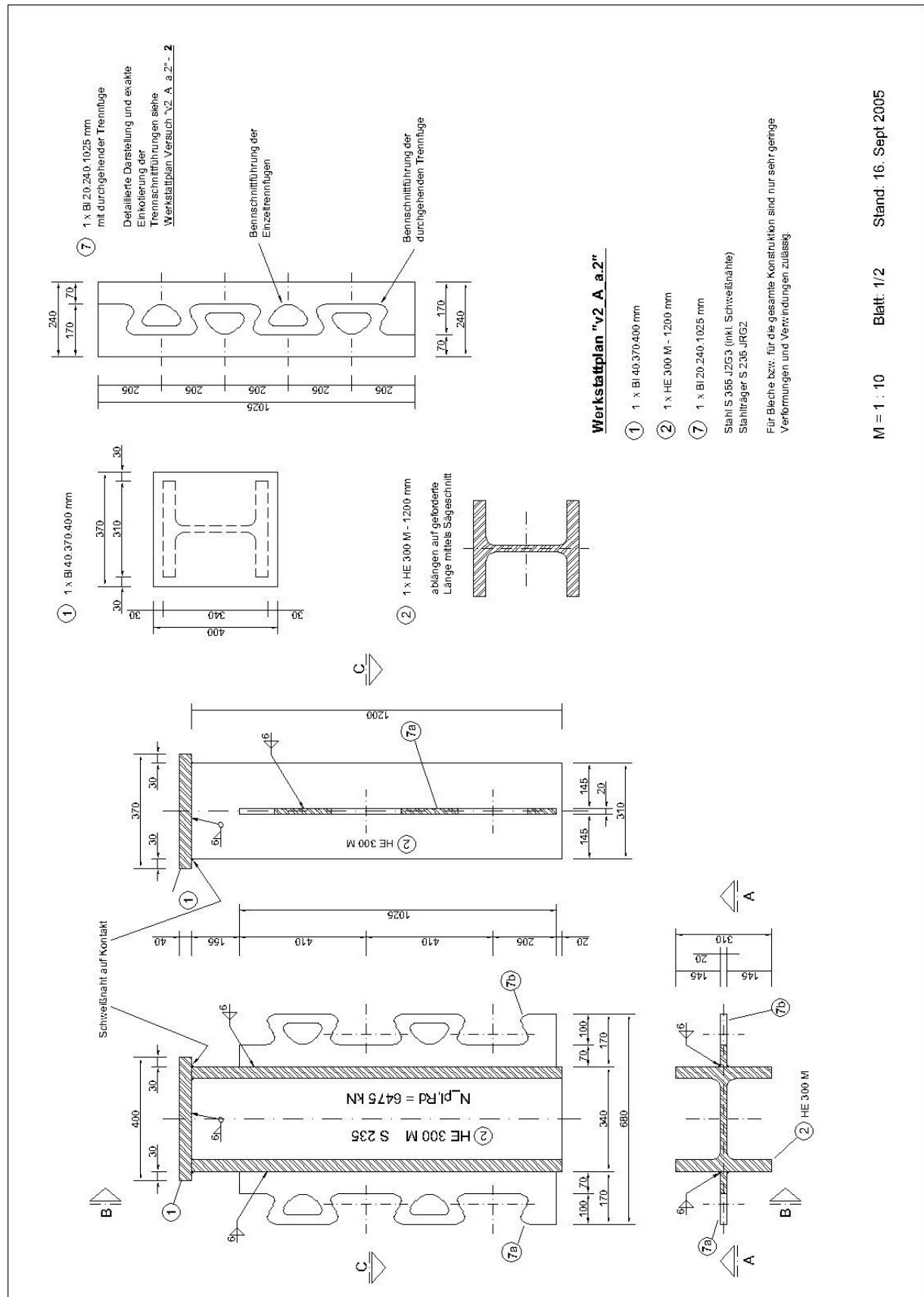
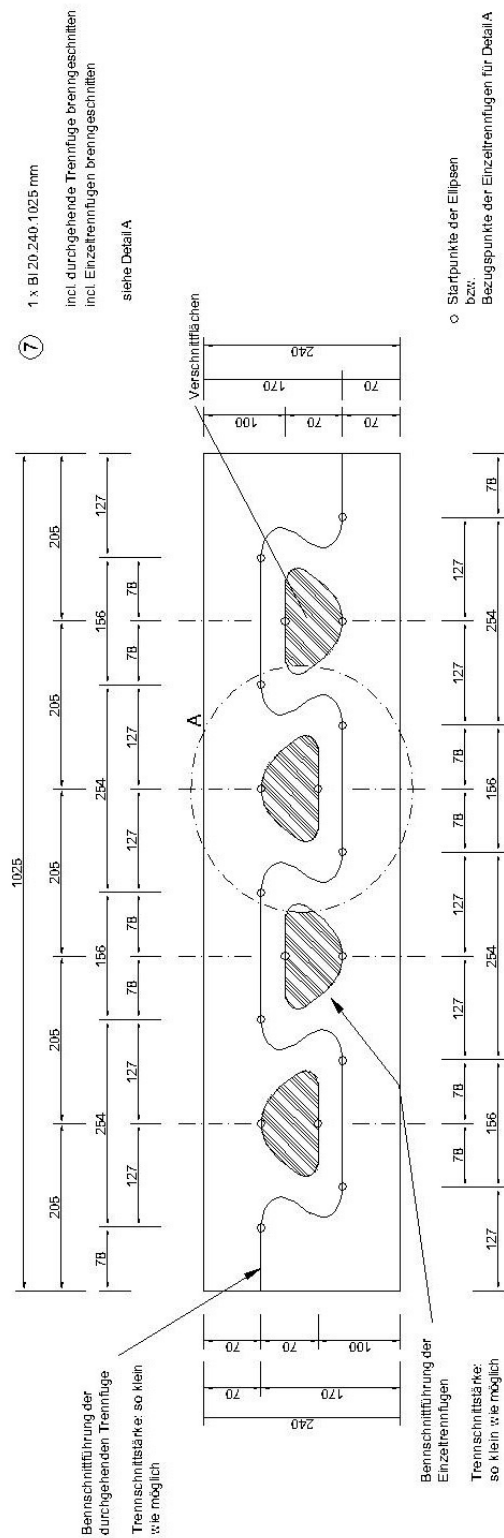


Abbildung 141: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus

5.1.4.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers



M = 1 : 10 Blatt: 1/2 Stand: 16. Sept 2005



Werkstattplan "v2 A a.2"

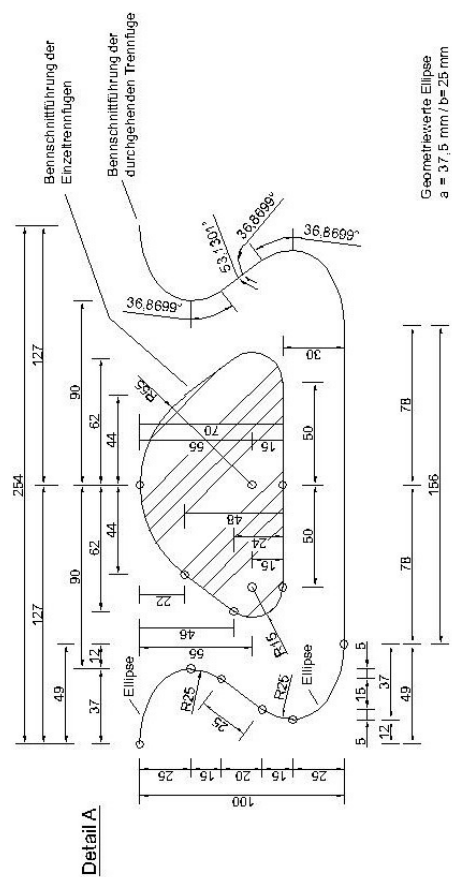
Detaildarstellung der Brennschnittführungen der durchgehenden Trennfuge und der Einzeltrennschnitte.

Trennschnittstärke der durchgehenden Trennfuge: so klein wie möglich.
Trennschnittstärke der Einzeltrennschnitte: so klein wie möglich.

- 1 x BI 40.370.400 mm

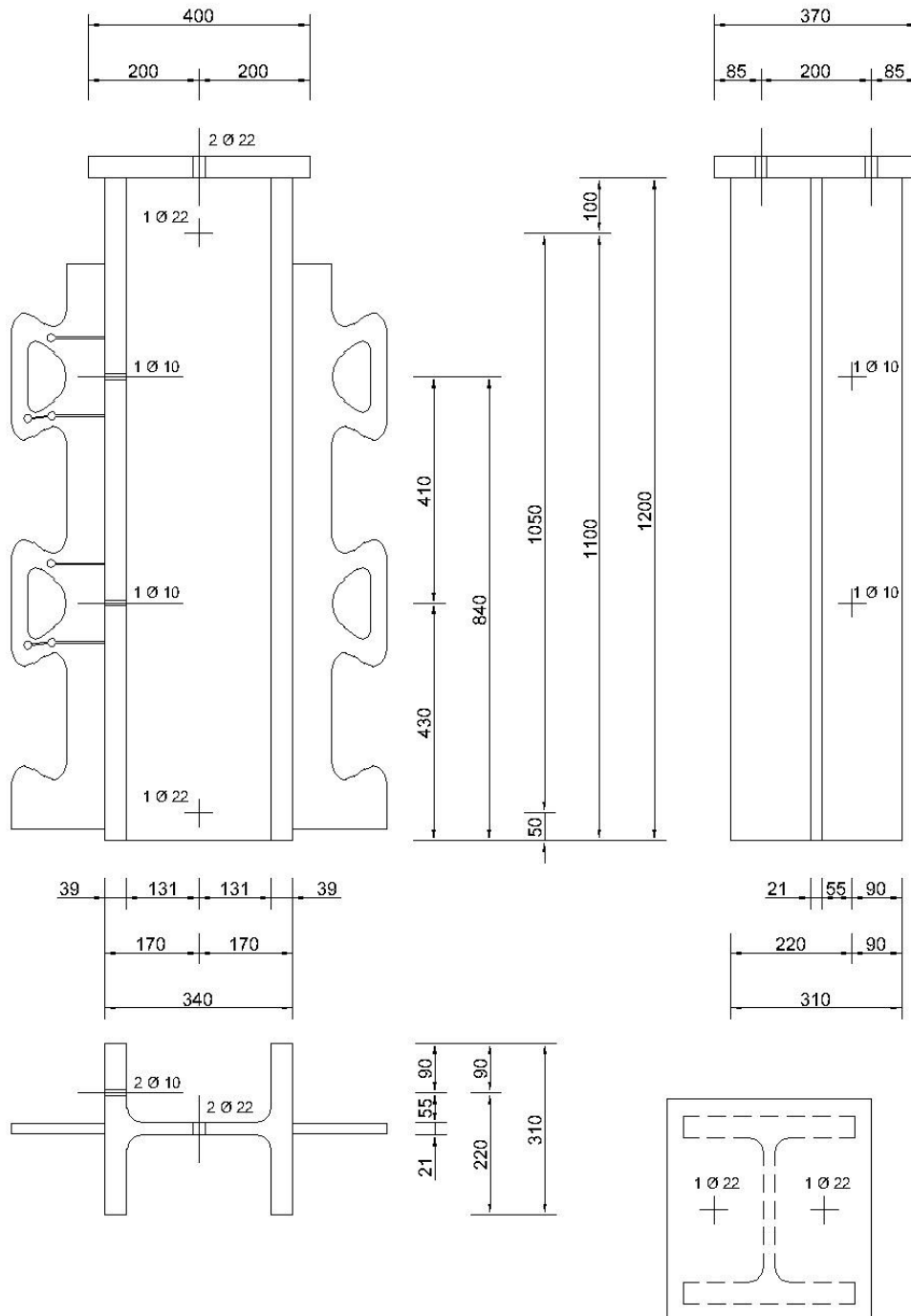
Stahl S 355 J2G3 (inkl. Schweißnähte)
Stahlträger S 235 JRG2

Für Bleche bzw. für die gesamte Konstruktion sind nur sehr geringe Verformungen und Verwindungen zulässig.



M = 1 : 5 / M = 1 : 2 Blatt: 2/2 Stand: 16. Sept 2005

Bearbeitung Stahlbauteil "v2 A a.2"



M = 1 : 10

Blatt: 1/1

Stand: 1. Juni 2006

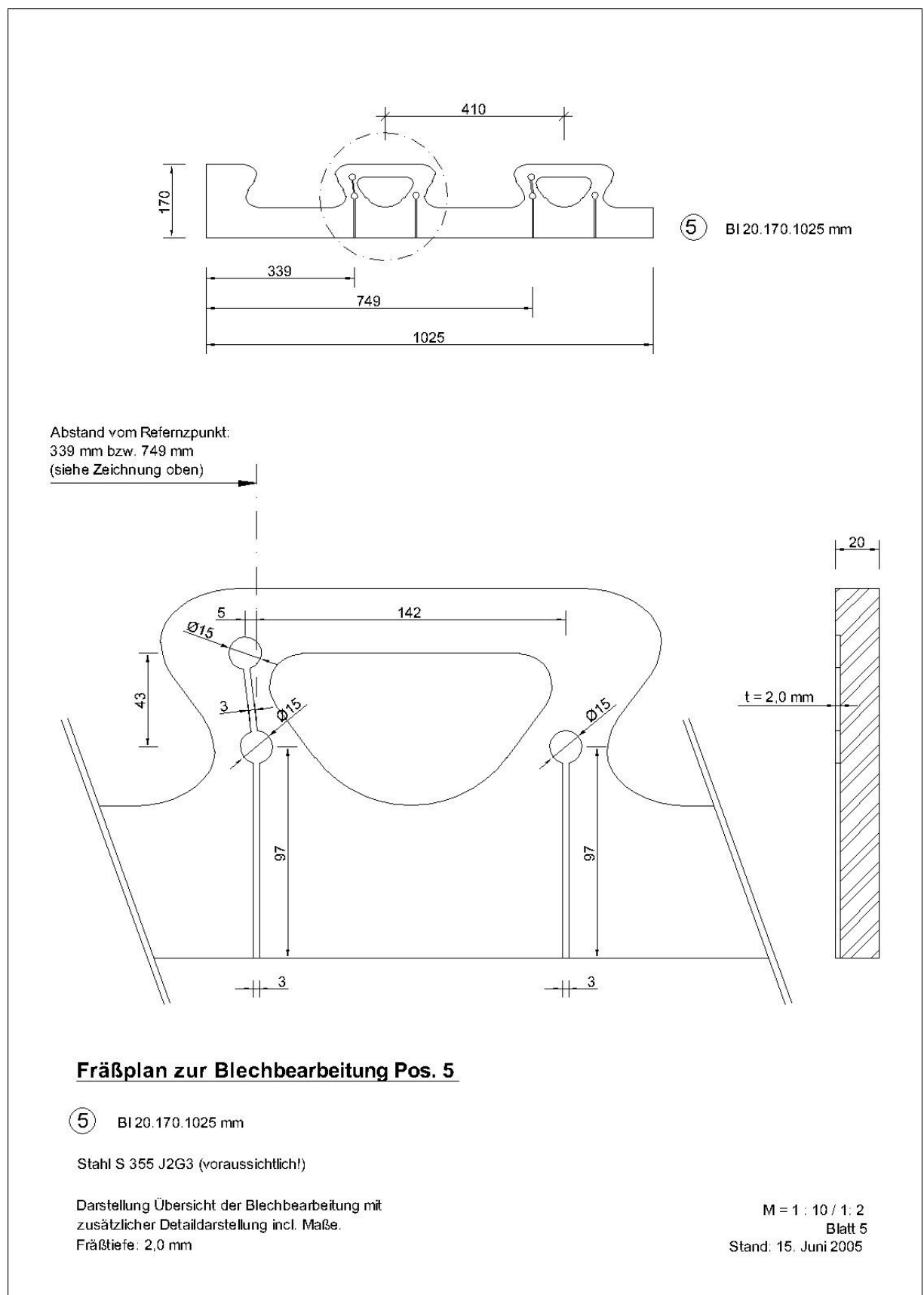
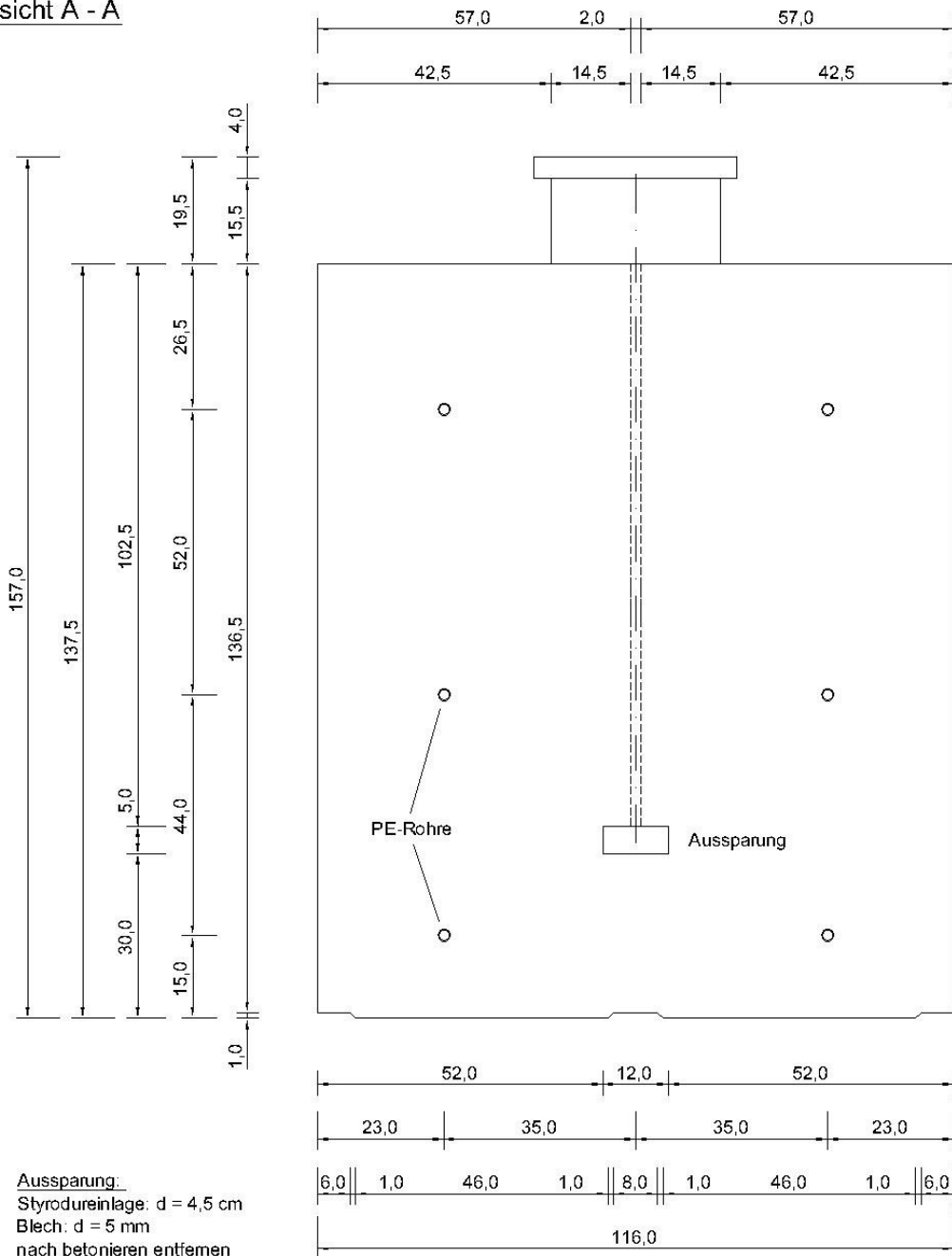


Abbildung 142: Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_b.2

Schalungsplan "v2 A a.2"

Ansicht A - A



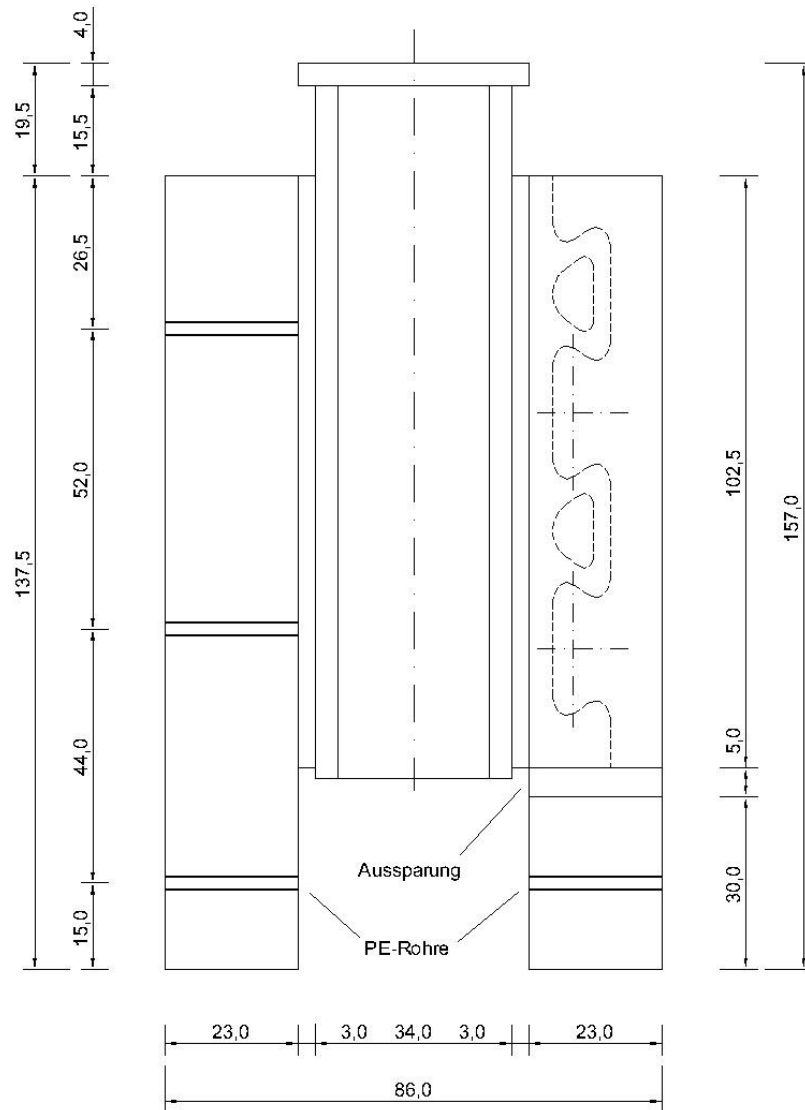
M = 1 : 10

Blatt: 1/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2 A a.2"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Aussparung:
Styrodureinlage: d = 4,5 cm
Blech: d = 5 mm
nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
mit einbetoniert,
zur Führung der Zugstangen

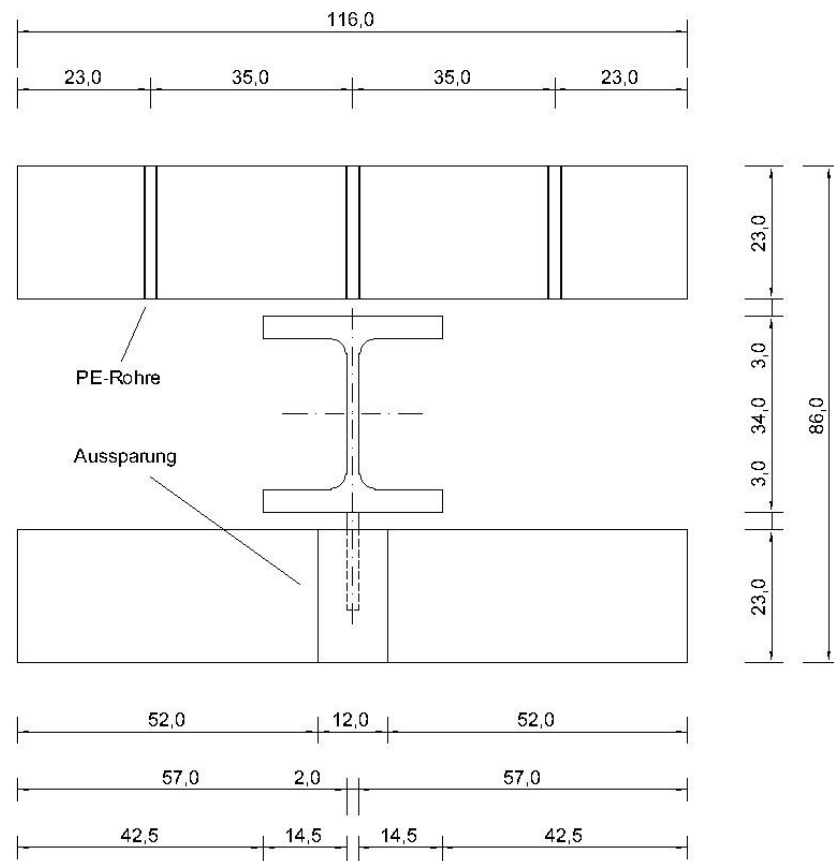
M = 1 : 10

Blatt: 2/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2_A a.2"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

M = 1 : 10

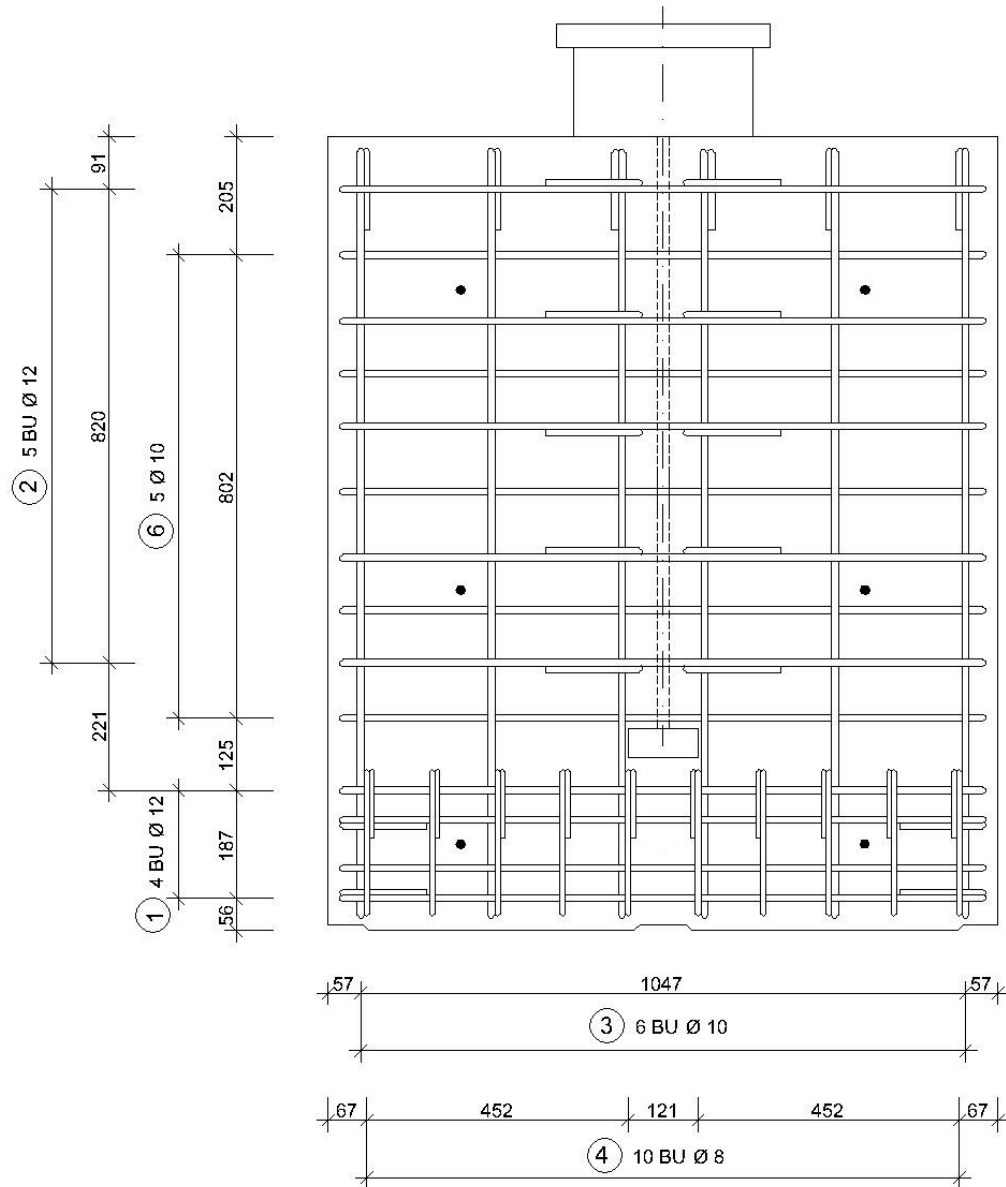
Blatt: 3/3

Stand: 1. Juni 2006

Abbildung 143: Schalpläne v2_A_b.2

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Ansicht A - A



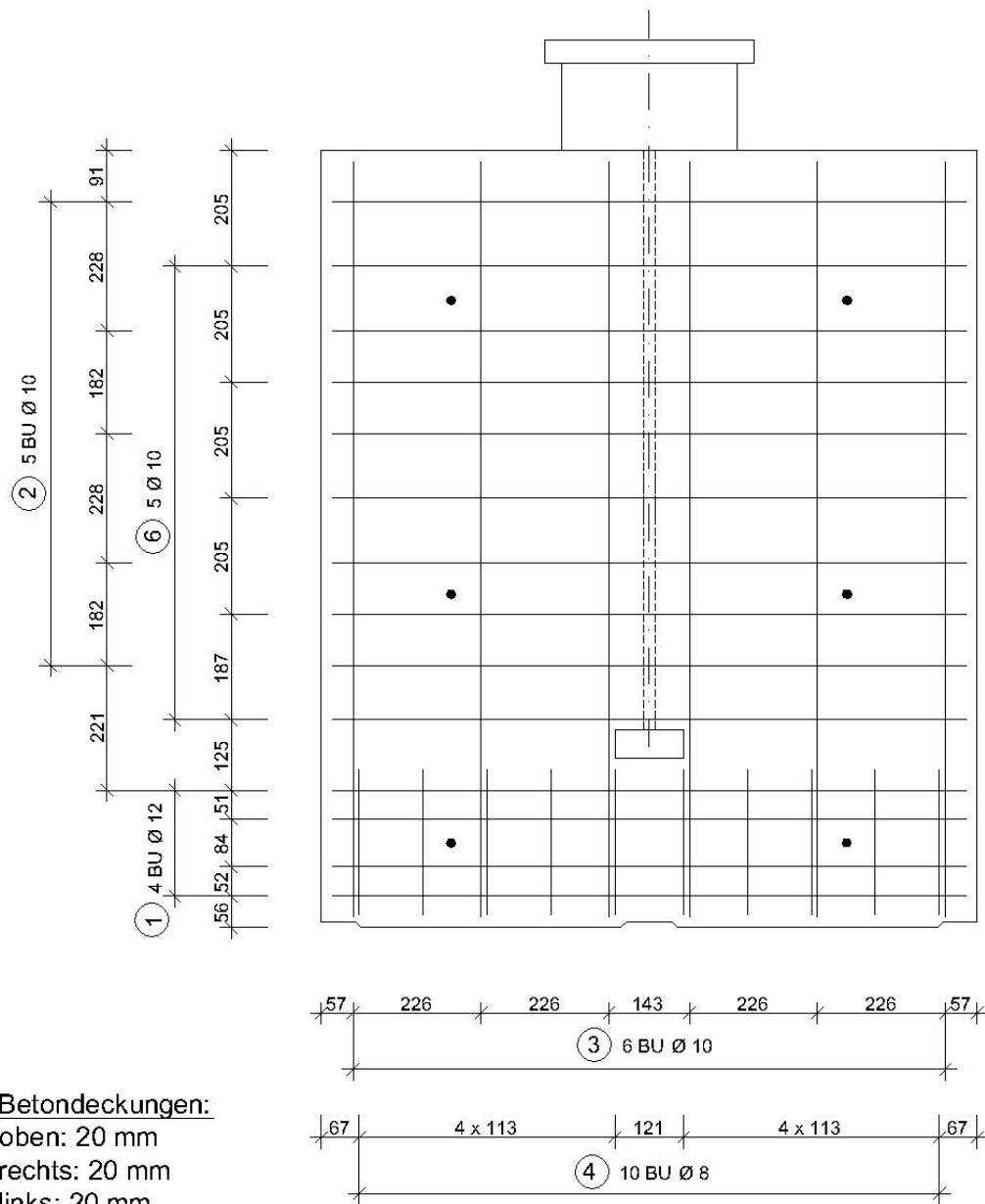
M = 1 : 10

Blatt: 1/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Ansicht A - A



Betondeckungen:

oben: 20 mm
rechts: 20 mm
links: 20 mm
unten: 20 mm

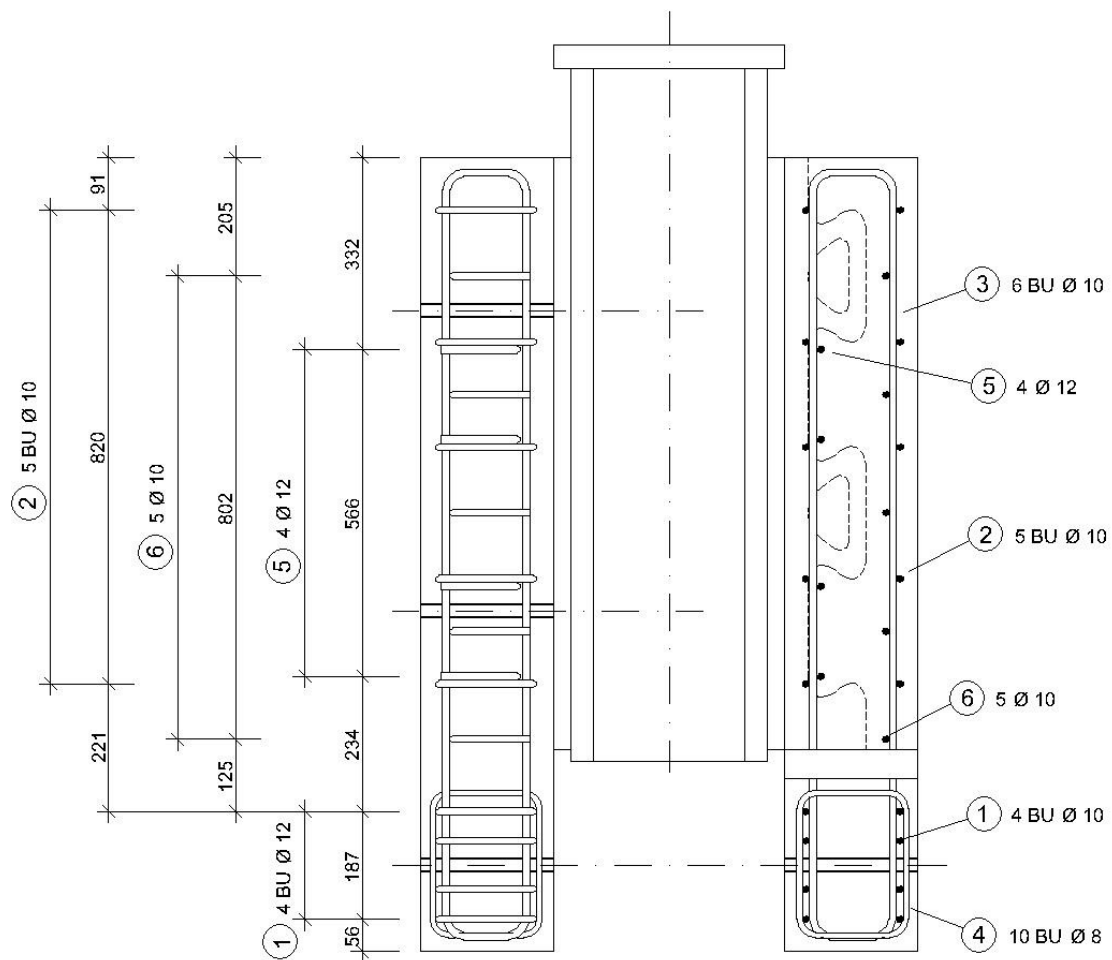
M = 1 : 10

Blatt: 2/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



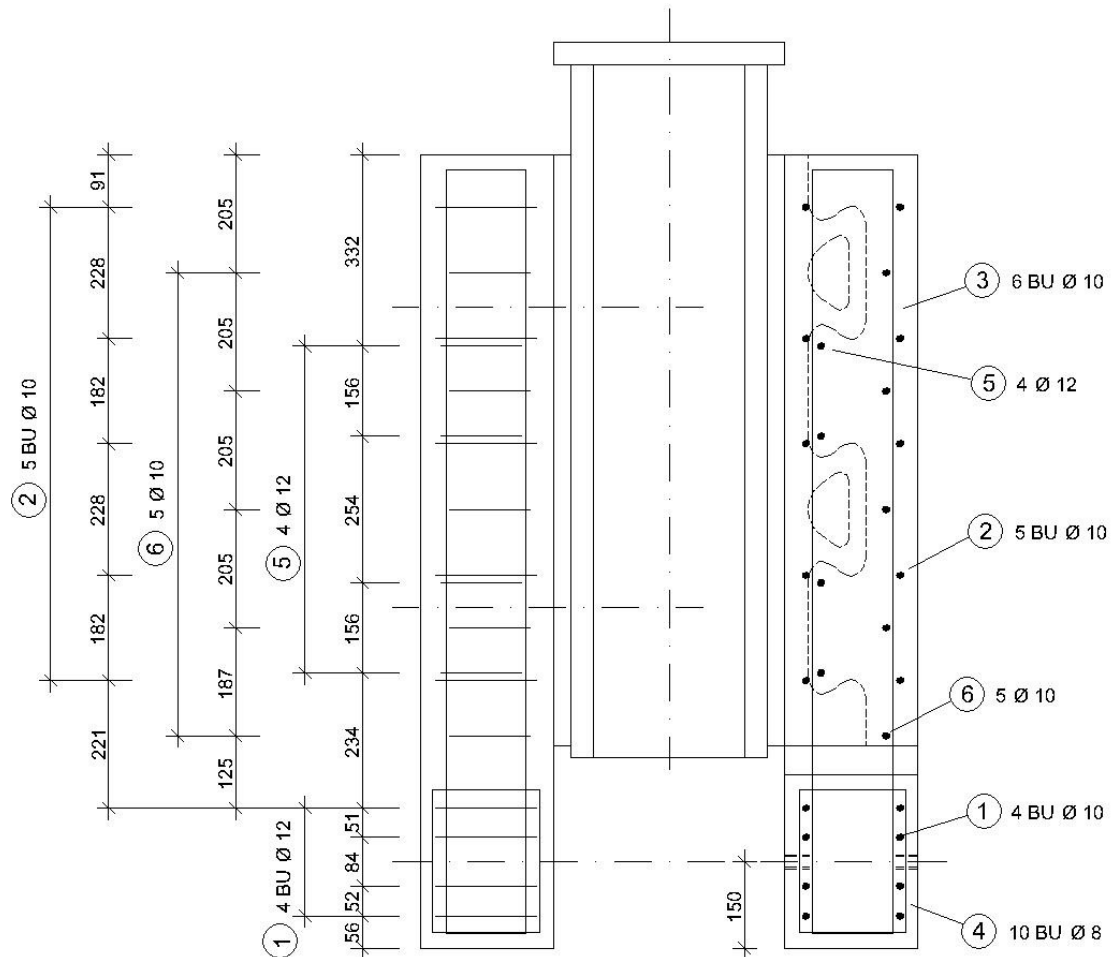
M = 1 : 10

Blatt: 3/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Betondeckungen:
oben innen: 30 mm
oben außen: 25 mm

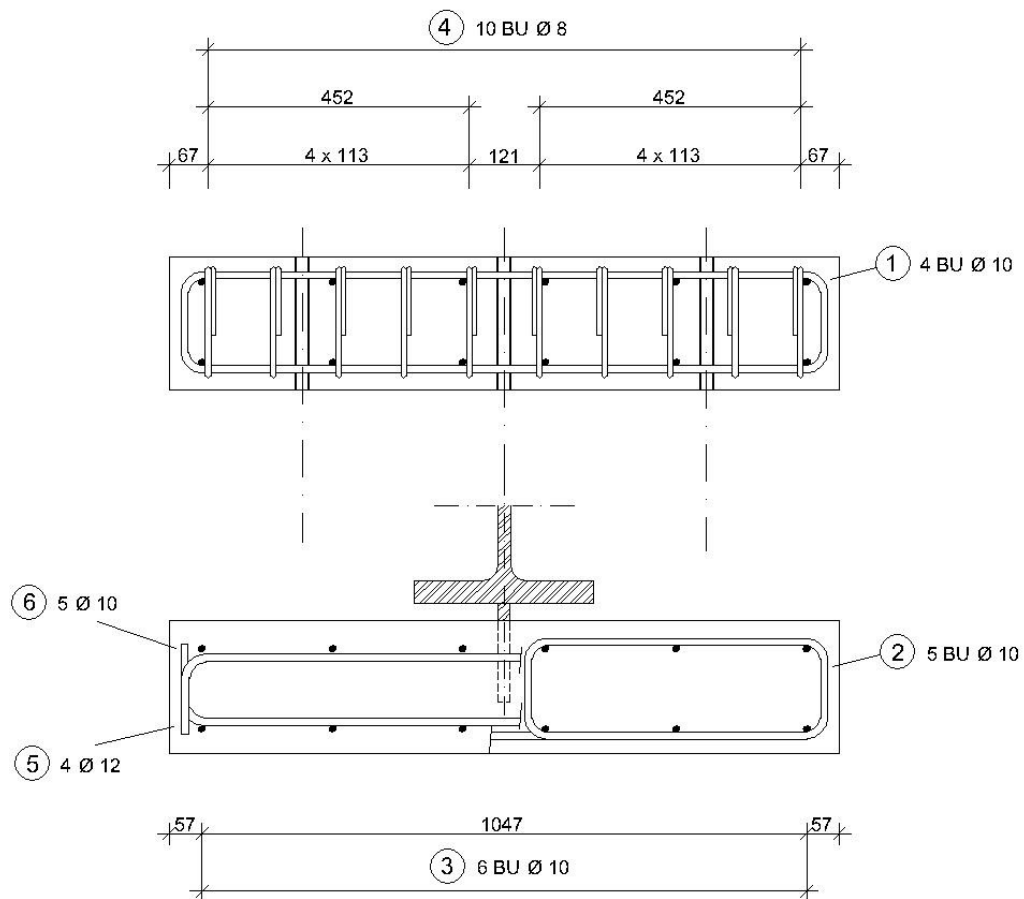
M = 1 : 10

Blatt: 4/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



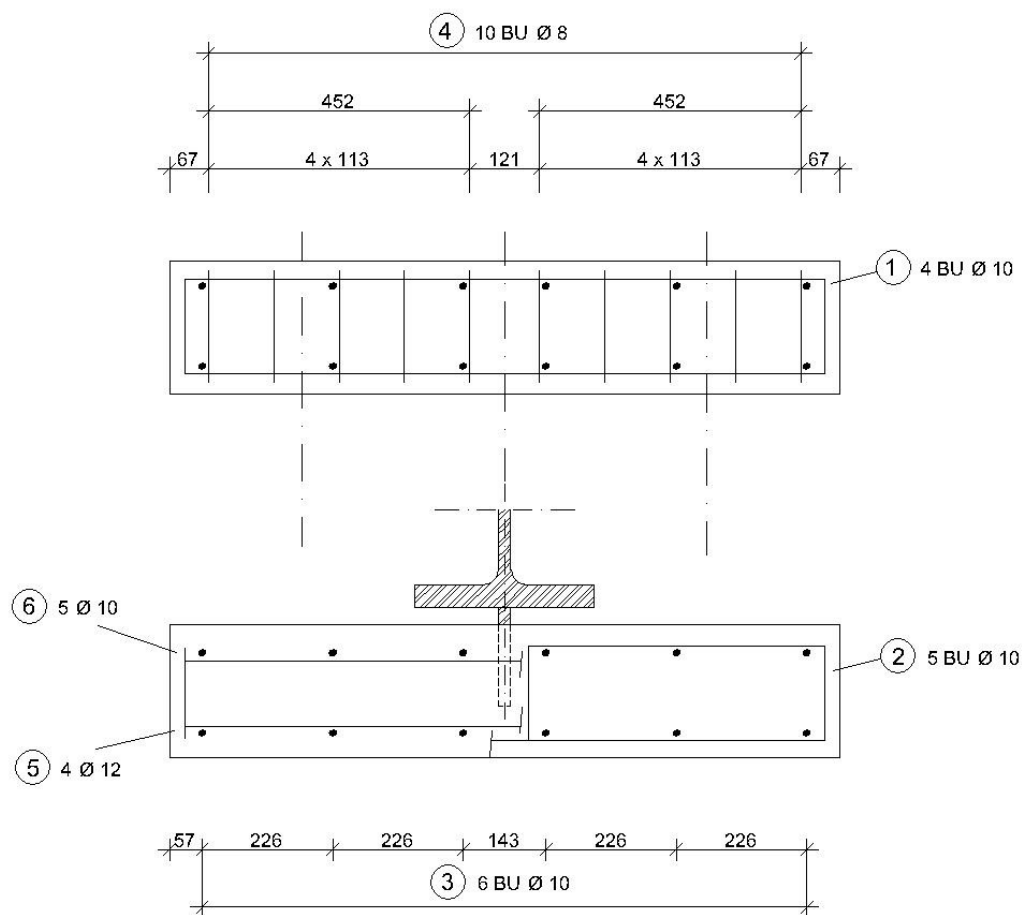
M = 1 : 10

Blatt: 5/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2 A a.2"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



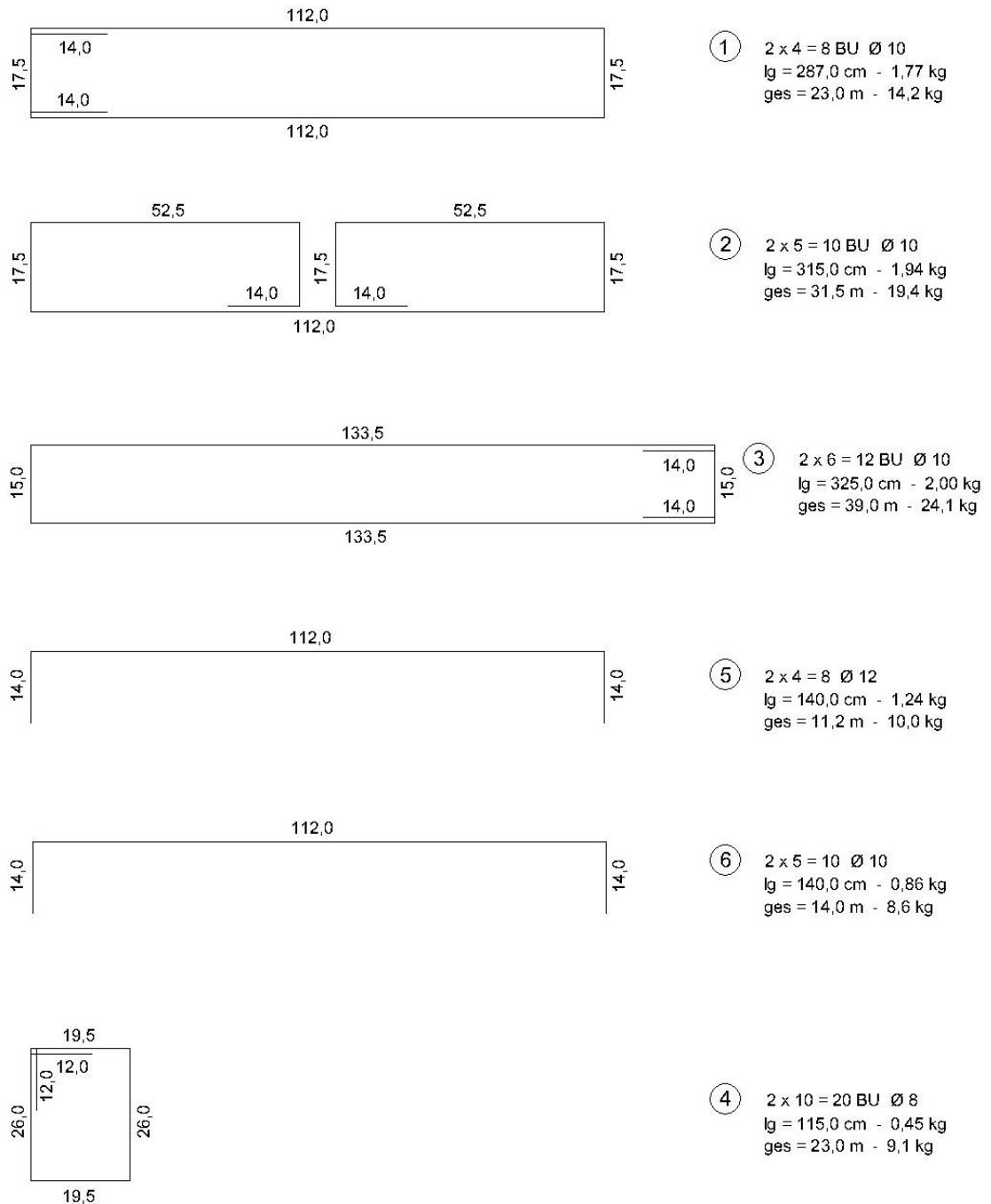
M = 1 : 10

Blatt: 6/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_A a.2"

bemaßte Biegeformen



M = 1 : 10

Blatt: 7/7

Stand: 13. März 2006

Abbildung 144: Bewehrungspläne v2_A_b.2

5.1.5. Versuchsdatenblatt v2_A_c.1 (PK3)

5.1.5.1. Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation

Nach dem Ausschalen wurden Kiesnester am lastfernen Ende der Betonplatten erkennbar. Dies ist auf eine ungenügende Verdichtungsarbeit während des Betoniervorgangs zurückzuführen. Trotzdem wurde eine planparallele Ausrichtung der späteren Kontaktflächen zur Druckplatte des großen Prüfrahmens und zur lastnahen Kopfplatte des Stahlträgers erreicht.

Der Einheben und der Einbau in den großen Prüfrahmen führten zu keinerlei Beeinträchtigungen des Push-Out-Versuchskörpers zum Beispiel durch Anschläge. Die Druckplatten des großen Prüfrahmens konnten so ausgerichtet werden, dass beide satt am Push-Out-Versuchskörper anlagen.

5.1.5.2. Beschreibung des Versuchsablaufs

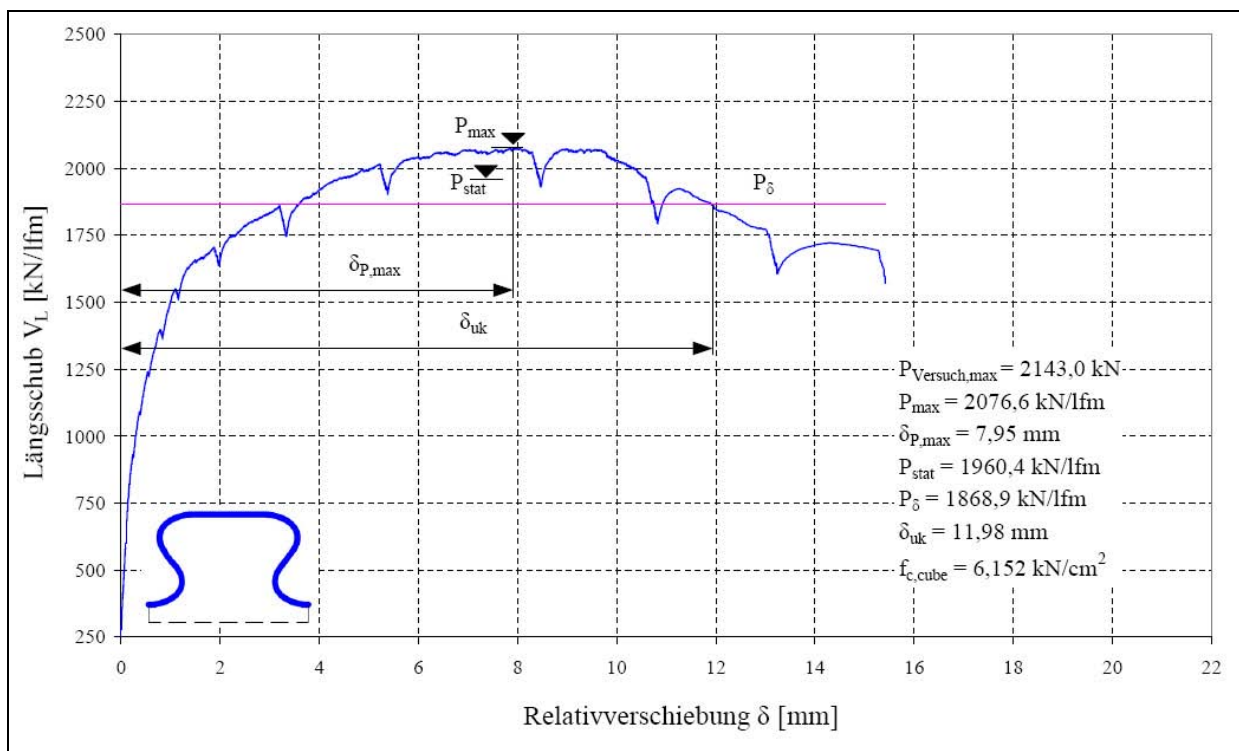


Abbildung 145: Dübelkennlinie v2_A_c.1

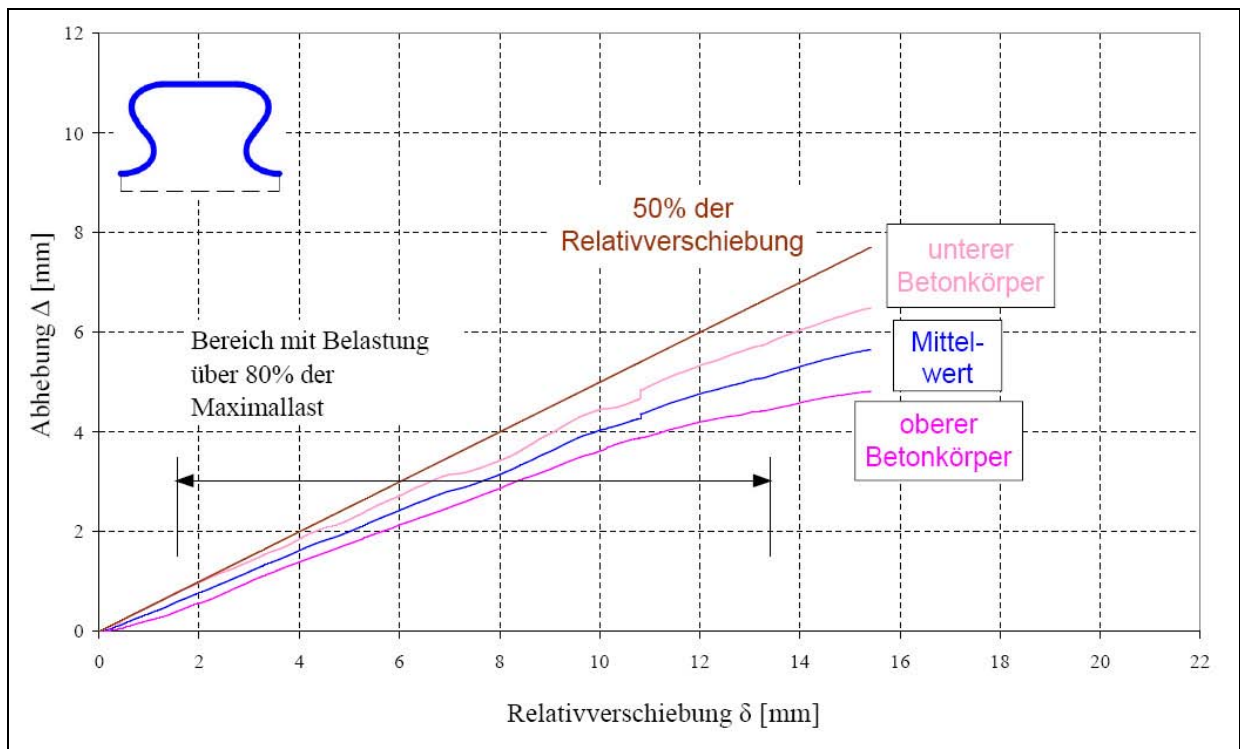


Abbildung 146: Abhebekennlinie v2_A_c.1

5.1.5.3. Beschreibung des Betonkörpers

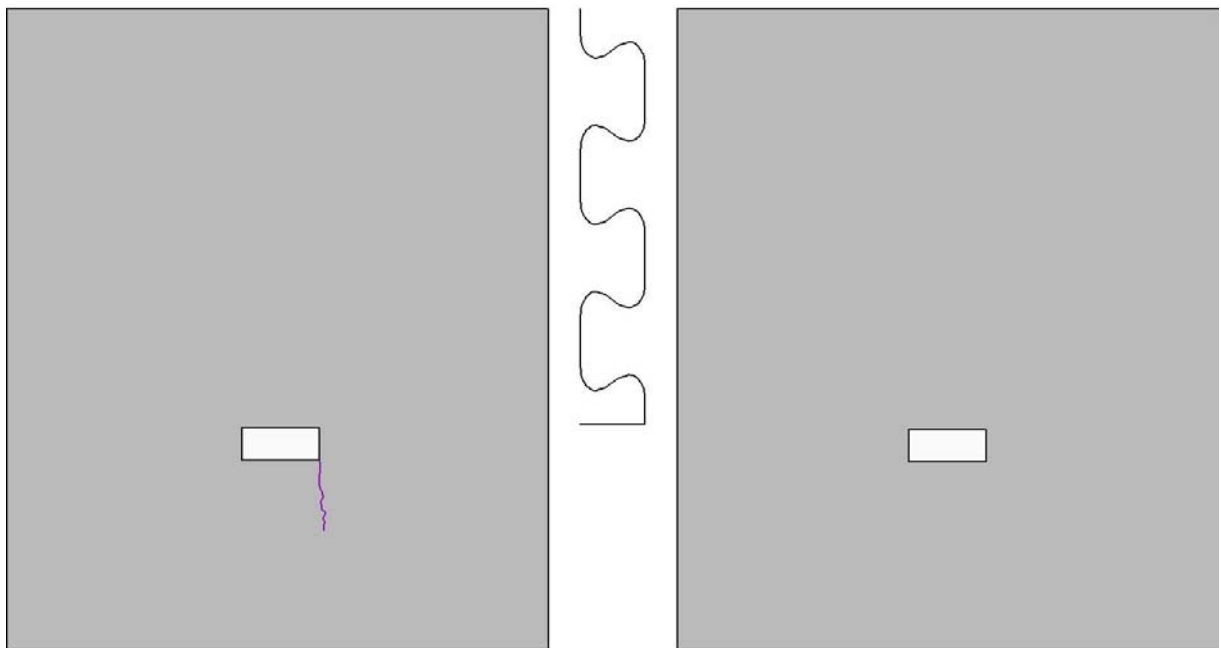


Abbildung 147: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_c.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

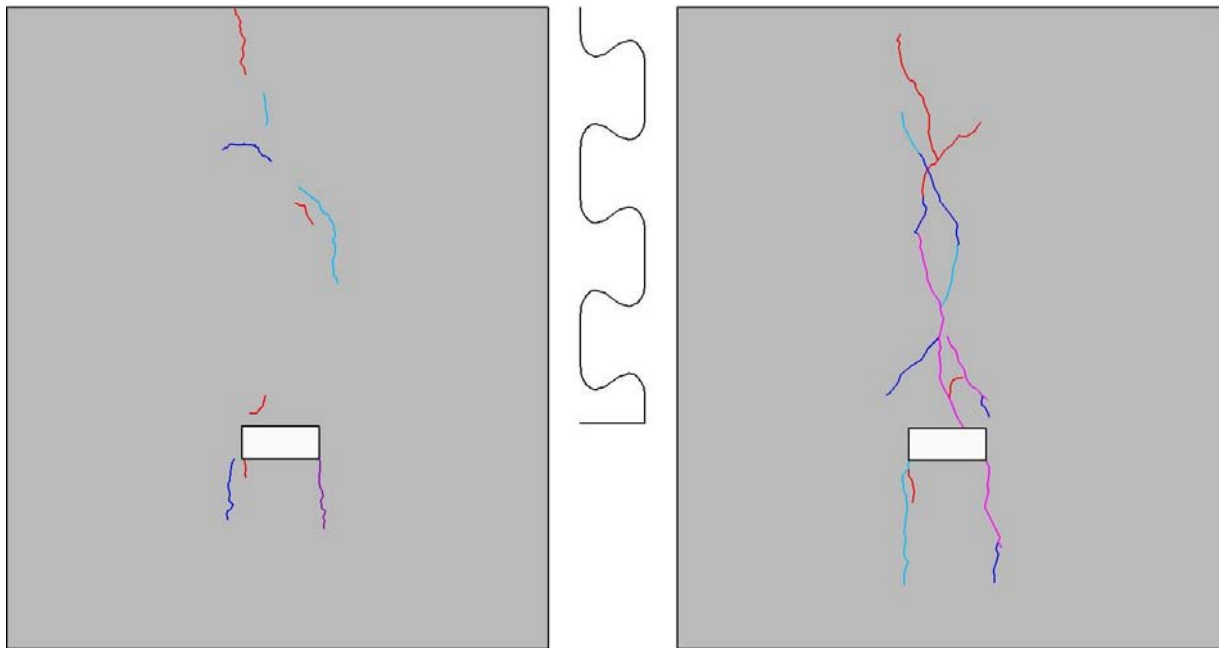


Abbildung 148: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_c.1 bei Erreichen von P_{max} . Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

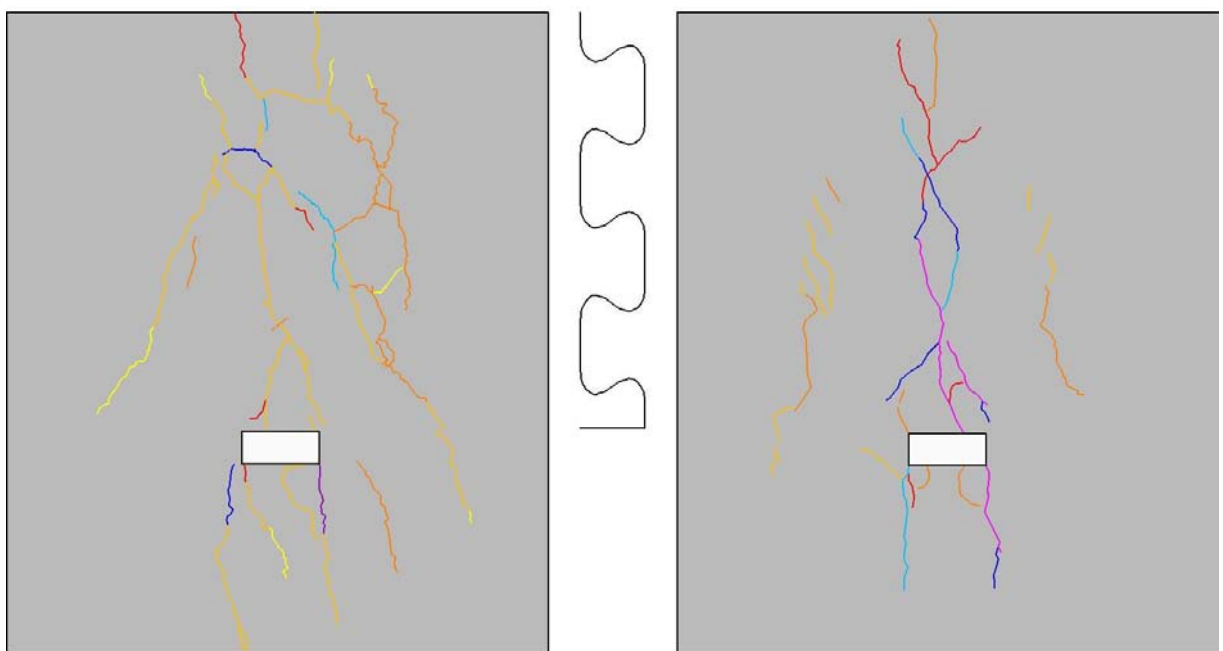


Abbildung 149: Rissbilder der Betonplatten von v2_A_c.1 bei Versuche. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

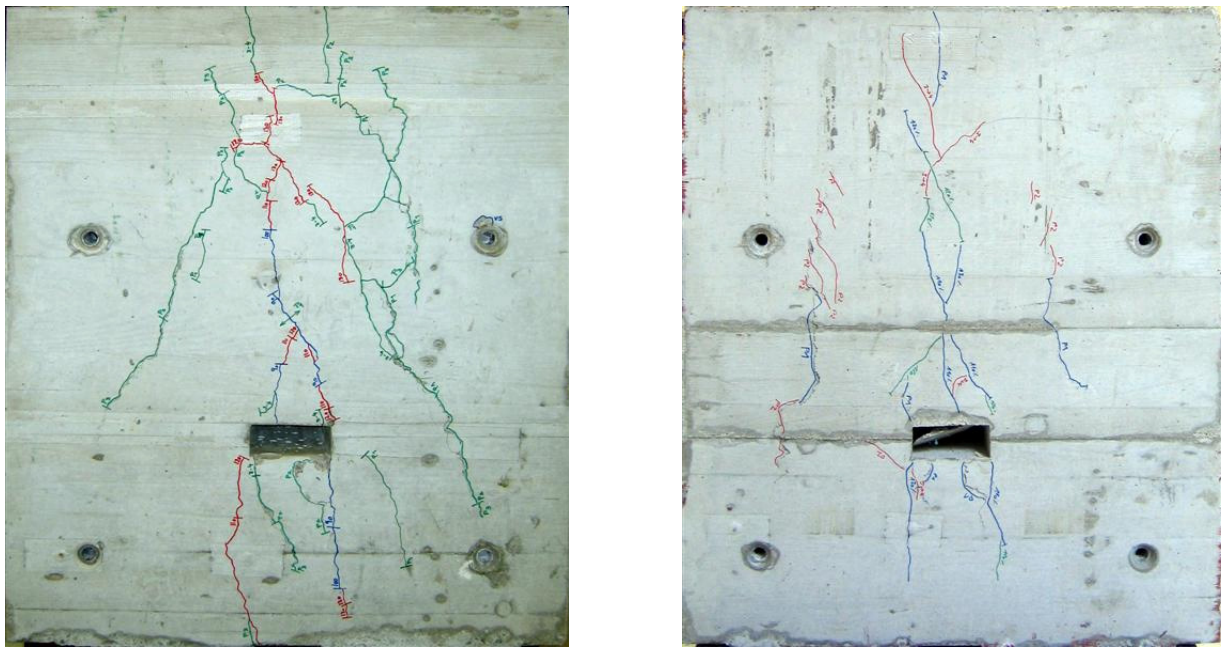


Abbildung 150: Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_c.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.

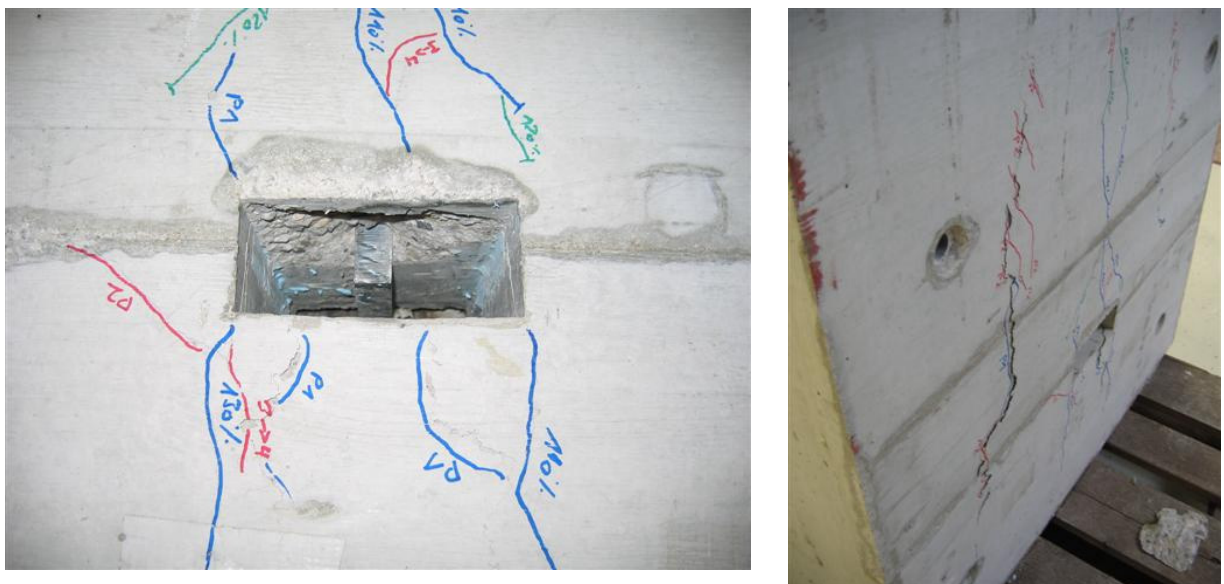


Abbildung 151: ausgeschobenenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)

5.1.5.4. Beschreibung des Dübelblechs

Der Ausbau der Dübelbleche wurde bei diesem Prüfkörper nicht durchgeführt.

5.1.5.5. DMS-Auswertung

Bei diesem Push-Out-Versuchskörper lieferten insgesamt fünf DMS-Rosetten brauchbare Messwerte. Es handelt sich dabei um DMS 1, DMS 2, DMS 3, DMS 5 und DMS 6. Allerdings können die Werte von DMS 1 und von DMS 2 nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 1,2 mm zur Auswertung herangezogen werden. Die Werte von DMS 3 nur bis etwa 5,1 mm, die Werte von DMS 5 nur bis etwa 7,8 mm und die Werte von DMS 6 nur bis etwa 7,4 mm.



Abbildung 152: DMS 1 – Messwerte

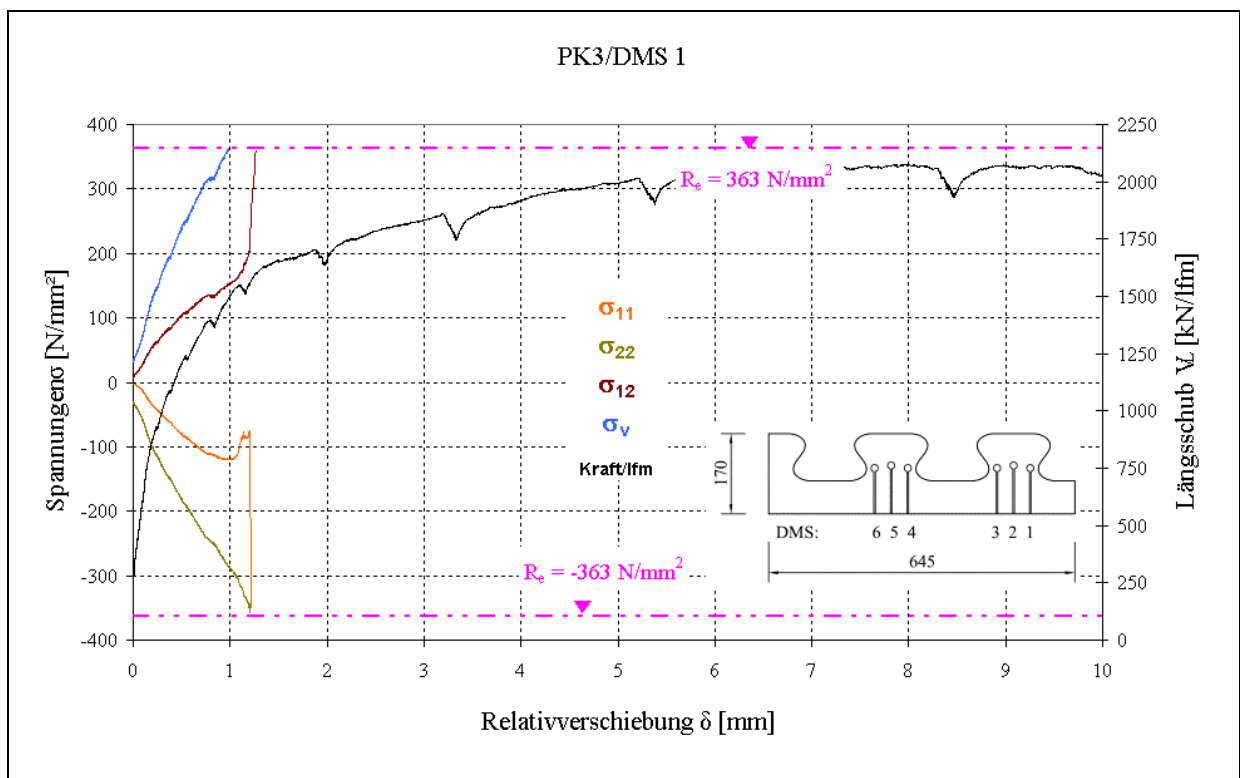


Abbildung 153: DMS 1 – Spannungen

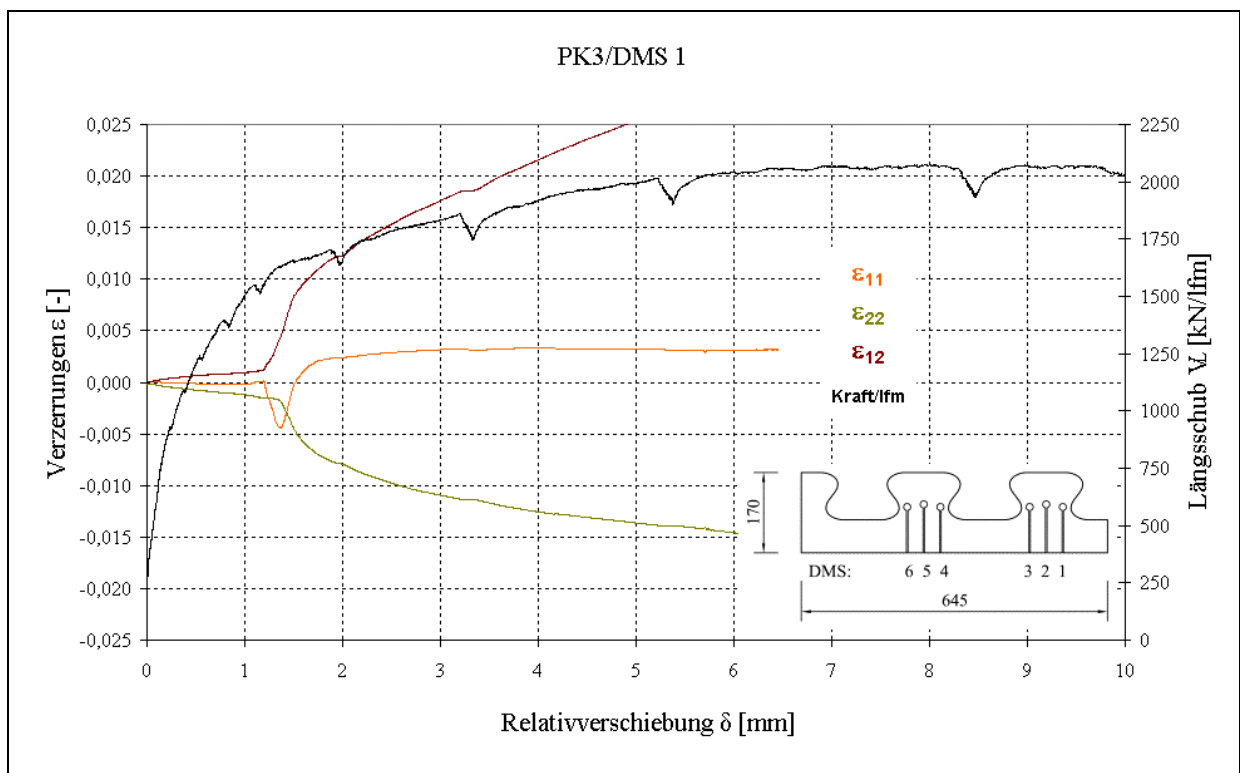


Abbildung 154: DMS 1 – Verzerrungen



Abbildung 155: DMS 2 – Messwerte

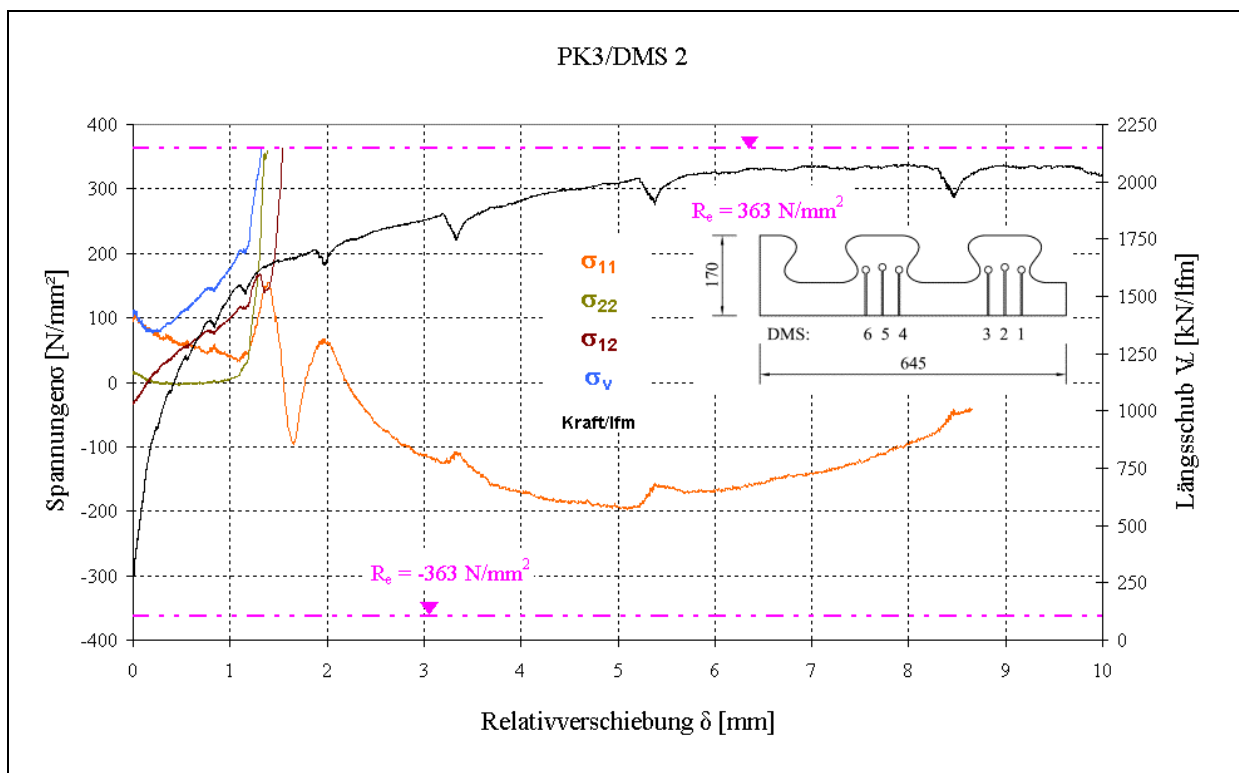


Abbildung 156: DMS 2 – Spannungen

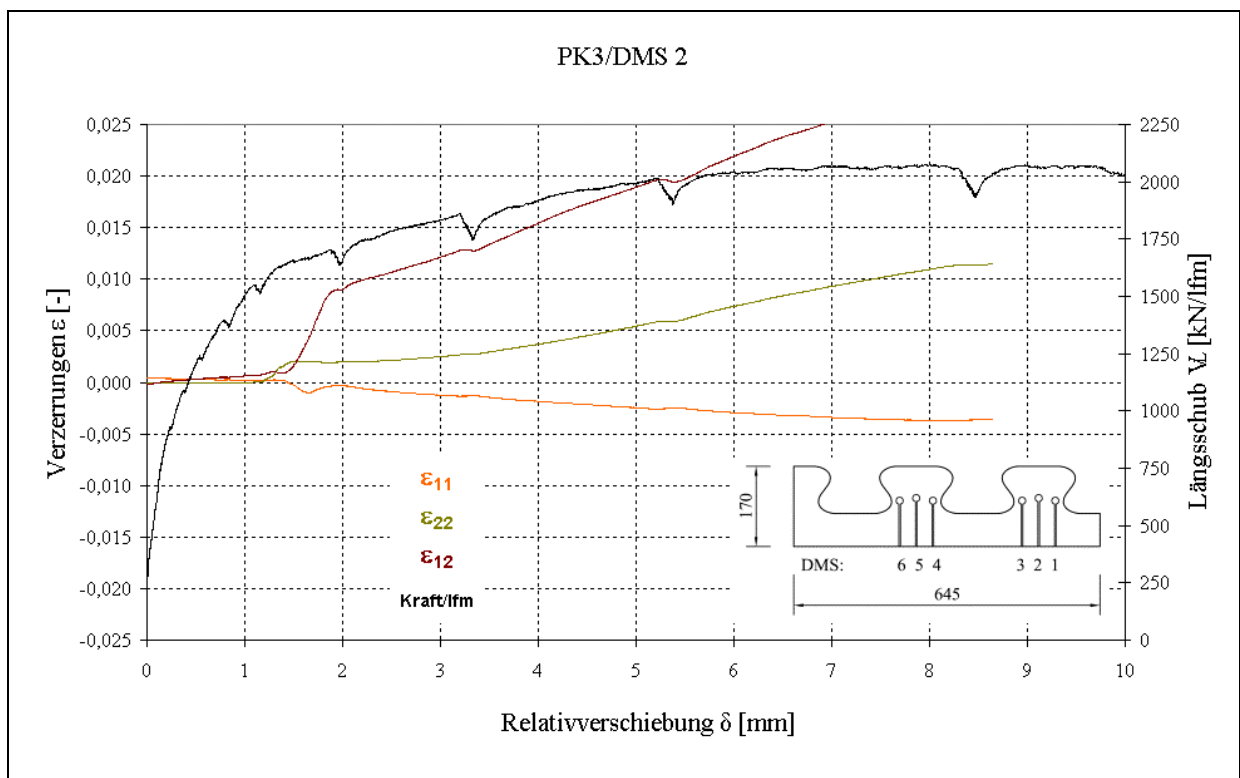


Abbildung 157: DMS 2 – Verzerrungen



Abbildung 158: DMS 3 – Messwerte

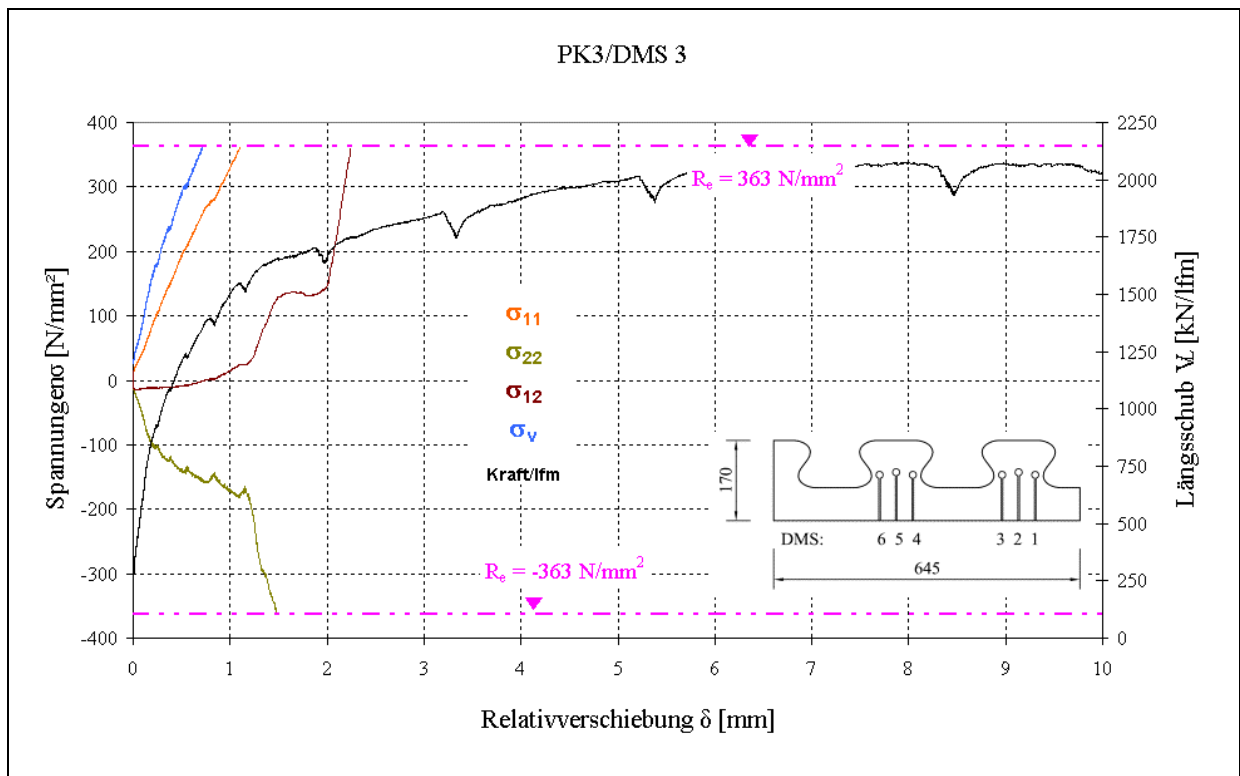


Abbildung 159: DMS 3 – Spannungen

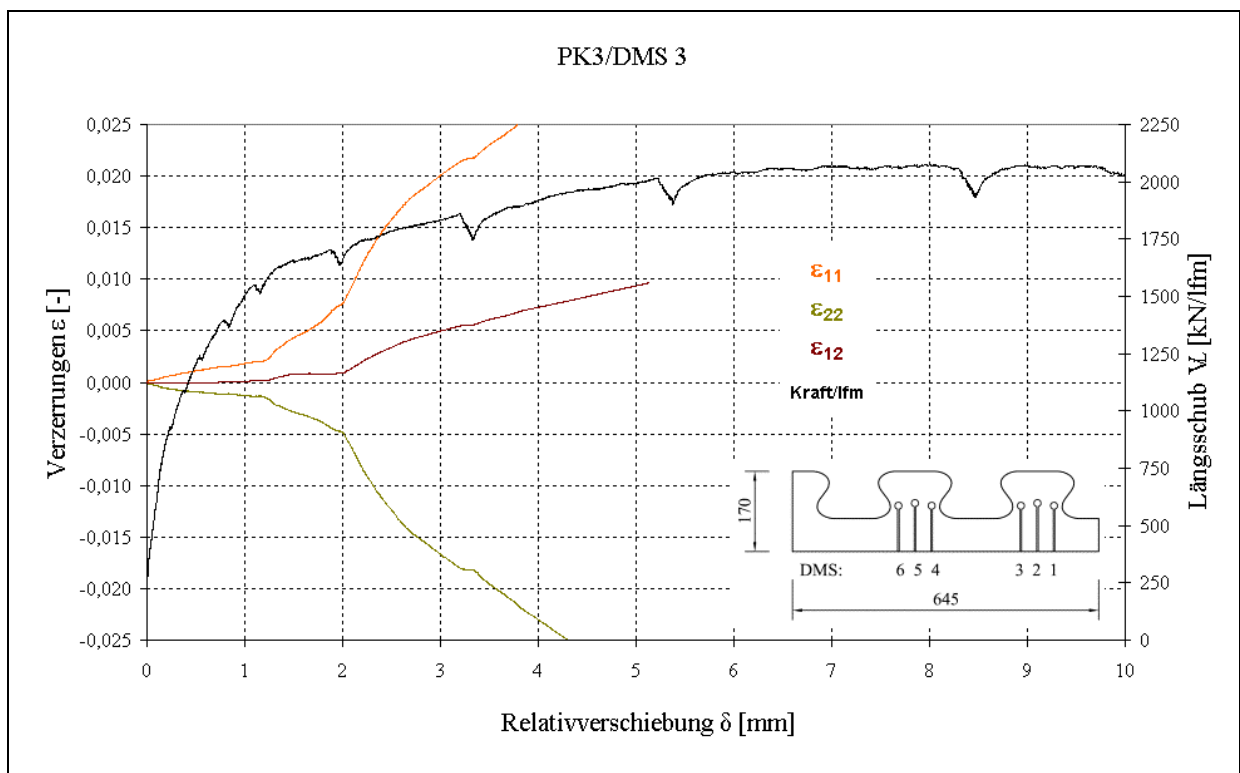
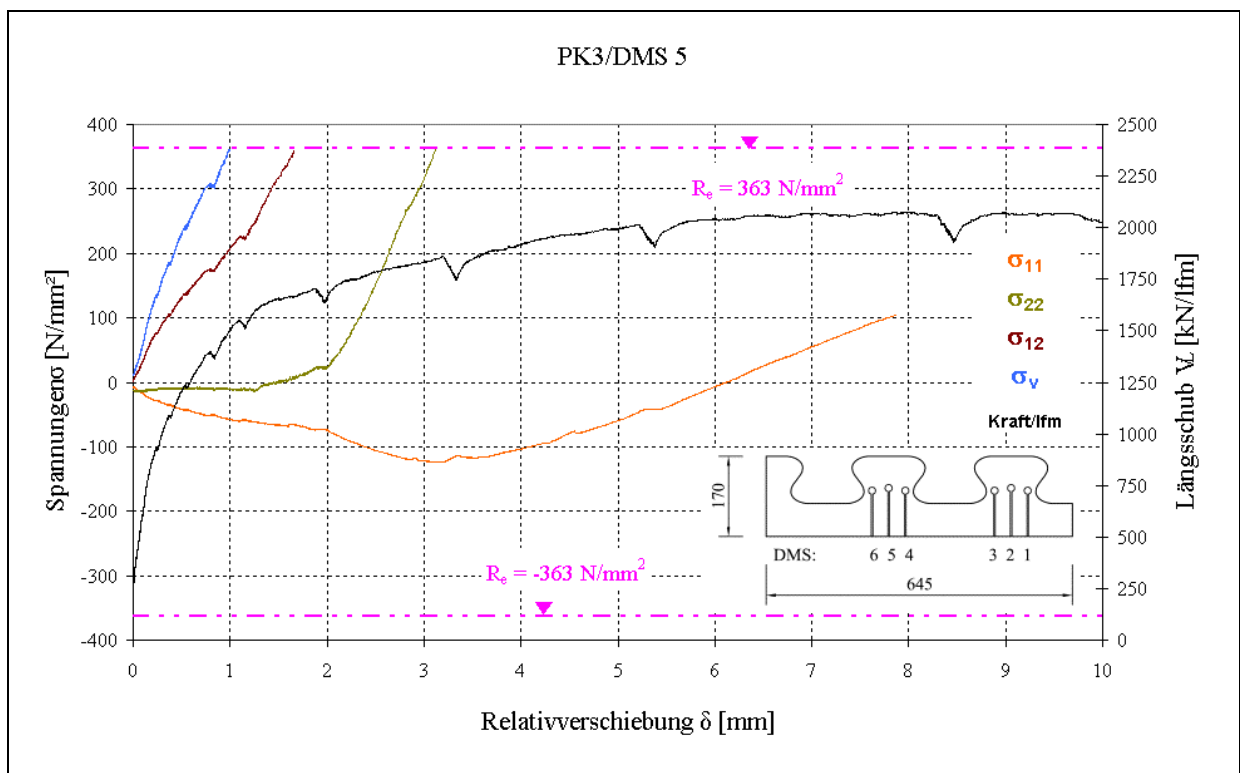
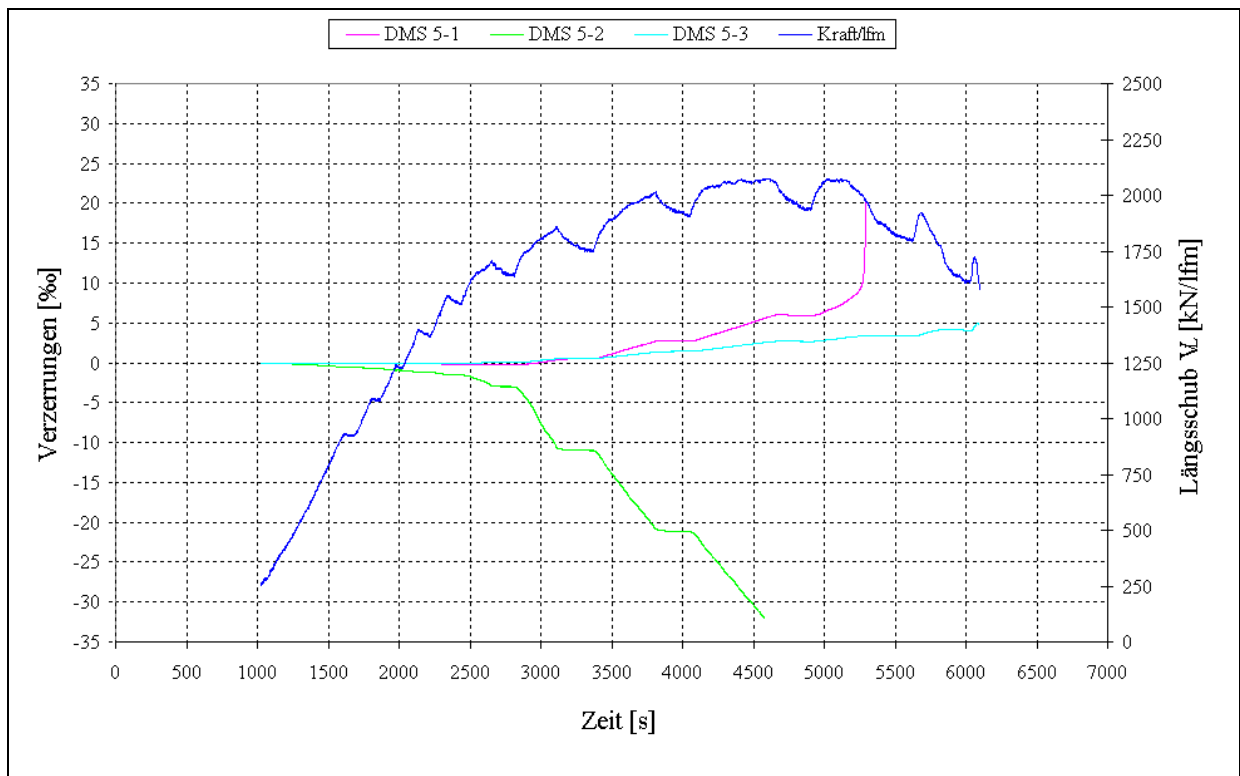


Abbildung 160: DMS 3 – Verzerrungen



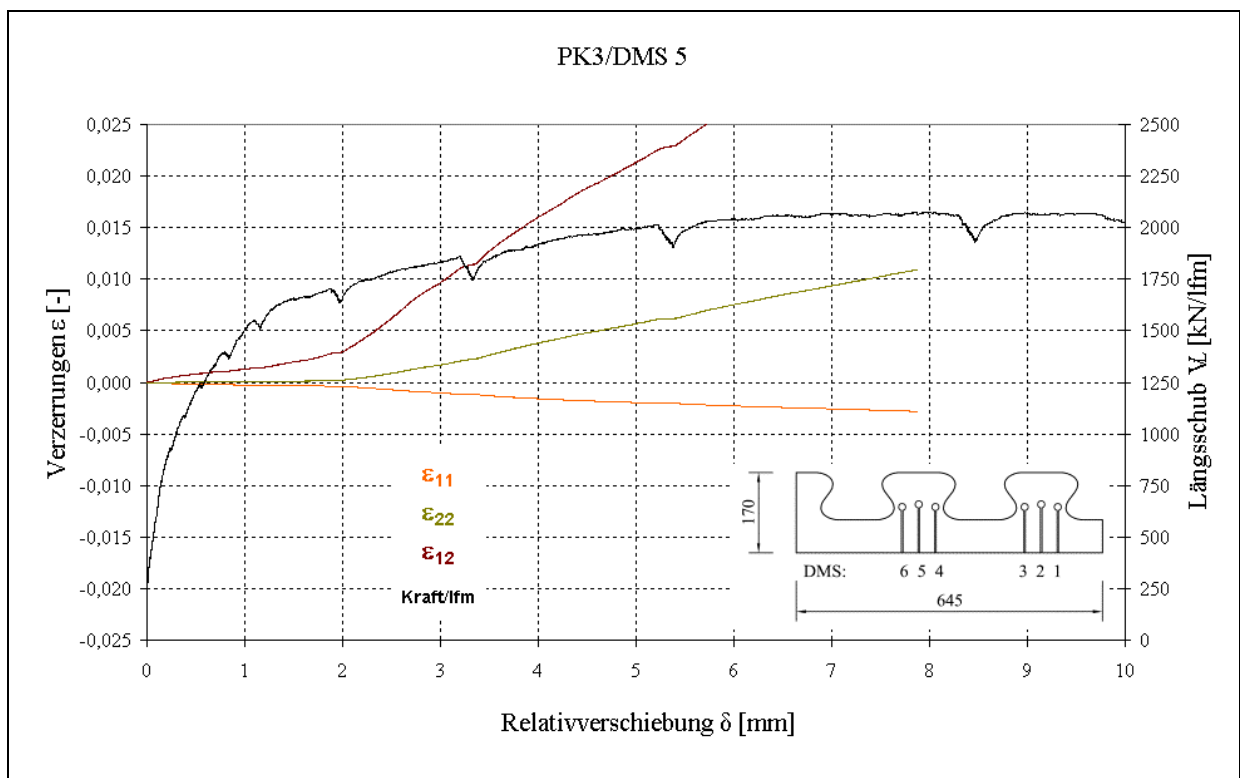


Abbildung 163: DMS 5 – Verzerrungen

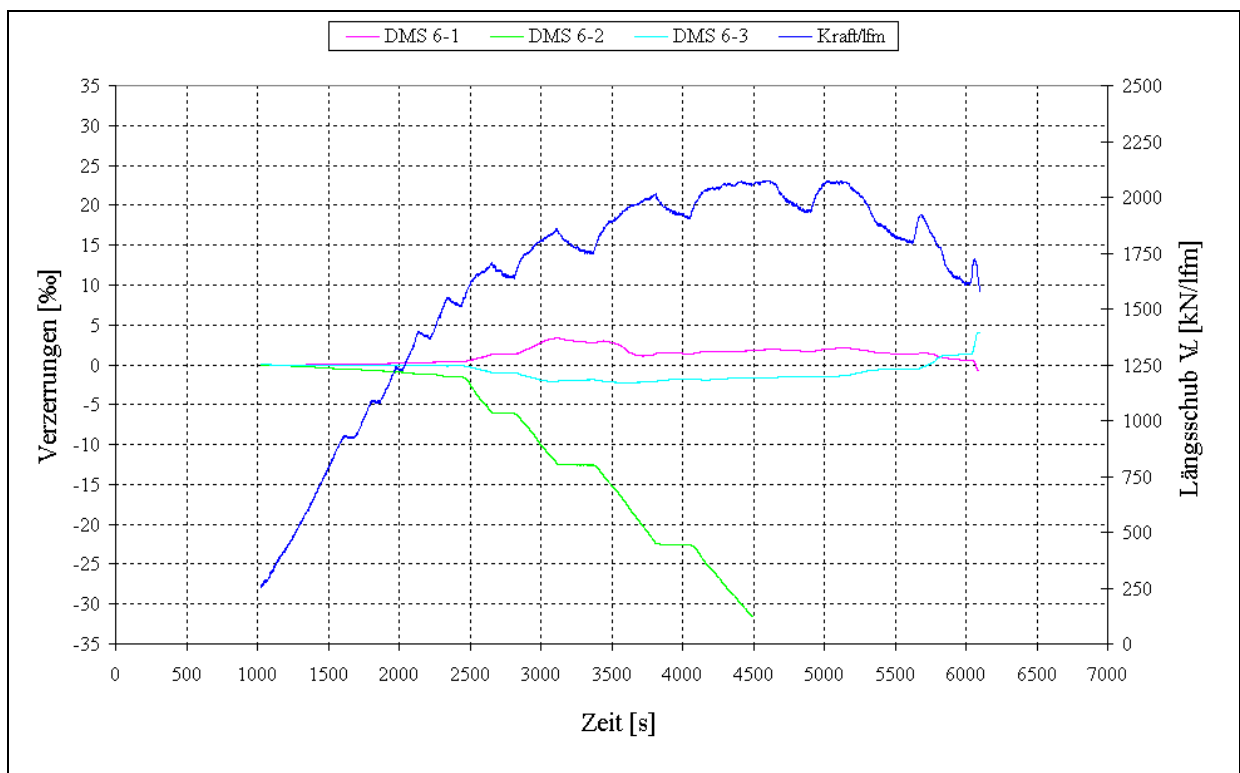


Abbildung 164: DMS 6 – Messwerte

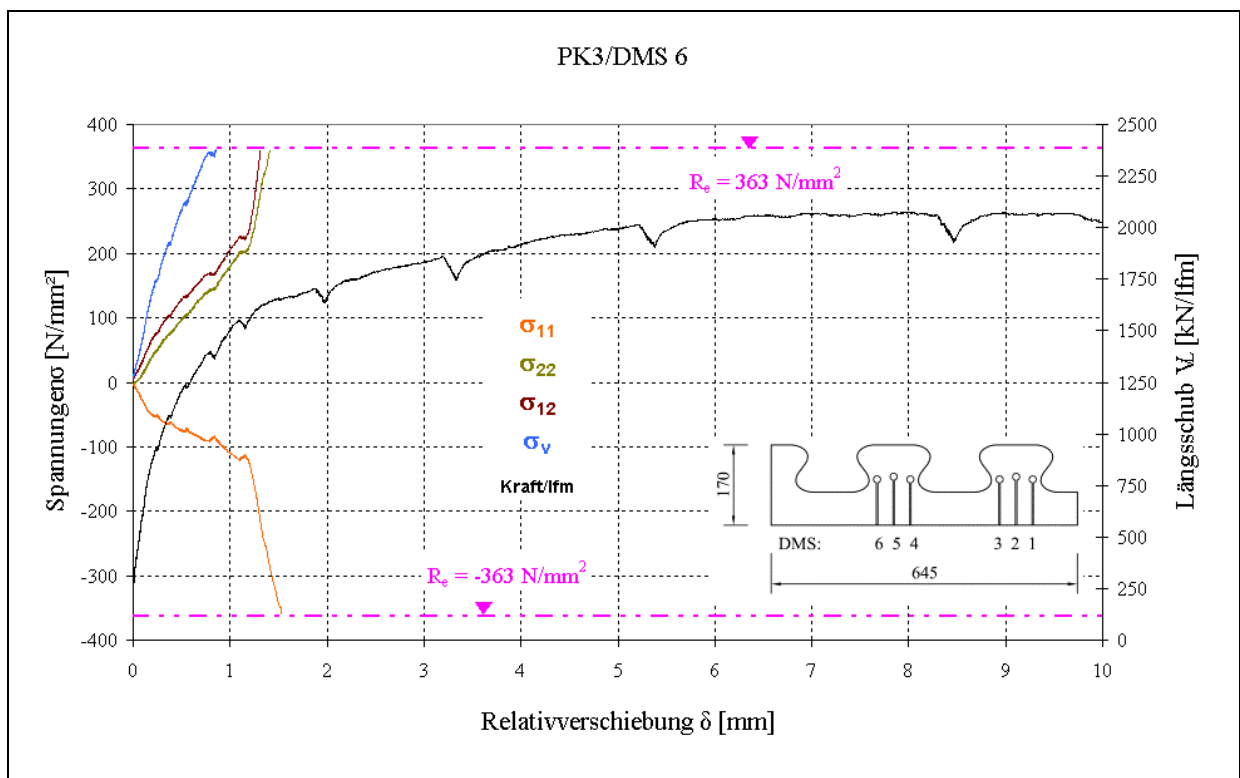


Abbildung 165: DMS 6 – Spannungen

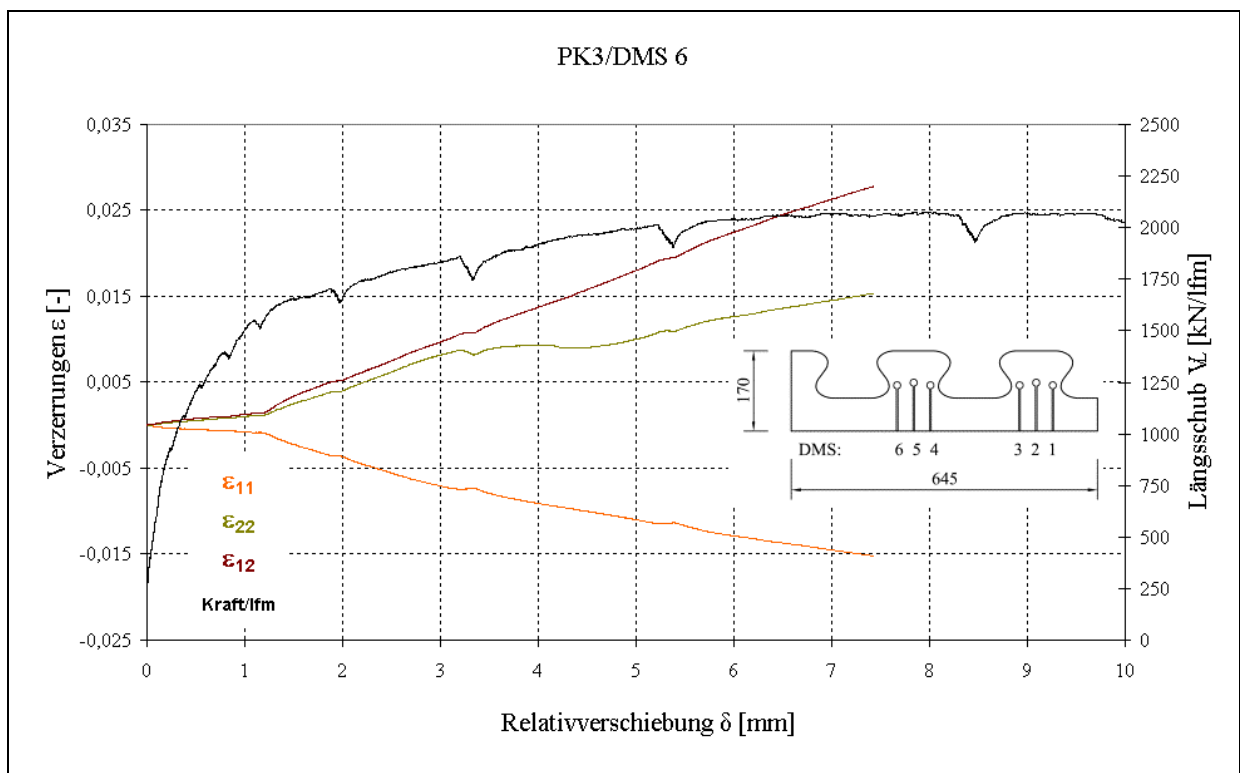


Abbildung 166: DMS 6 – Verzerrungen

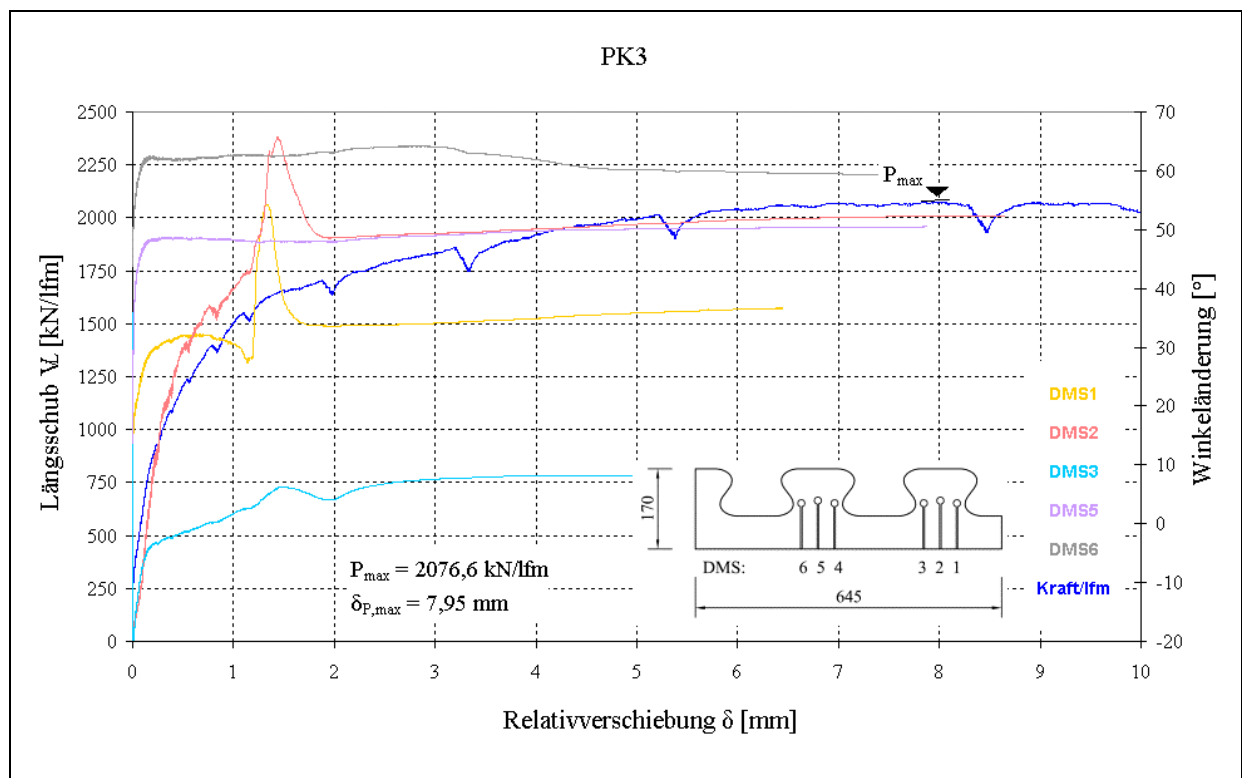


Abbildung 167: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen

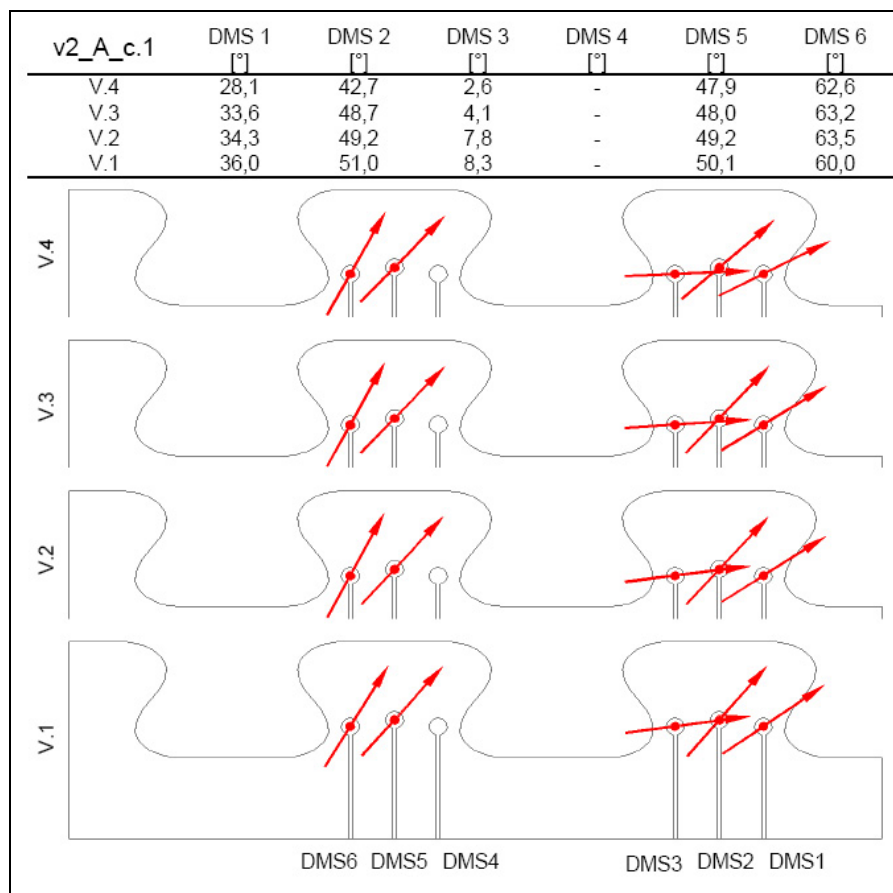
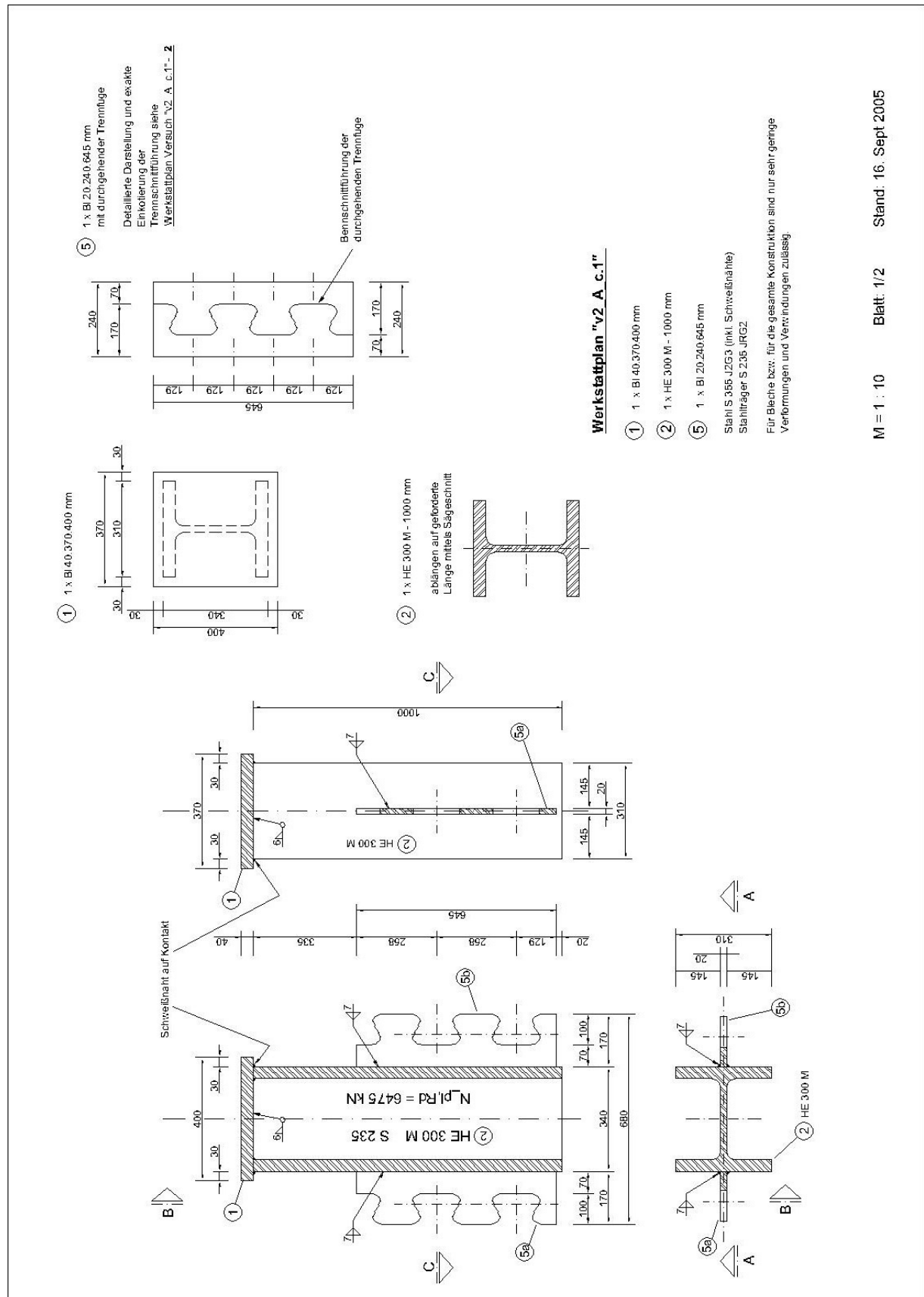
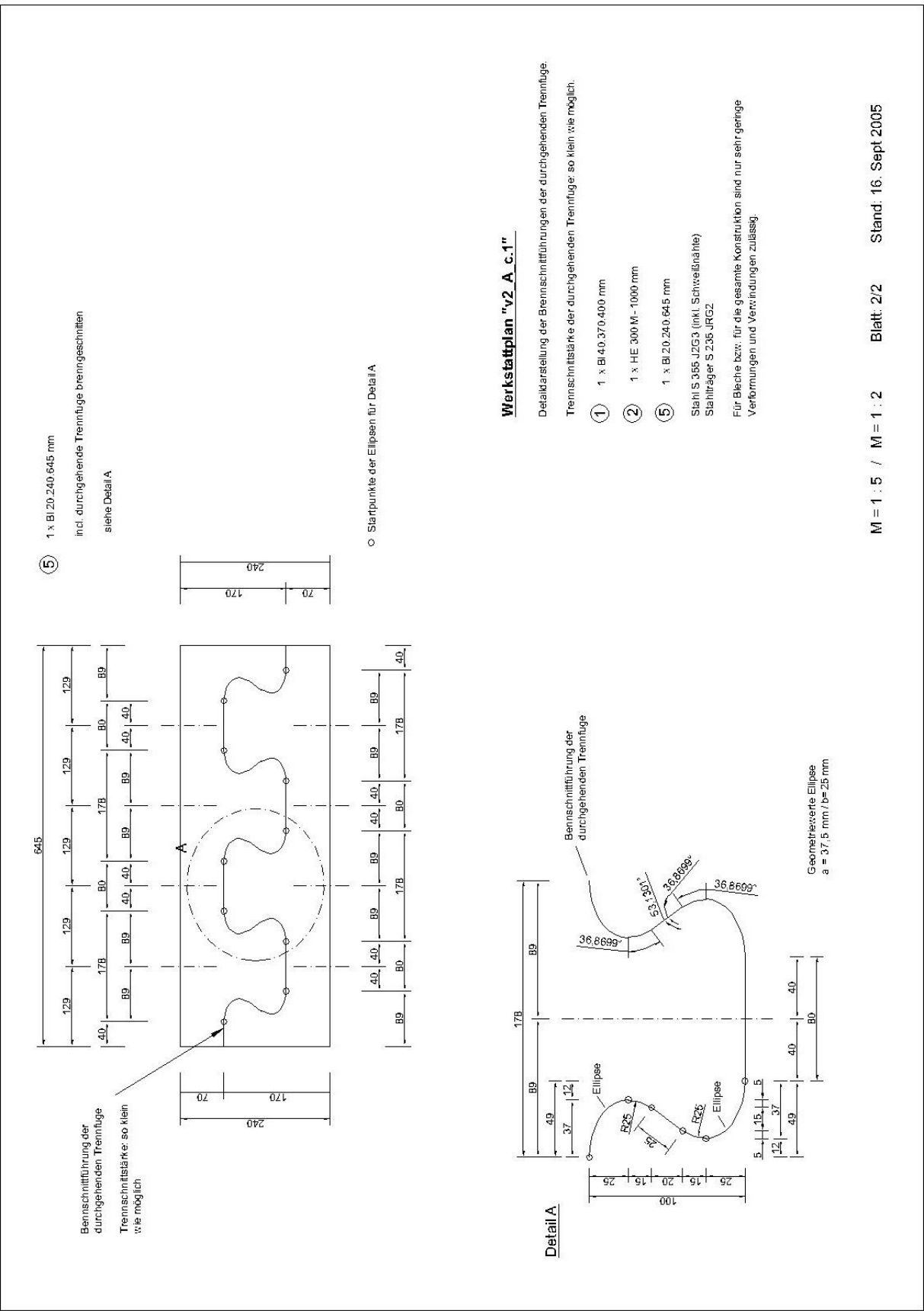


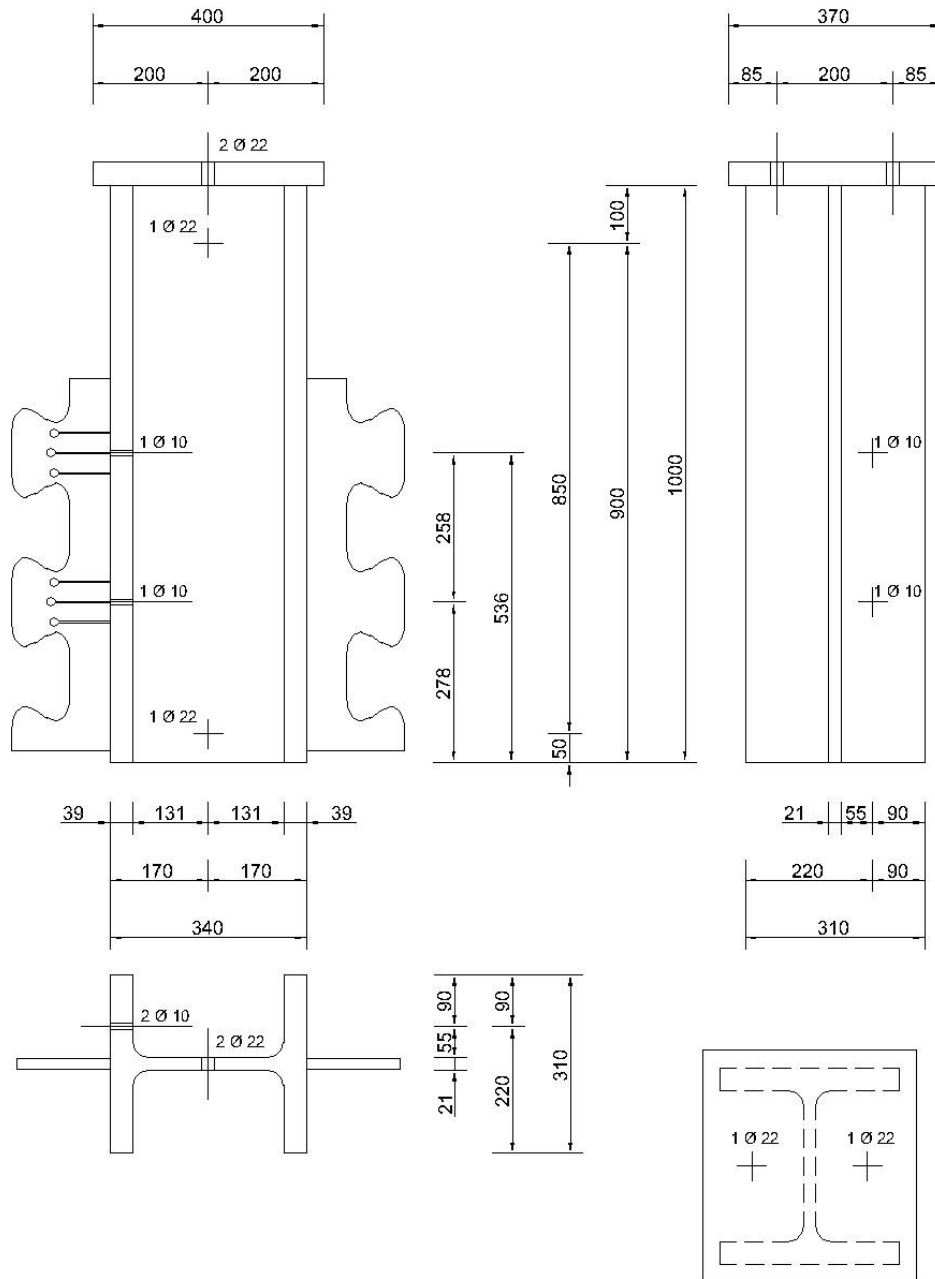
Abbildung 168: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus

5.1.5.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers





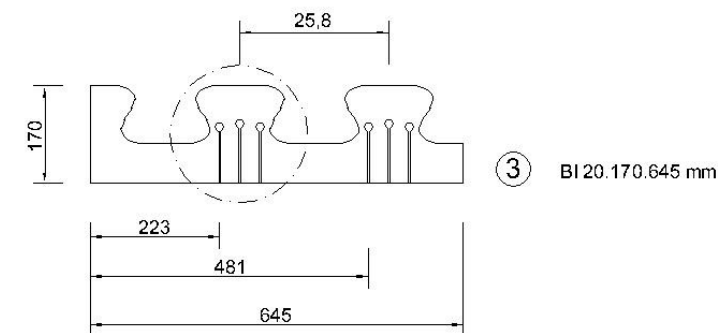
Bearbeitung Stahlbauteil "v2 A c.1"



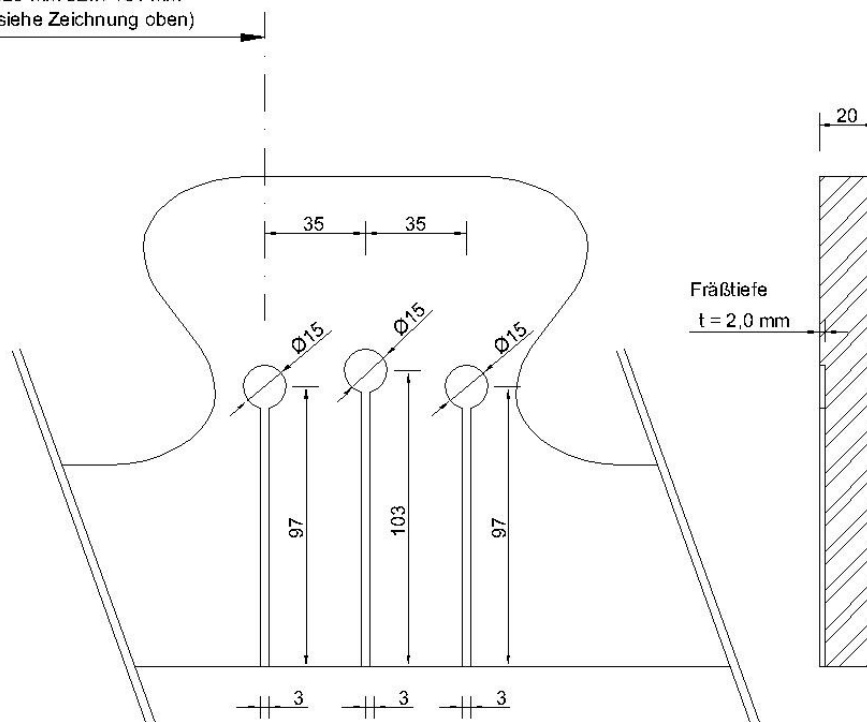
M = 1 : 10

Blatt: 1/1

Stand: 1. Juni 2006



Abstand vom Referenzpunkt:
223 mm bzw. 481 mm
(siehe Zeichnung oben)



Fräßplan zur Blechbearbeitung Pos. 3

③ BI 20.170.645 mm

Stahl S 355 J2G3 (voraussichtlich!)

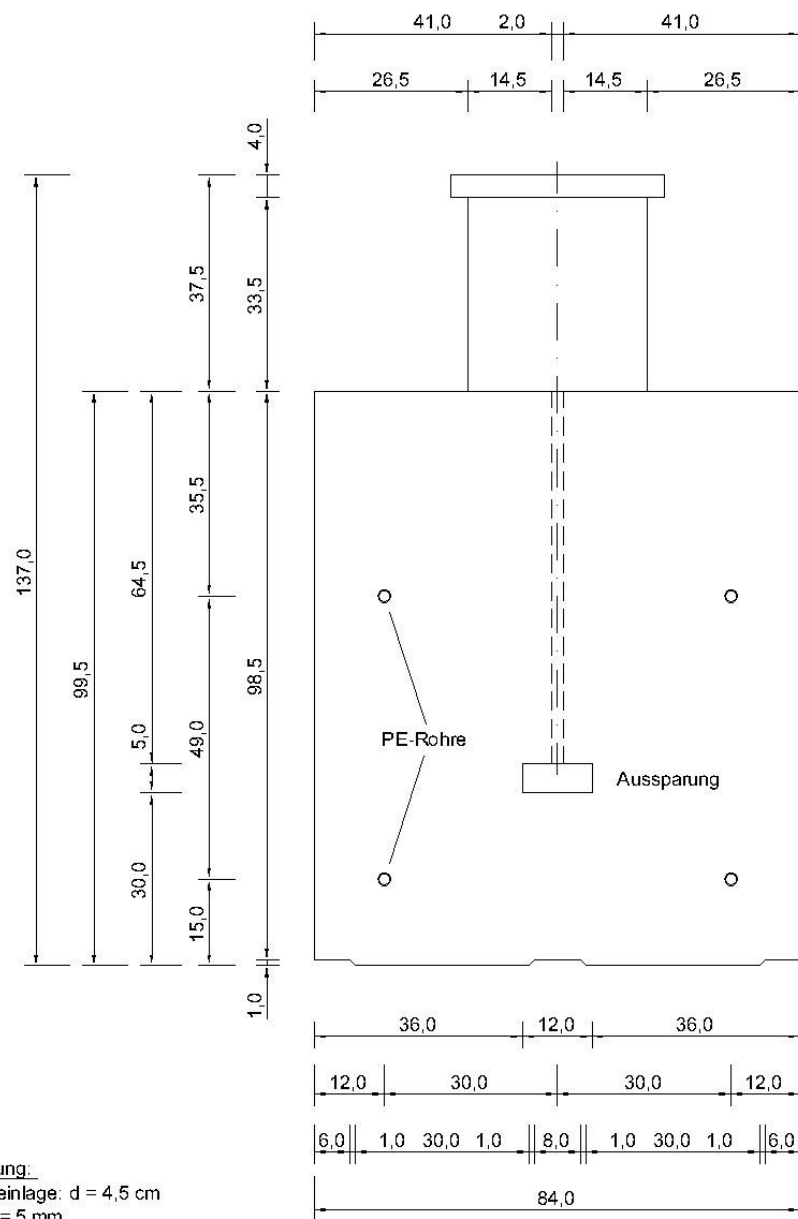
Darstellung Übersicht der Blechbearbeitung mit
zusätzlicher Detaildarstellung incl. Maße.
Fräßtiefe: 2,0 mm

M = 1 : 10 / 1 : 2
Blatt 3
Stand: 15. Juni 2005

Abbildung 169: Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_c.1

Schalungsplan "v2 A c.1"

Ansicht A - A



Aussparung:
Styrodureinlage: d = 4,5 cm
Blech: d = 5 mm
nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
mit einbetoniert,
zur Führung der Zugstangen

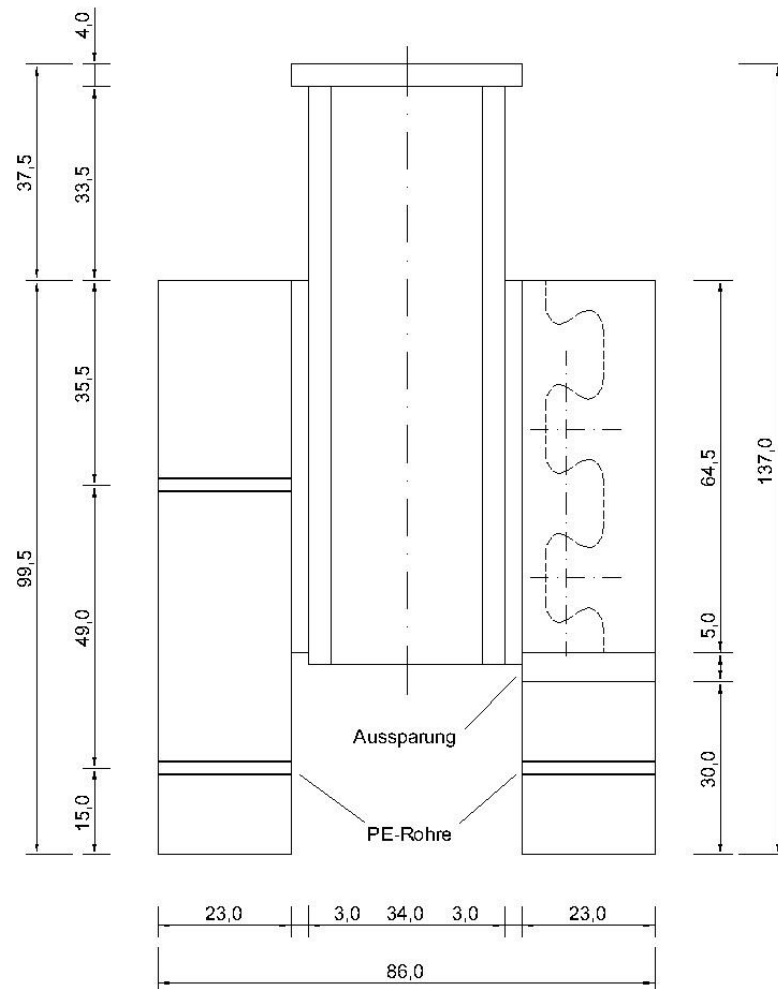
M = 1 : 10

Blatt: 1/3

Stand: 31. Mai 2006

Schalungsplan "v2 A c.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

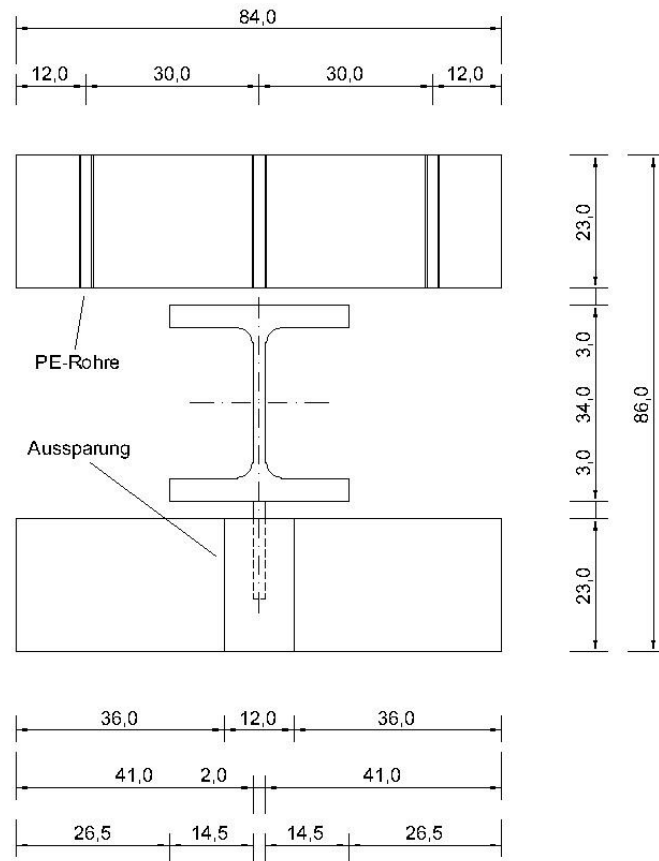
M = 1 : 10

Blatt: 2/3

Stand: 31. Mai 2006

Schalungsplan "v2 A c.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



Aussparung:
 Styrodüreinslage: $d = 4,5$ cm
 Blech: $d = 5$ mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

M = 1 : 10

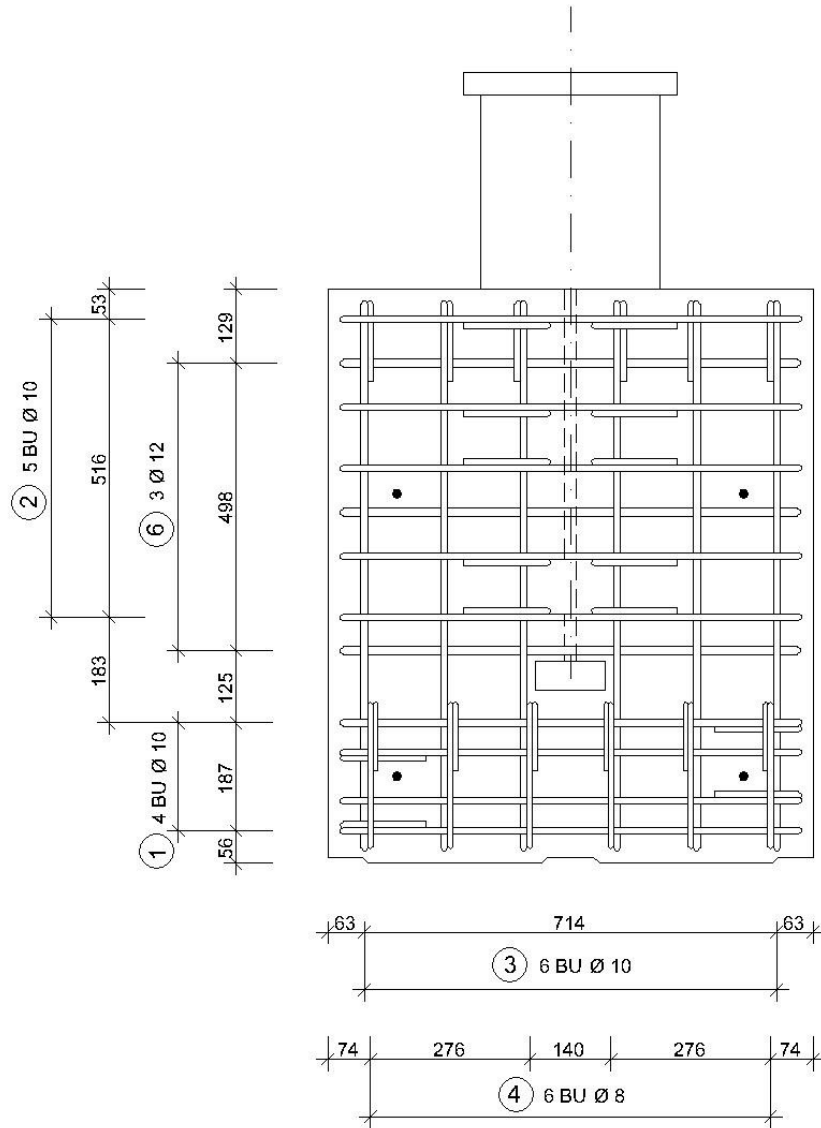
Blatt: 3/3

Stand: 31. Mai 2006

Abbildung 170: Schalpläne v2_A_c.1

Bewehrungsplan "v2 A c.1"

Ansicht A - A



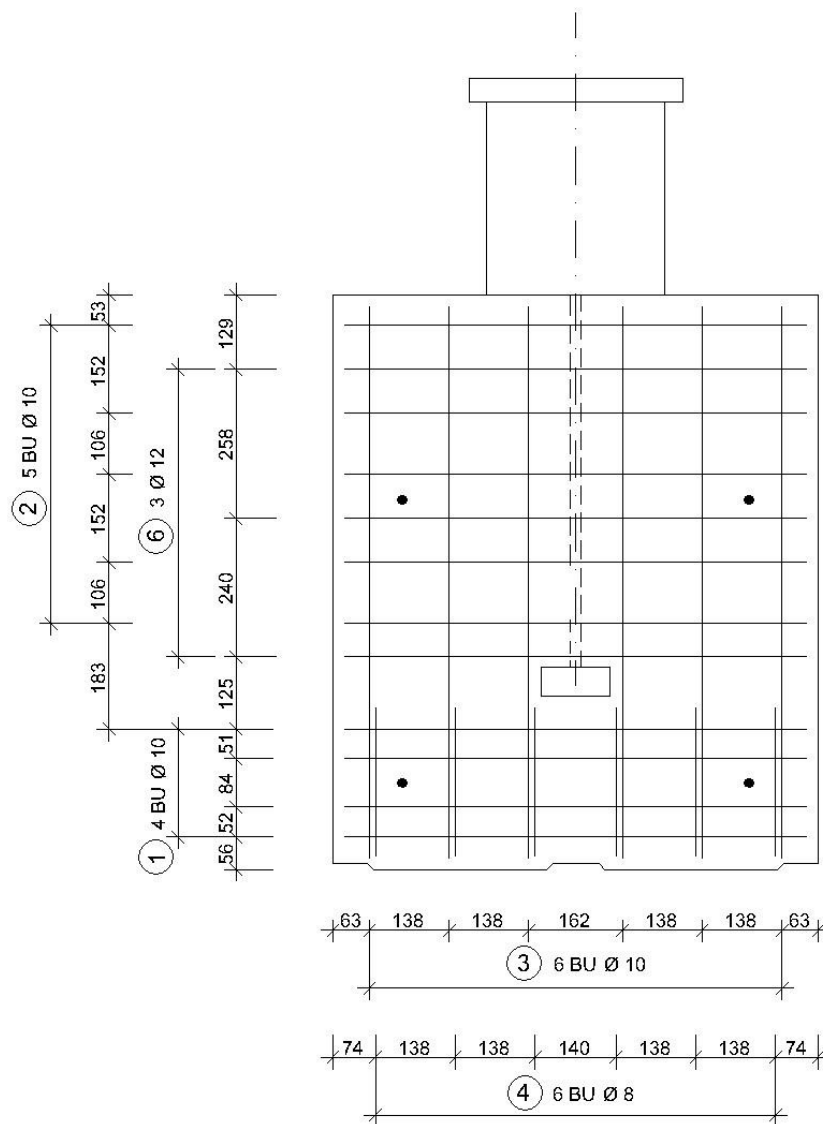
M = 1 : 10

Blatt: 1/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A c.1"

Ansicht A - A



Betondeckungen:

oben: 20 mm
rechts: 20 mm
links: 20 mm
unten: 20 mm

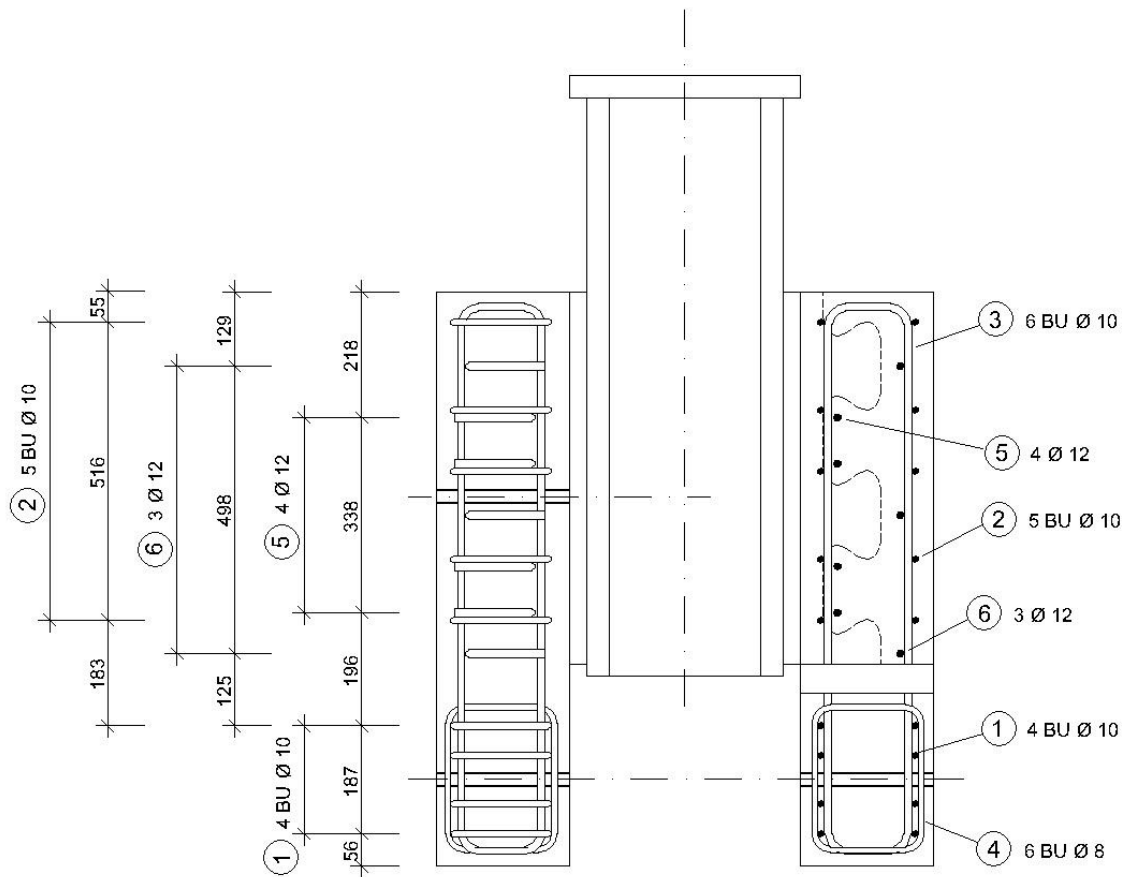
M = 1 : 10

Blatt: 2/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A c.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



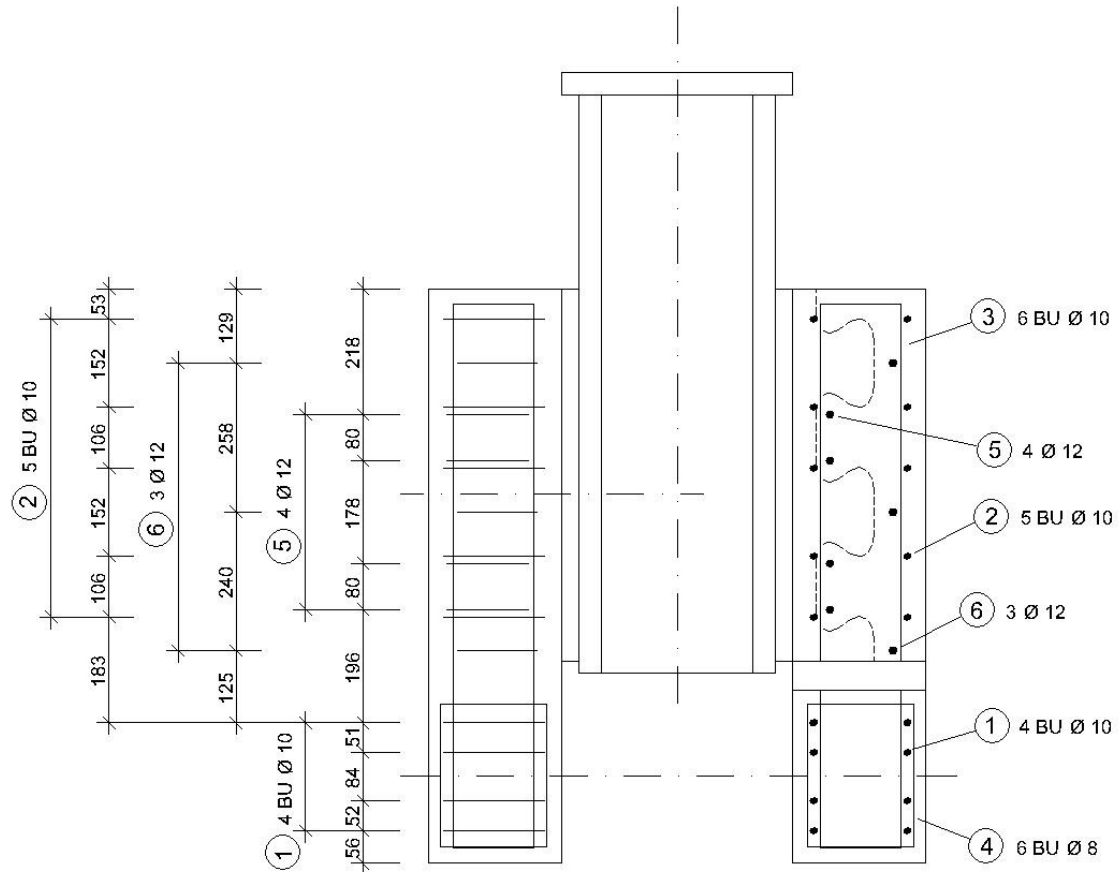
M = 1 : 10

Blatt: 3/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A c.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Betondeckungen:
oben innen: 30 mm
oben außen: 25 mm

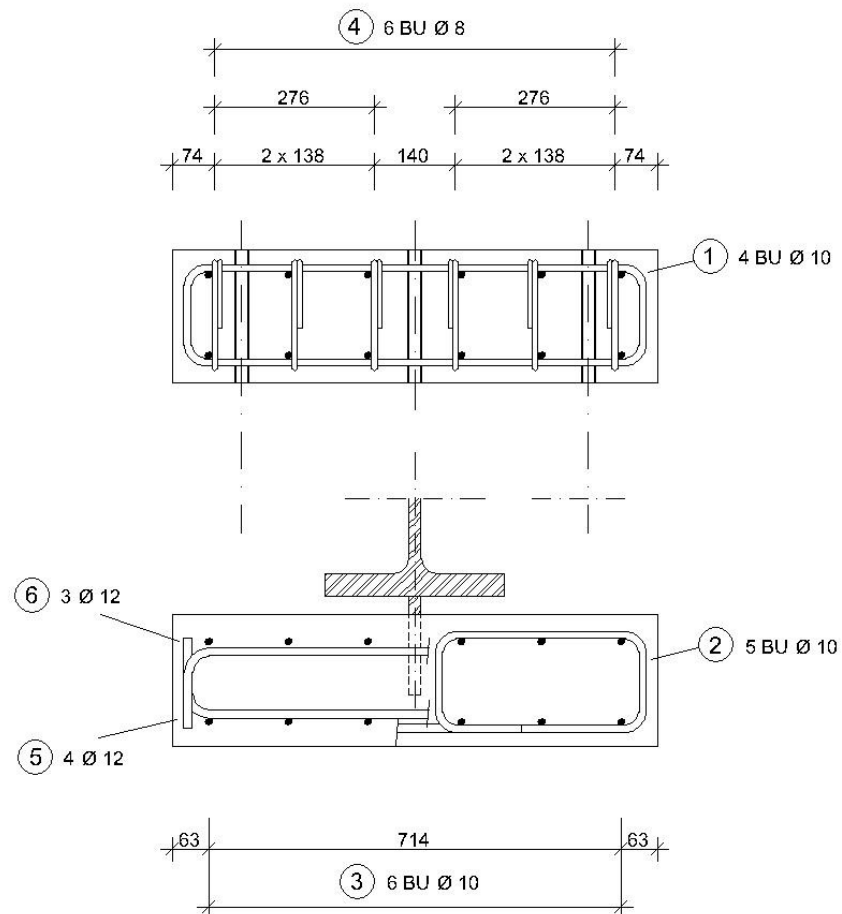
M = 1 : 10

Blatt: 4/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A c.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



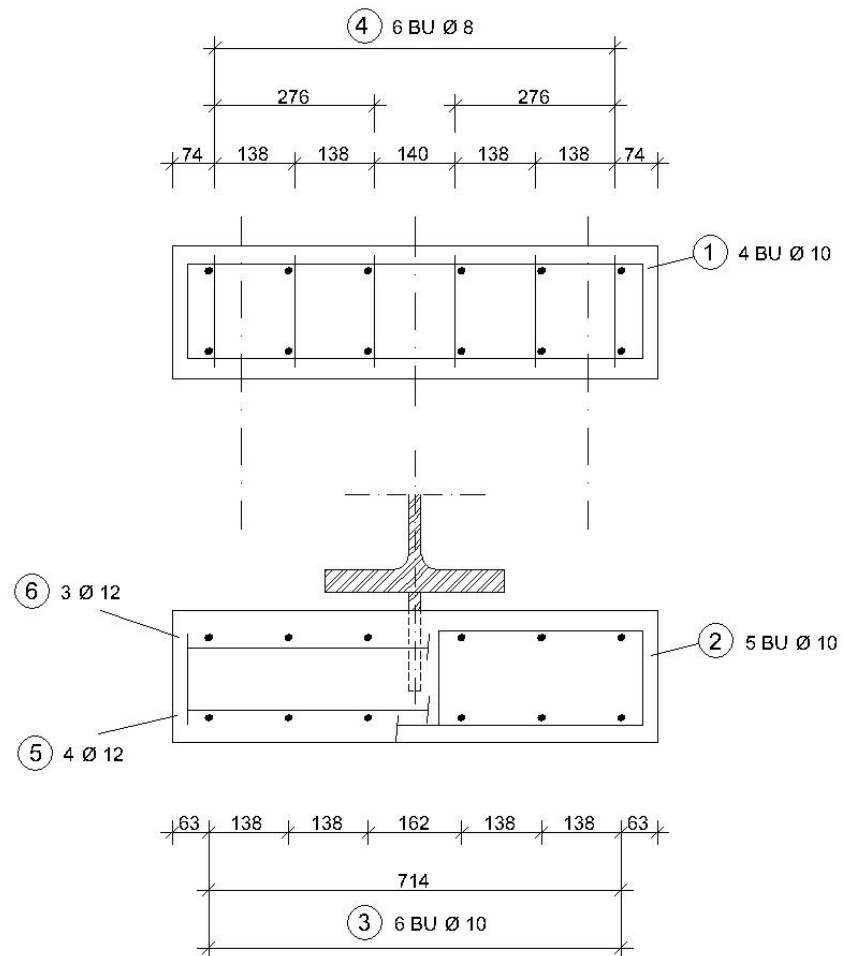
M = 1 : 10

Blatt: 5/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A c.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



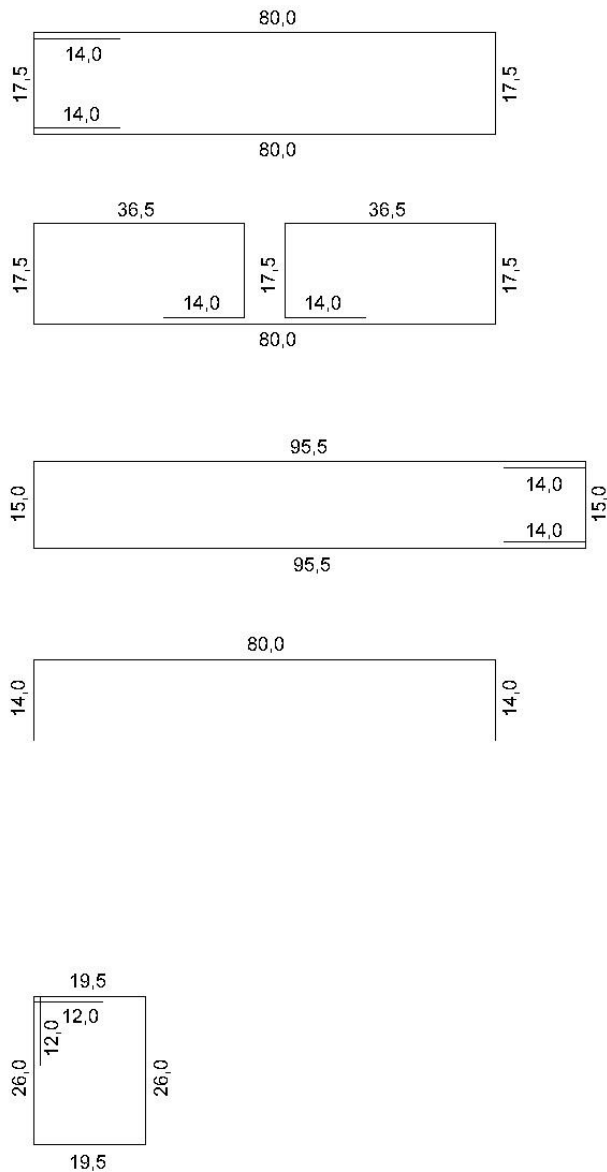
M = 1 : 10

Blatt: 6/7

Stand: 31. Mai 2006

Bewehrungsplan "v2 A c.1"

bemaßte Biegeformen



① 2 x 4 = 8 BU Ø 10
lg = 223,0 cm - 1,38 kg
ges = 17,84 m - 11,0 kg

② 2 x 5 = 10 BU Ø 10
lg = 251,0 cm - 1,55 kg
ges = 25,1 m - 15,5 kg

③ 2 x 6 = 12 BU Ø 10
lg = 249,0 cm - 1,54 kg
ges = 29,9 m - 18,4 kg

⑤ 2 x 4 = 8 Ø 12
lg = 108,0 cm - 0,96 kg
ges = 8,64 m - 7,7 kg

⑥ 2 x 3 = 6 Ø 12
lg = 108,0 cm - 0,96 kg
ges = 6,48 m - 5,8 kg

④ 2 x 6 = 12 BU Ø 8
lg = 115,0 cm - 0,45 kg
ges = 13,8 m - 5,5 kg

M = 1 : 10

Blatt: 7/7

Stand: 22. Feb. 2006

Abbildung 171: Bewehrungspläne v2_A_c.1

5.1.6. Versuchsdatenblatt v2_B_a.1 (PK6)

5.1.6.1. Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation

Die planparallele Ausrichtung der späteren Kontaktflächen zur Druckplatte des großen Prüfrahmens und zur lastnahen Kopfplatte des Stahlträgers wurde erreicht.

Das Einheben und der Einbau in den großen Prüfrahmen führten zu keinerlei Beeinträchtigungen des Push-Out-Versuchskörpers zum Beispiel durch Anschläge. Die Druckplatten des großen Prüfrahmens konnten so ausgerichtet werden, dass beide satt am Push-Out-Versuchskörper anlagen.

5.1.6.2. Beschreibung des Versuchsablaufs

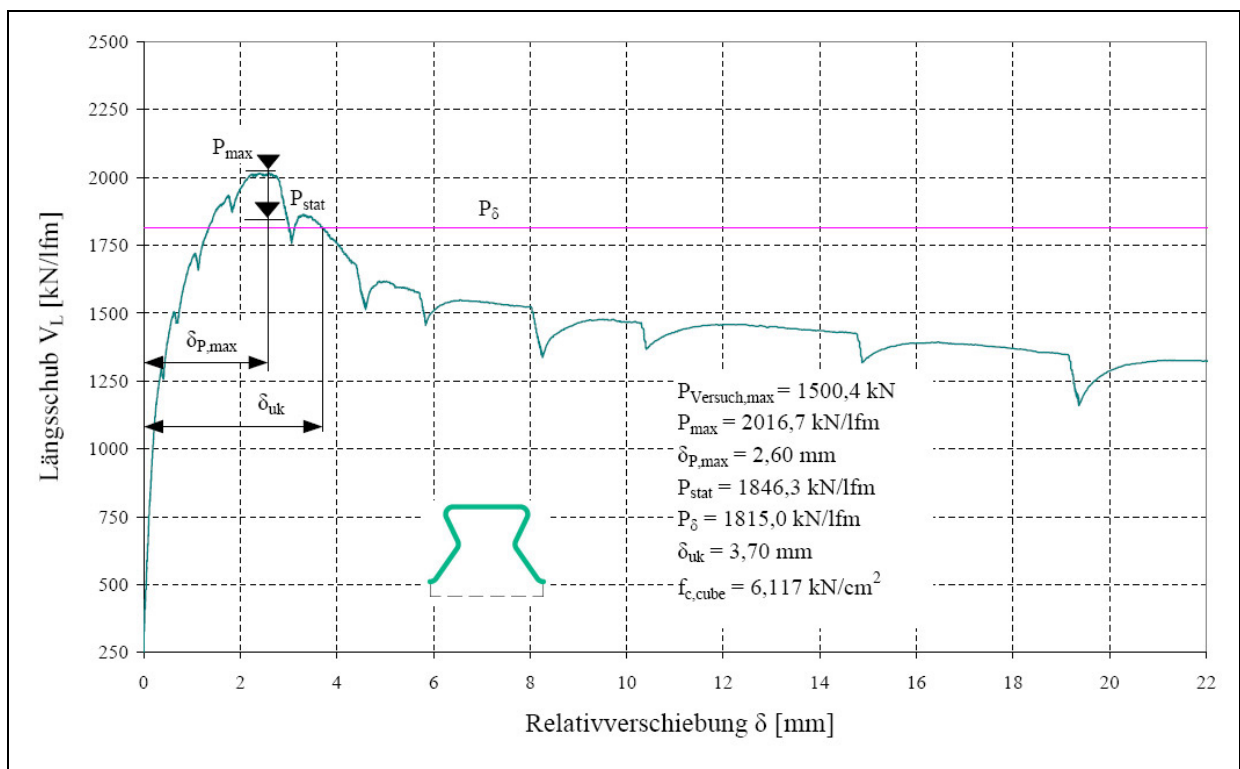


Abbildung 172: Dübelskennlinie v2_B_a.1

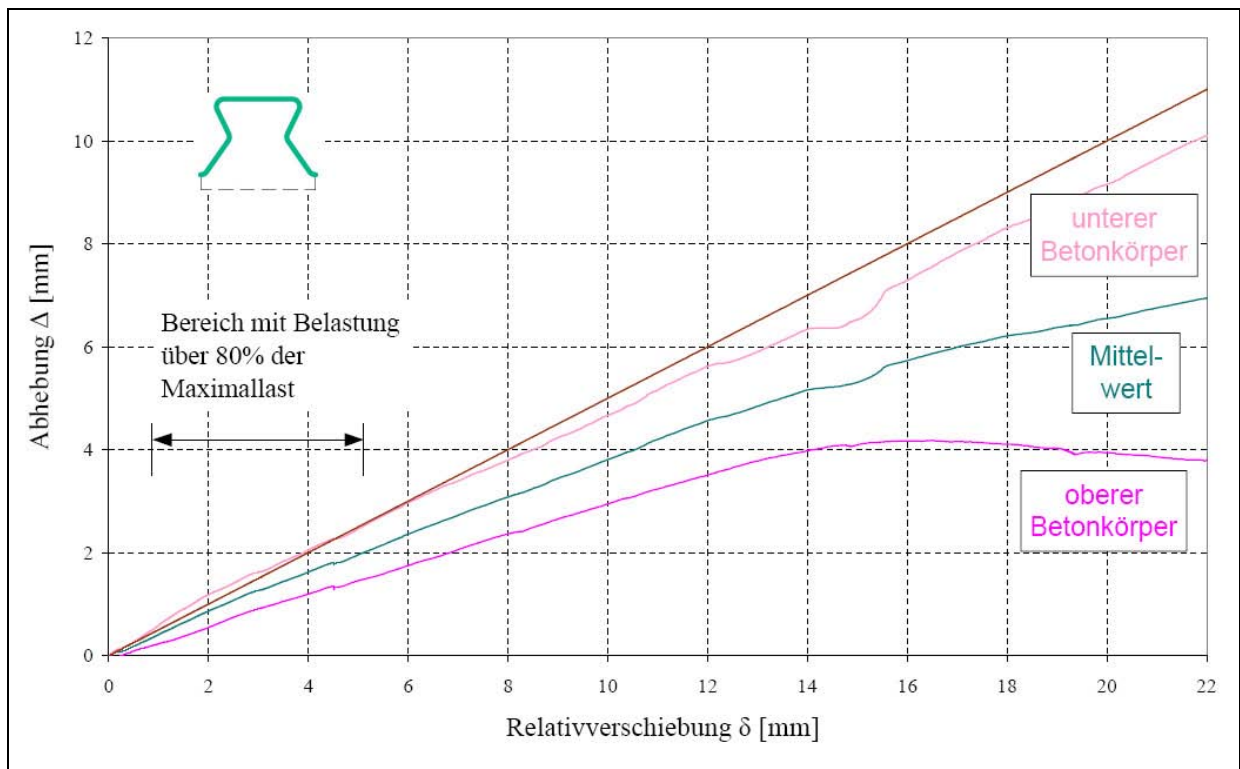


Abbildung 173: Abhebekennlinie v2_B_a.1

5.1.6.3. Beschreibung des Betonkörpers

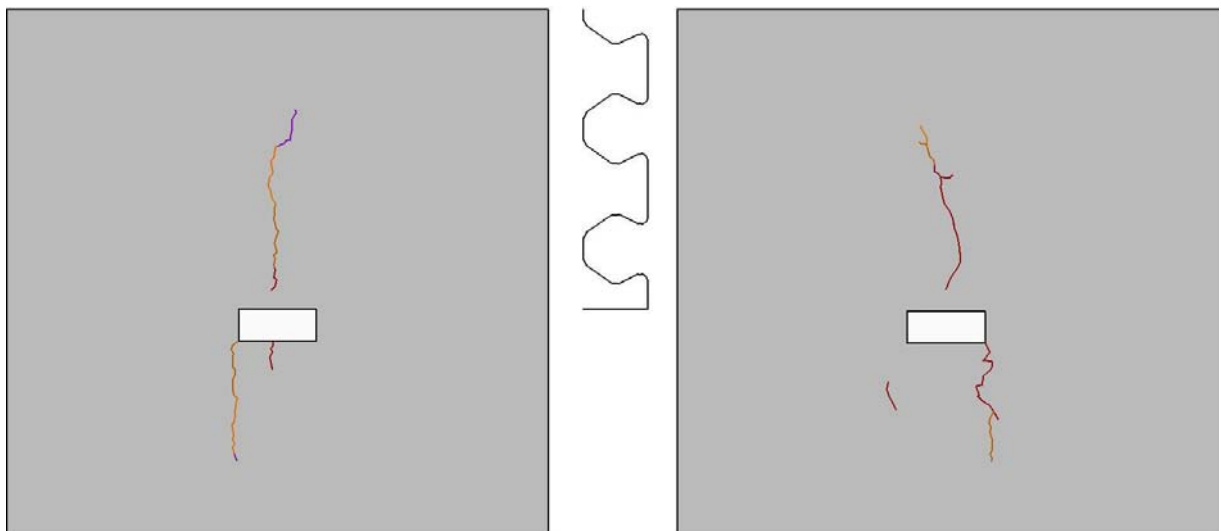


Abbildung 174: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_a.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

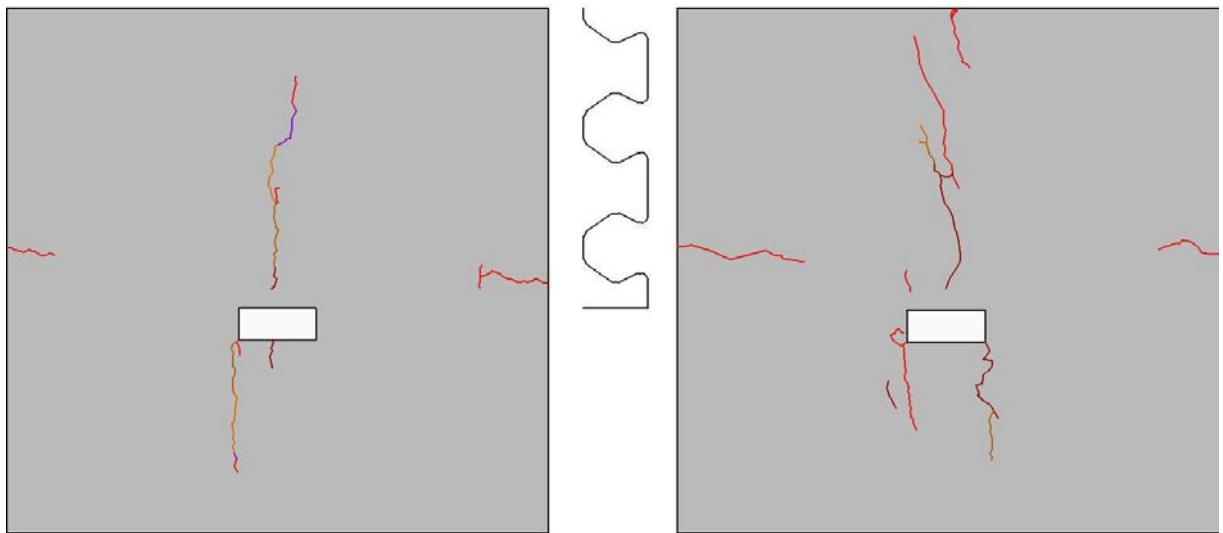


Abbildung 175: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_a.1 bei Erreichen von P_{max} . Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

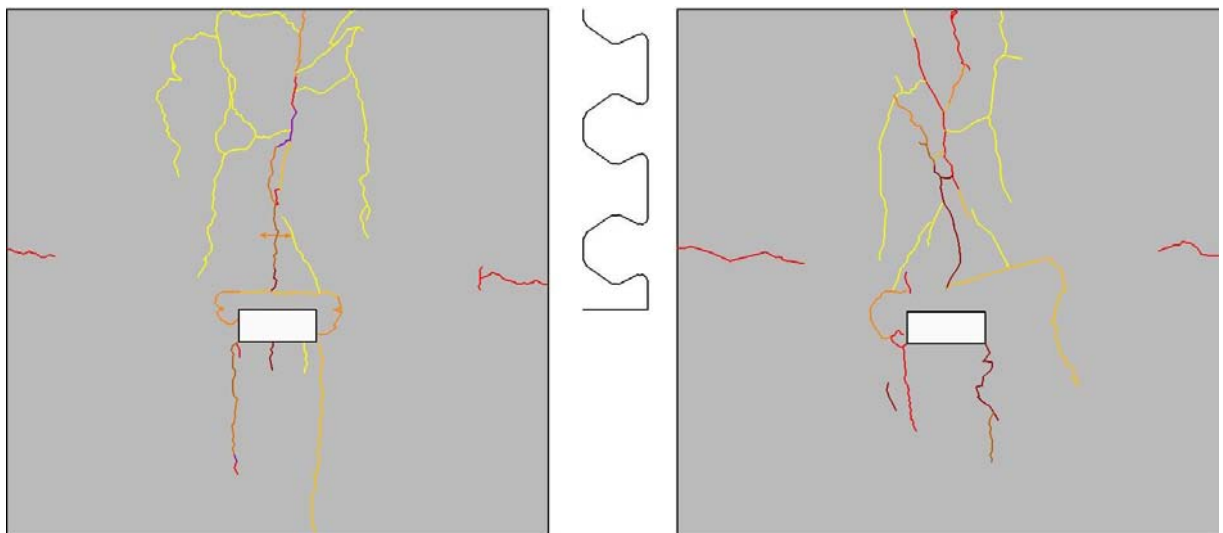


Abbildung 176: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_a.1 bei Versuchende. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

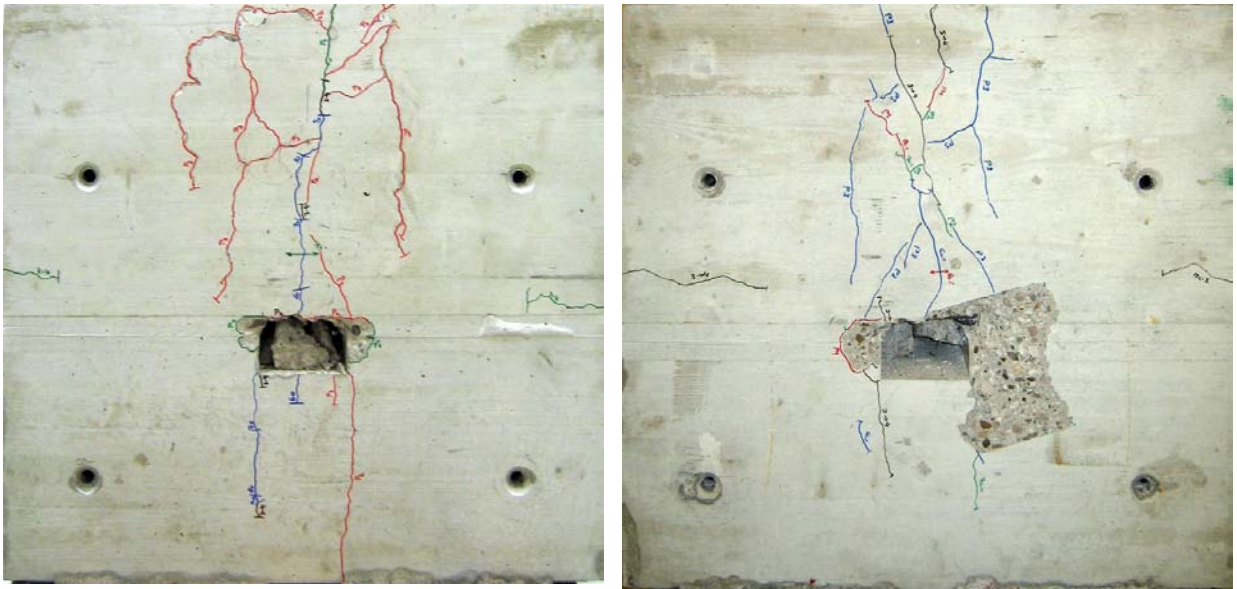


Abbildung 177: Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_B_a.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.

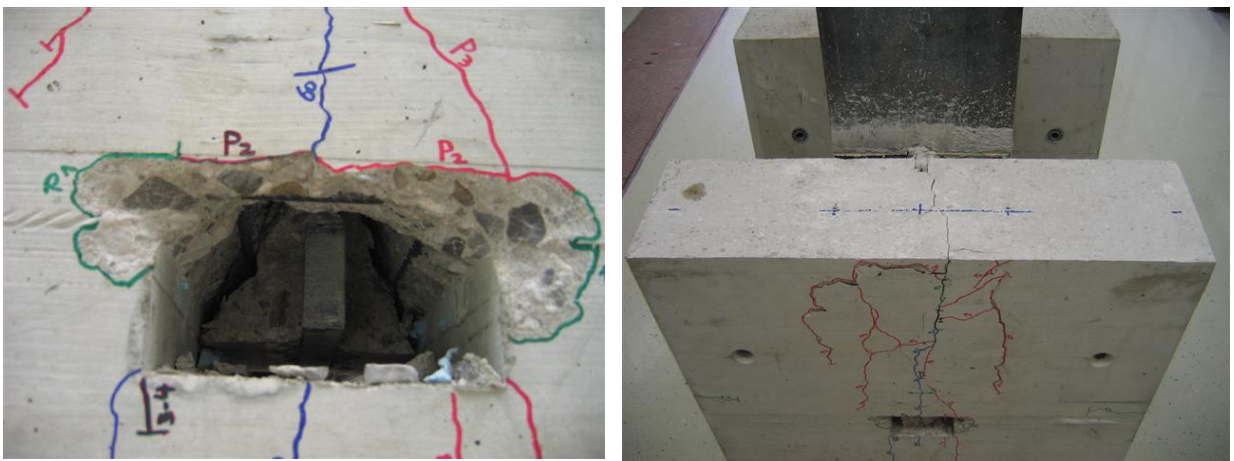
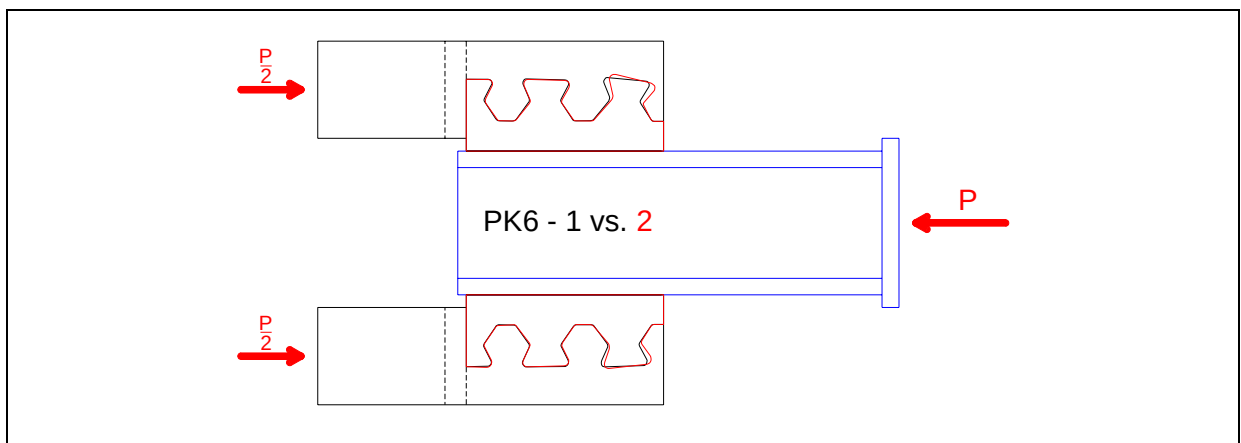


Abbildung 178: ausgeschobenenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)

5.1.6.4. Beschreibung des Dübelblechs



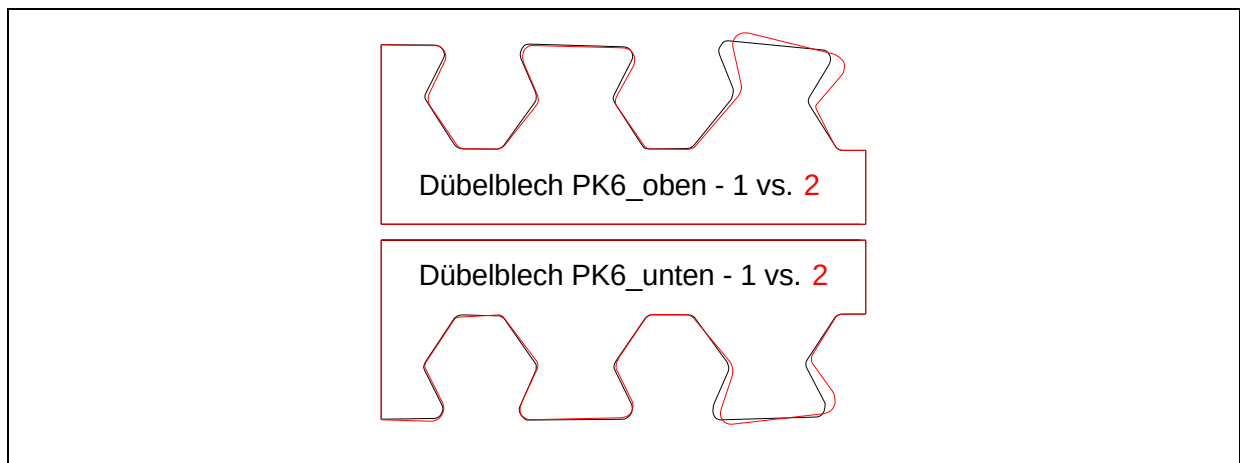


Abbildung 179: Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch

5.1.6.5. DMS-Auswertung

Bei diesem Push-Out-Versuchskörper lieferten insgesamt zwei DMS-Rosetten brauchbare Messwerte. Es handelt sich dabei um DMS 3 und DMS 4. Allerdings können diese nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 8 mm zur Auswertung herangezogen werden.

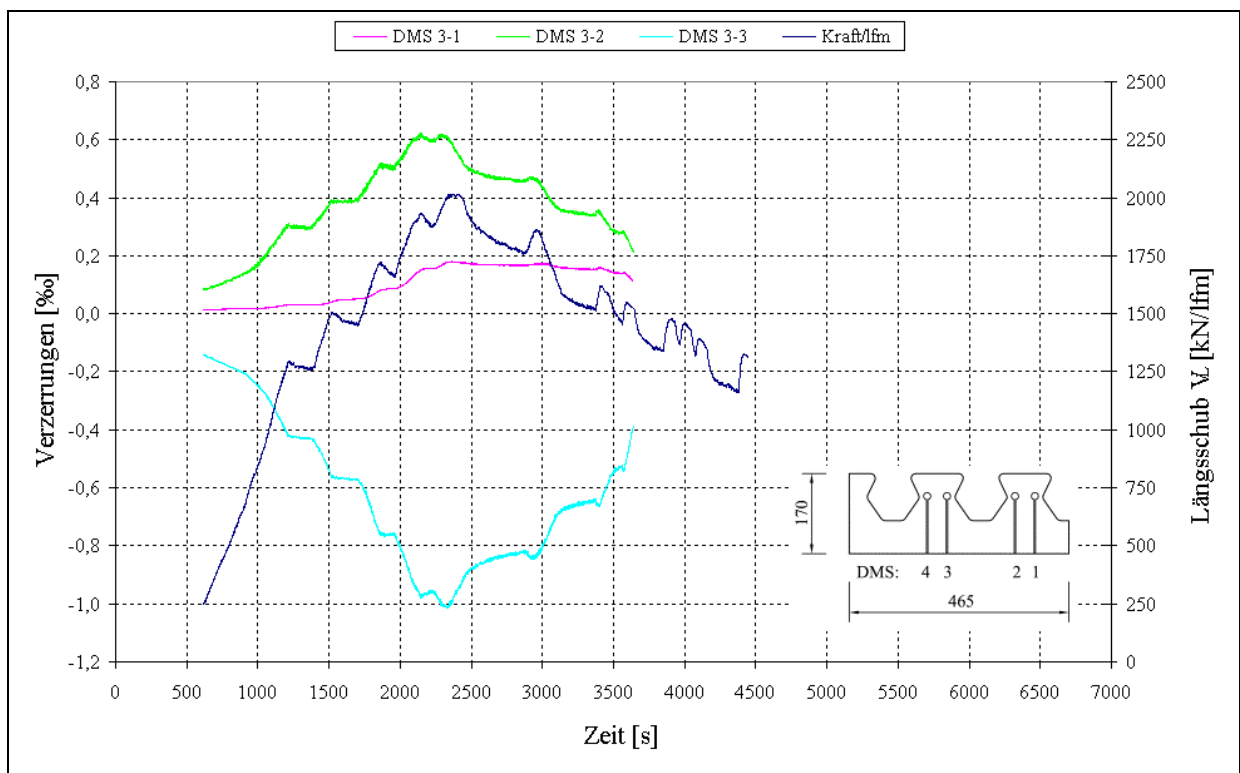


Abbildung 180: DMS 3 – Messwerte

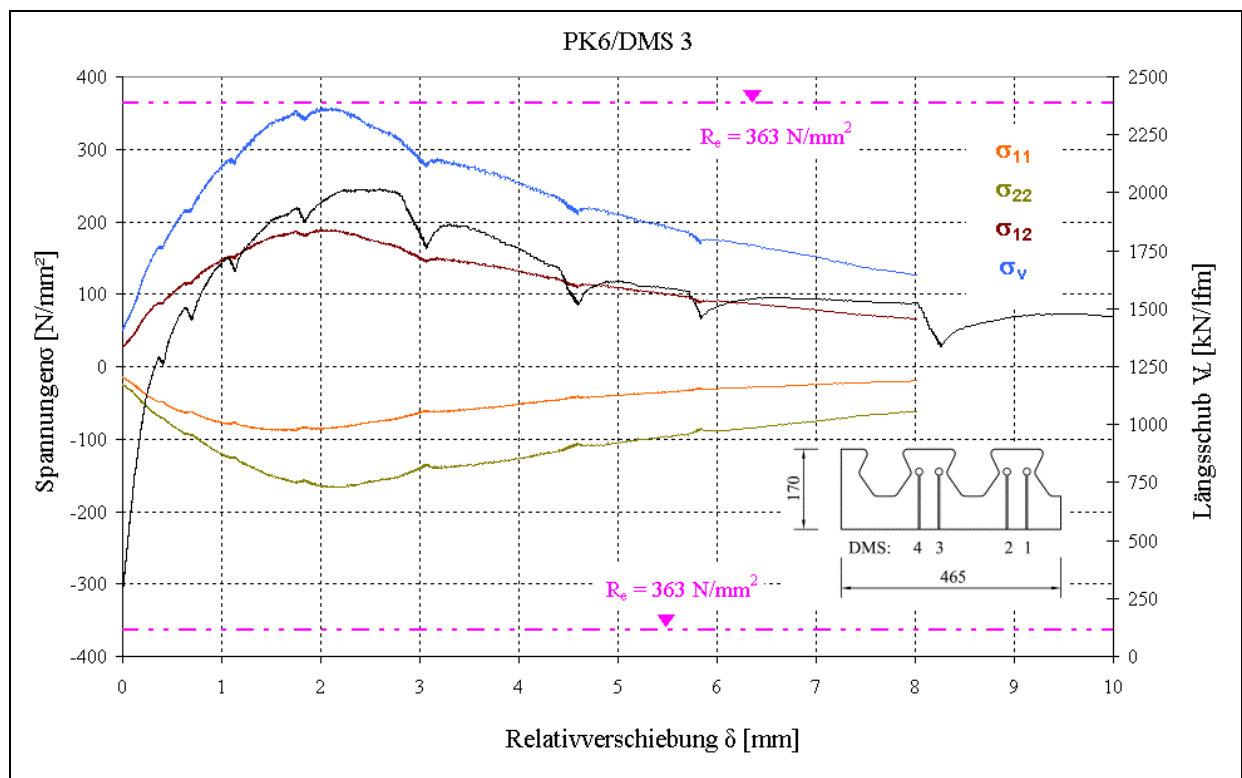


Abbildung 181: DMS 3 – Spannungen

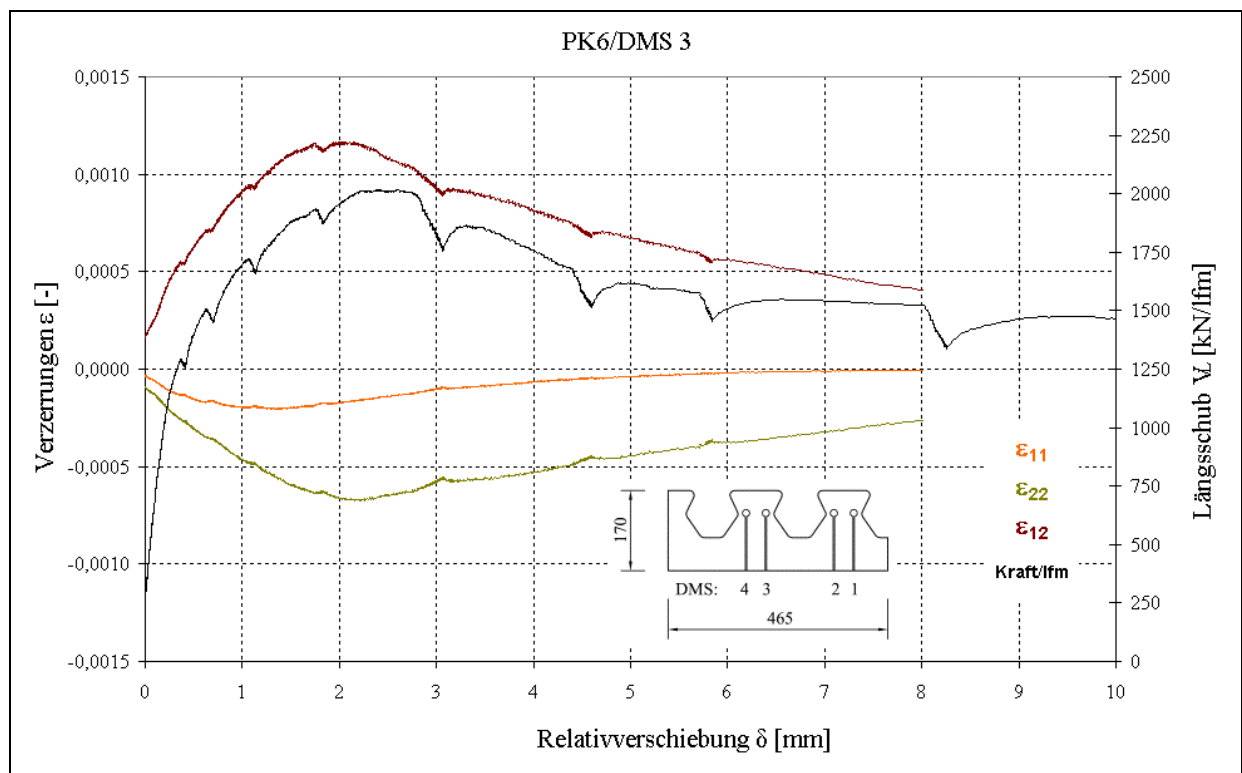
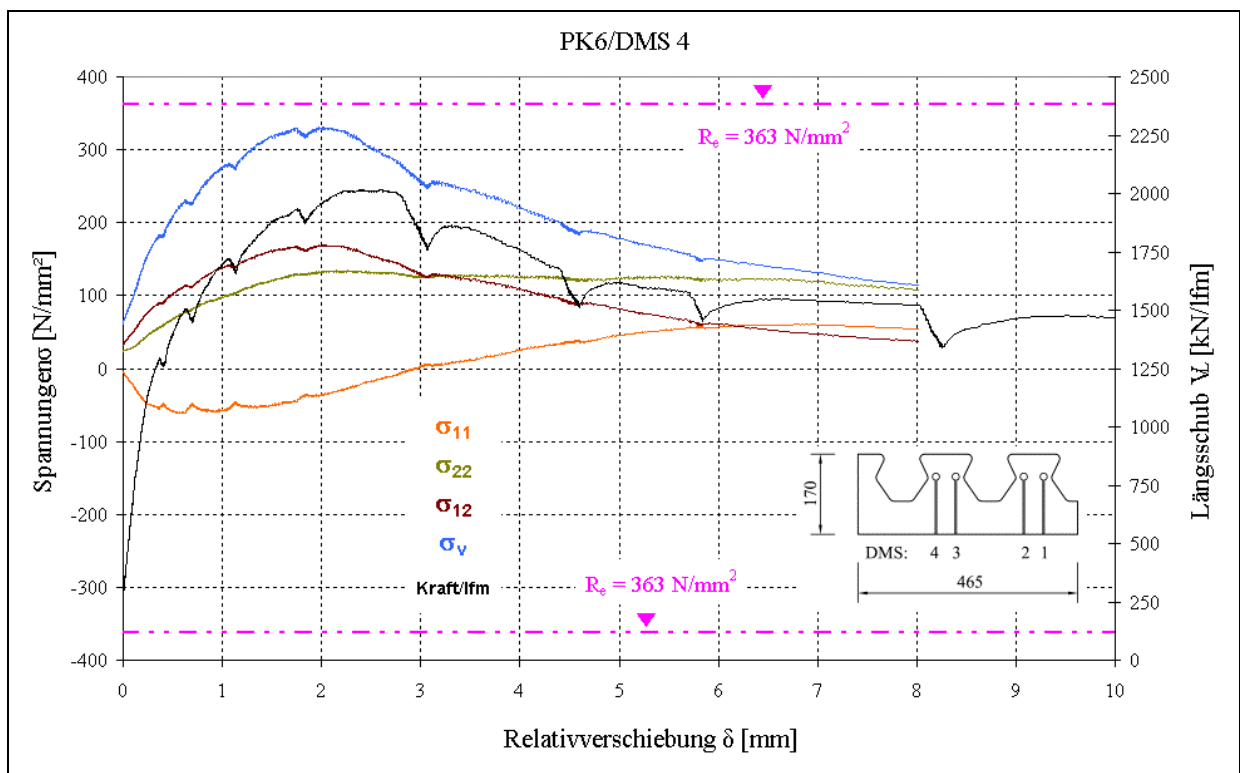
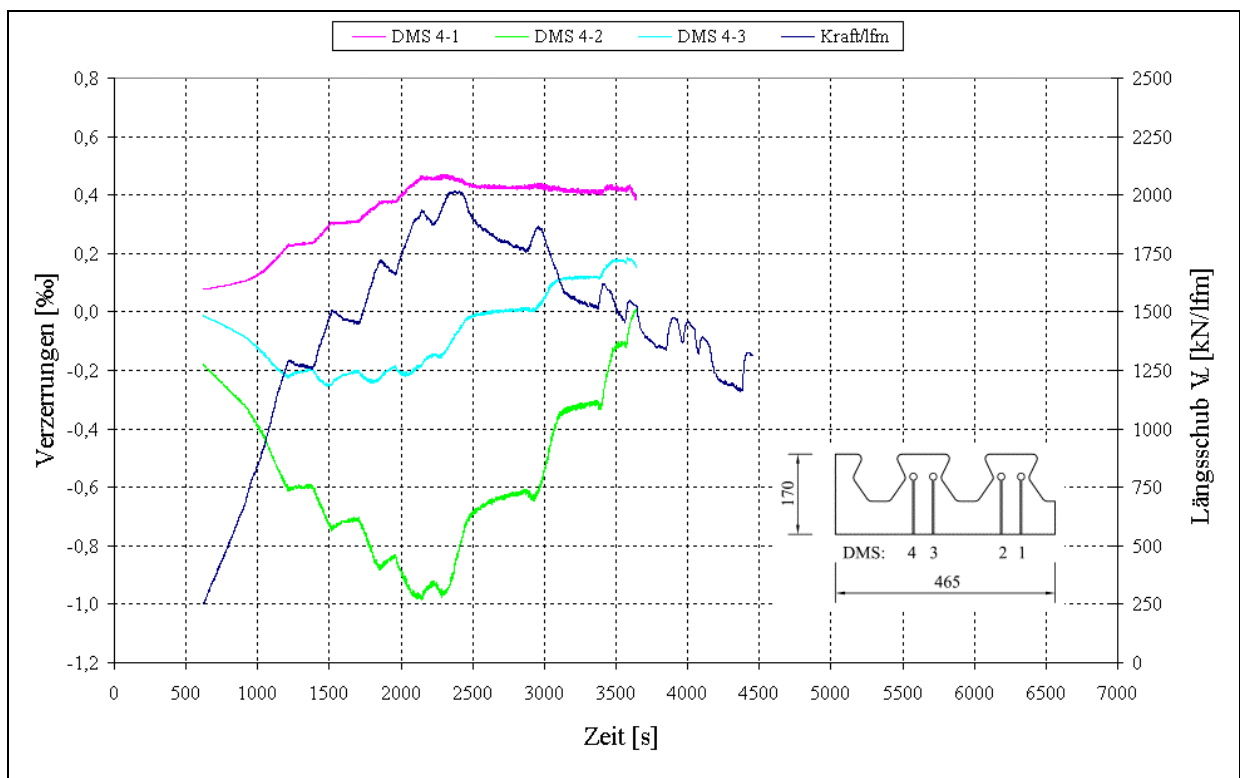


Abbildung 182: DMS 3 – Verzerrungen



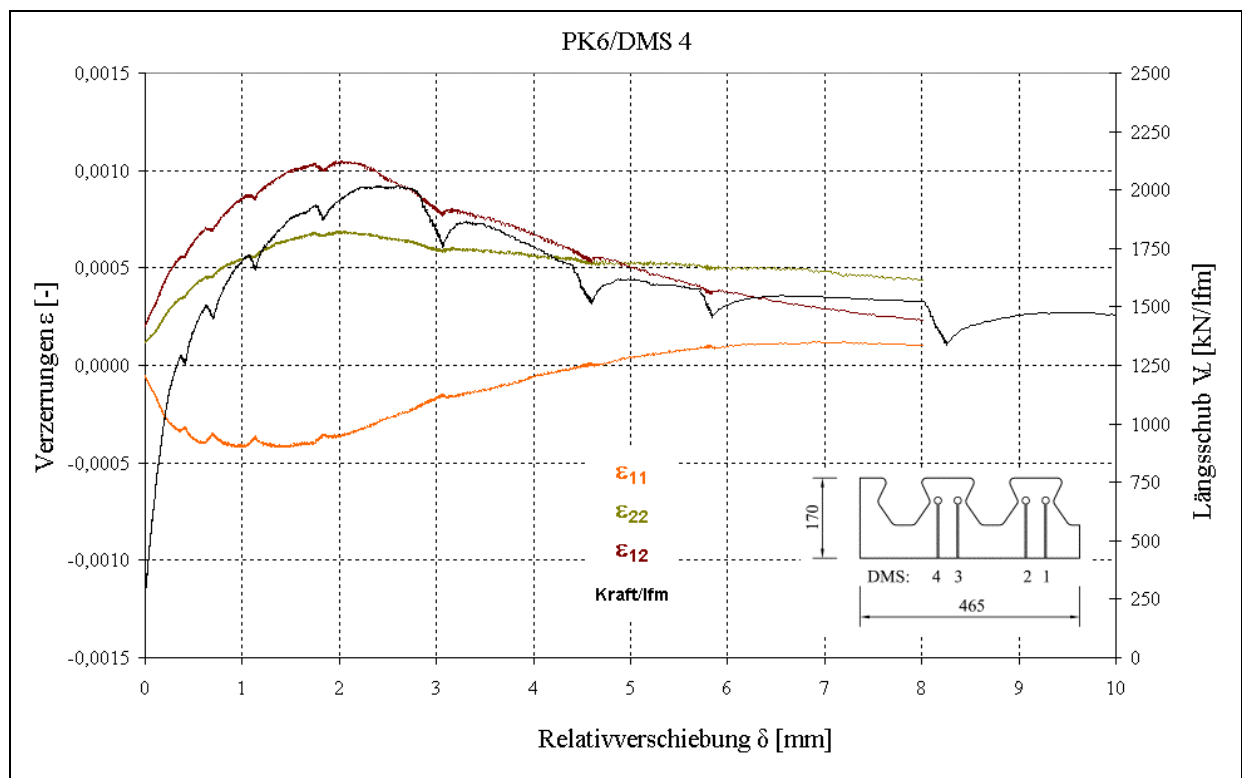


Abbildung 185: DMS 4 – Verzerrungen

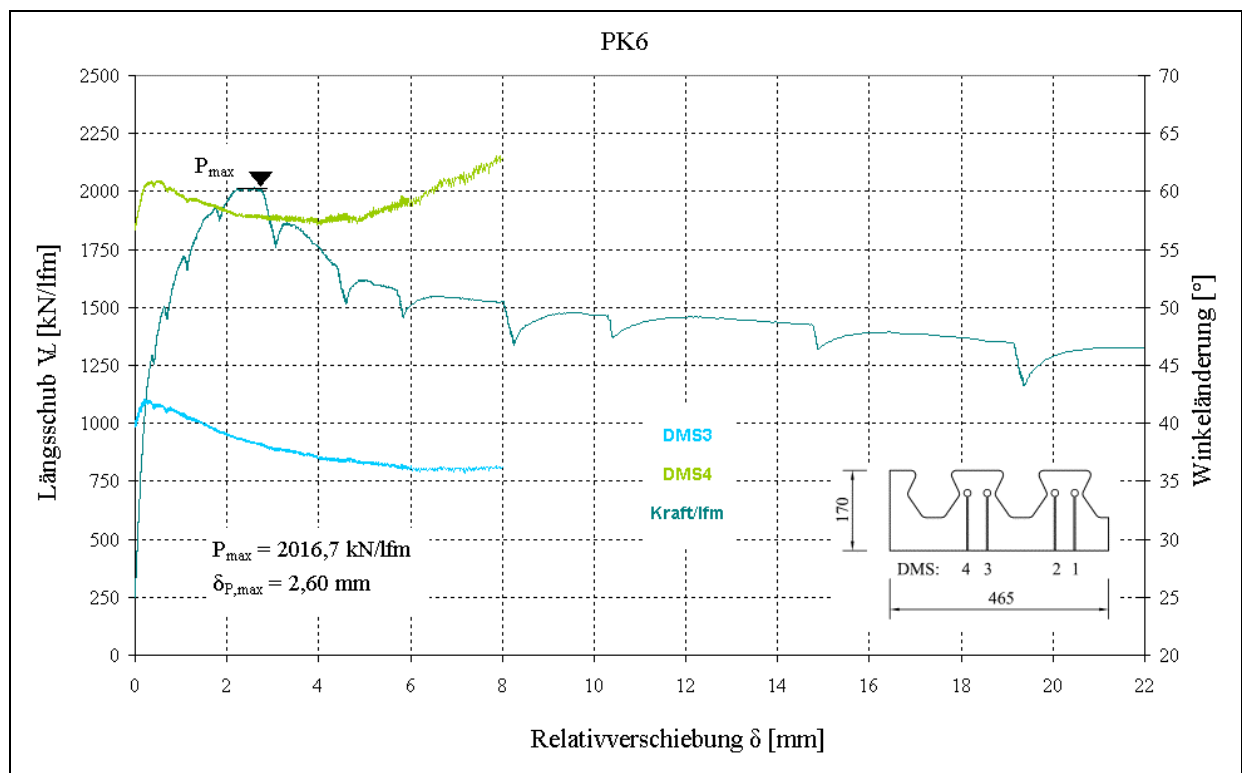


Abbildung 186: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen

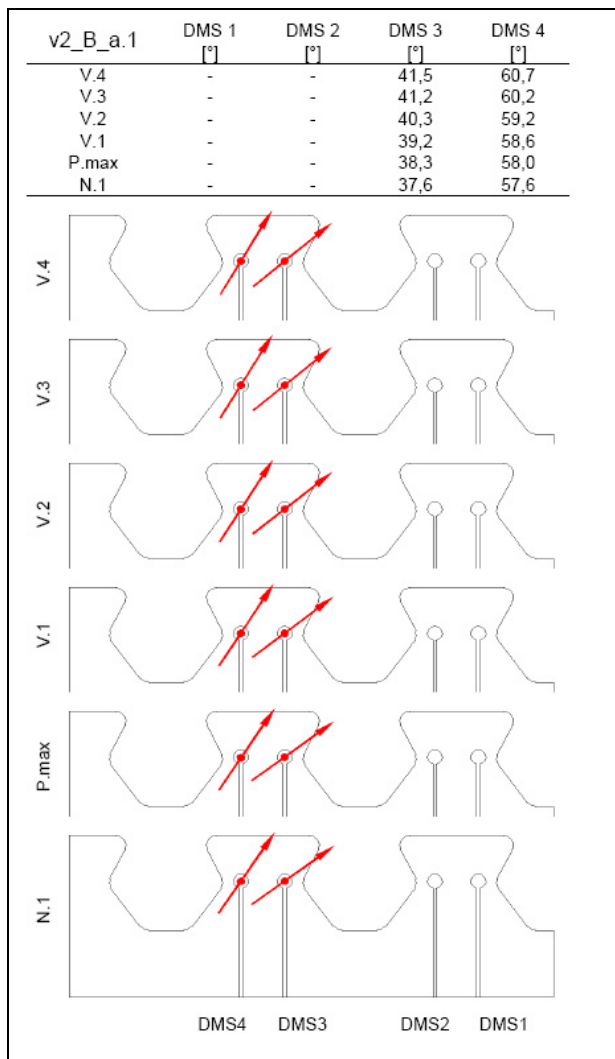
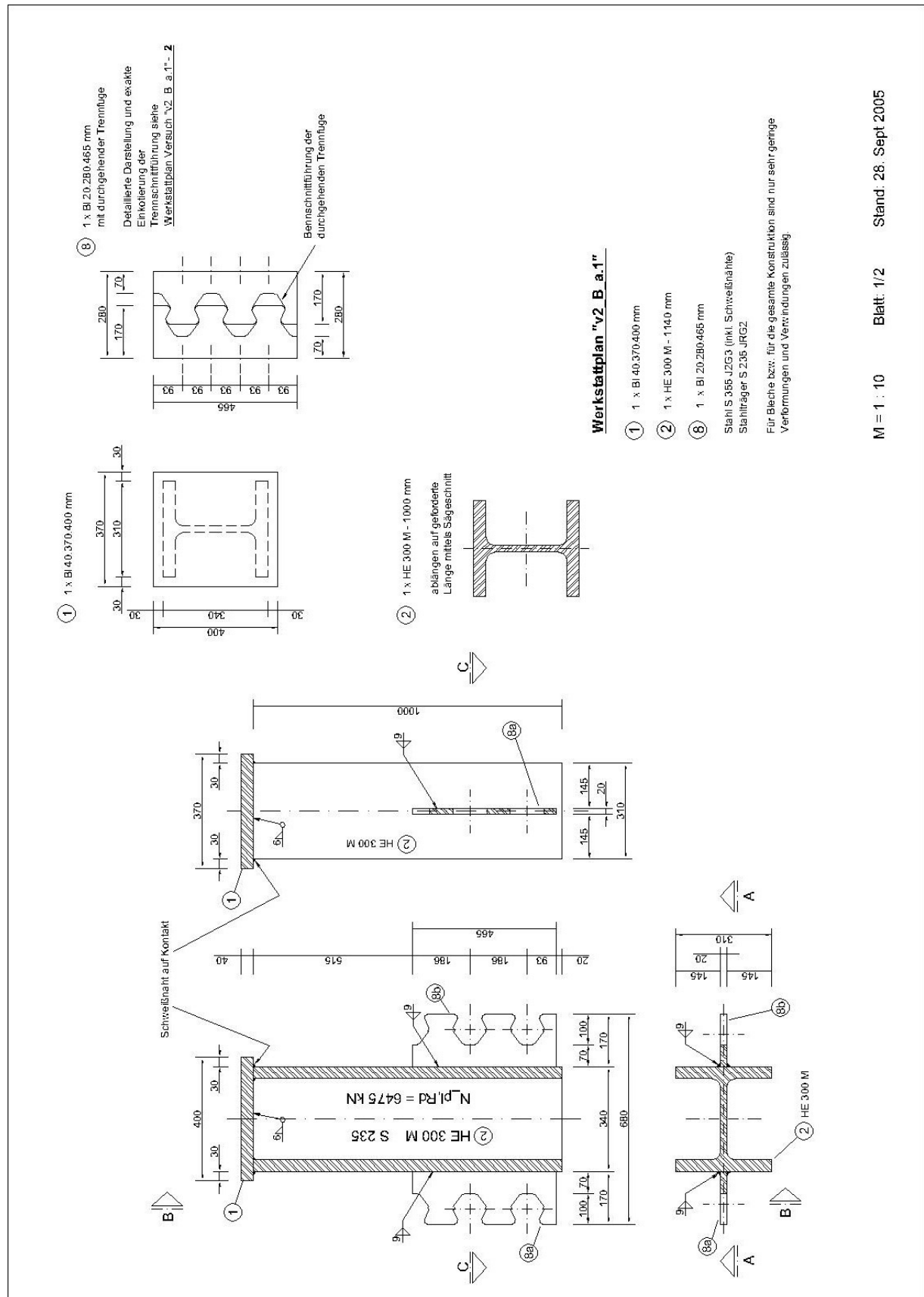
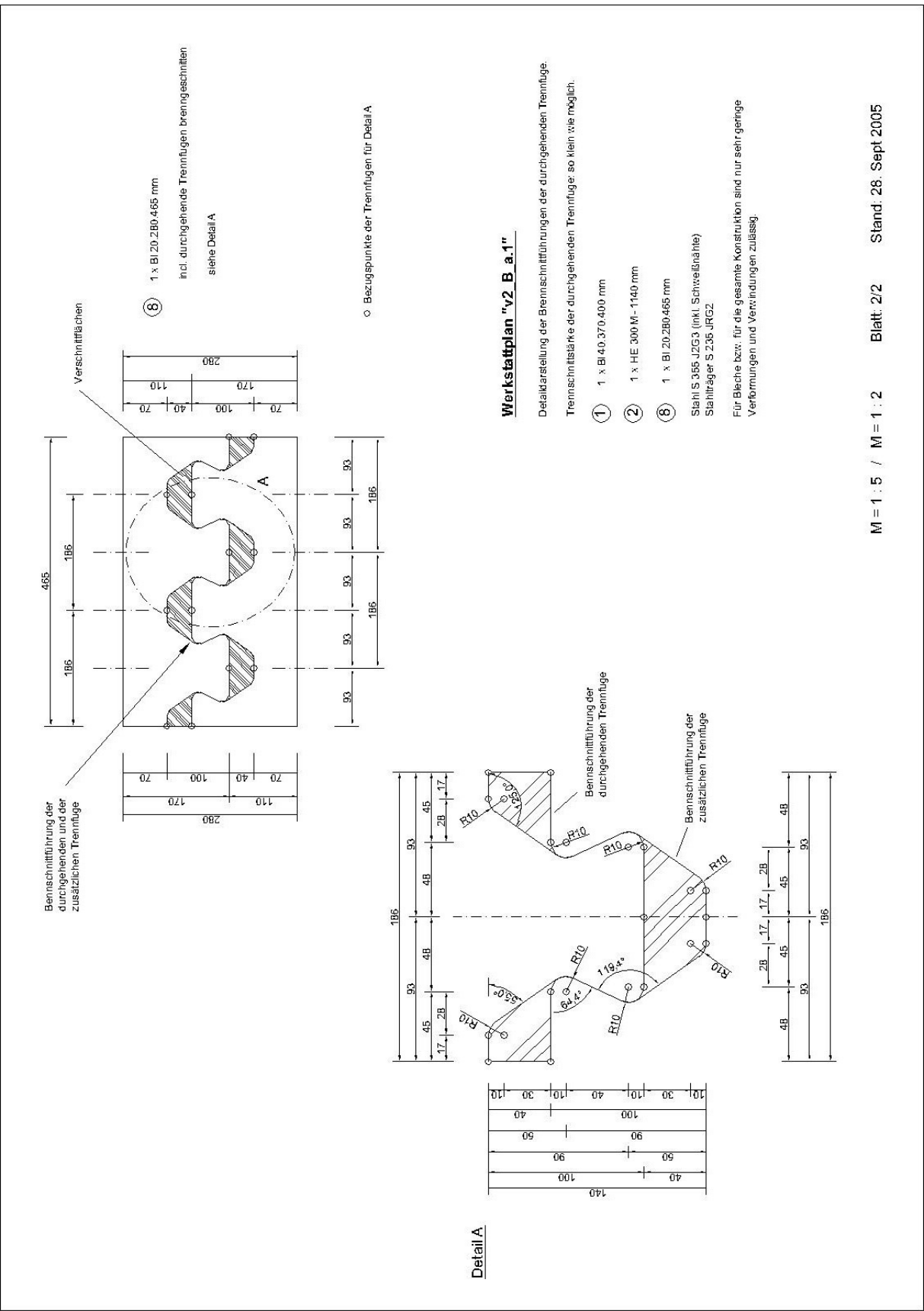


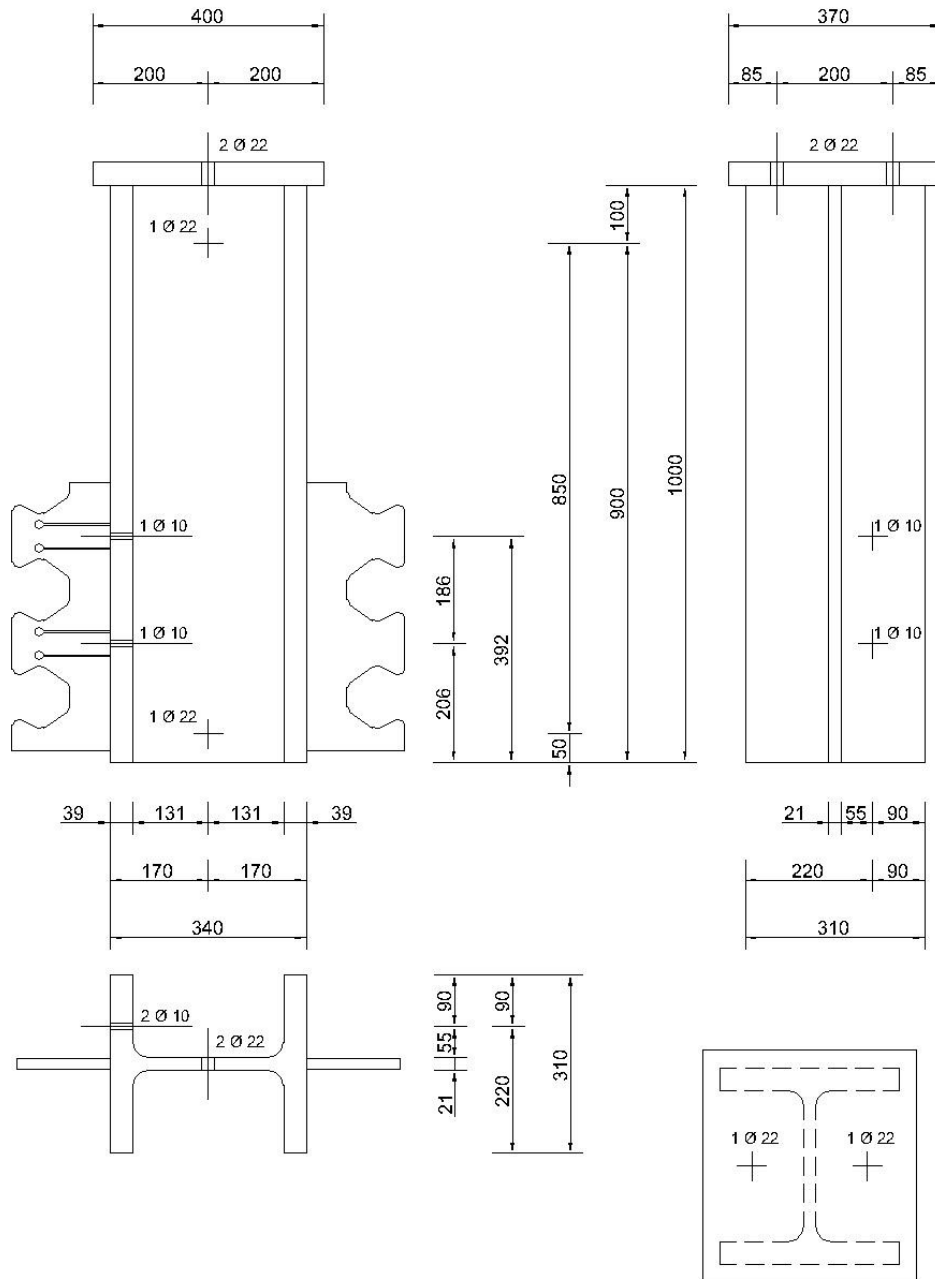
Abbildung 187: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus

5.1.6.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers





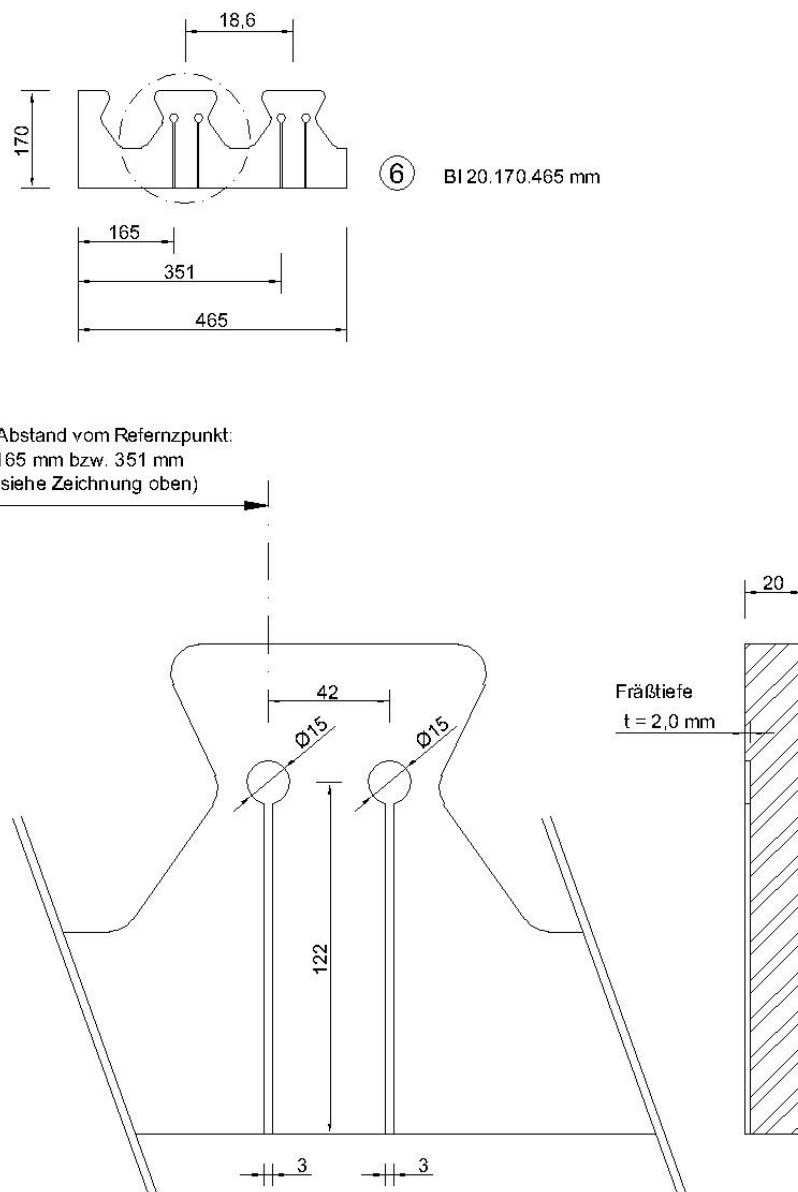
Bearbeitung Stahlbauteil "v2 B a.1"



M = 1 : 10

Blatt: 1/1

Stand: 1. Juni 2006



Fräßplan zur Blechbearbeitung Pos. 6

⑥ BI 20.170.465 mm

Stahl S 355 J2G3 (voraussichtlich!)

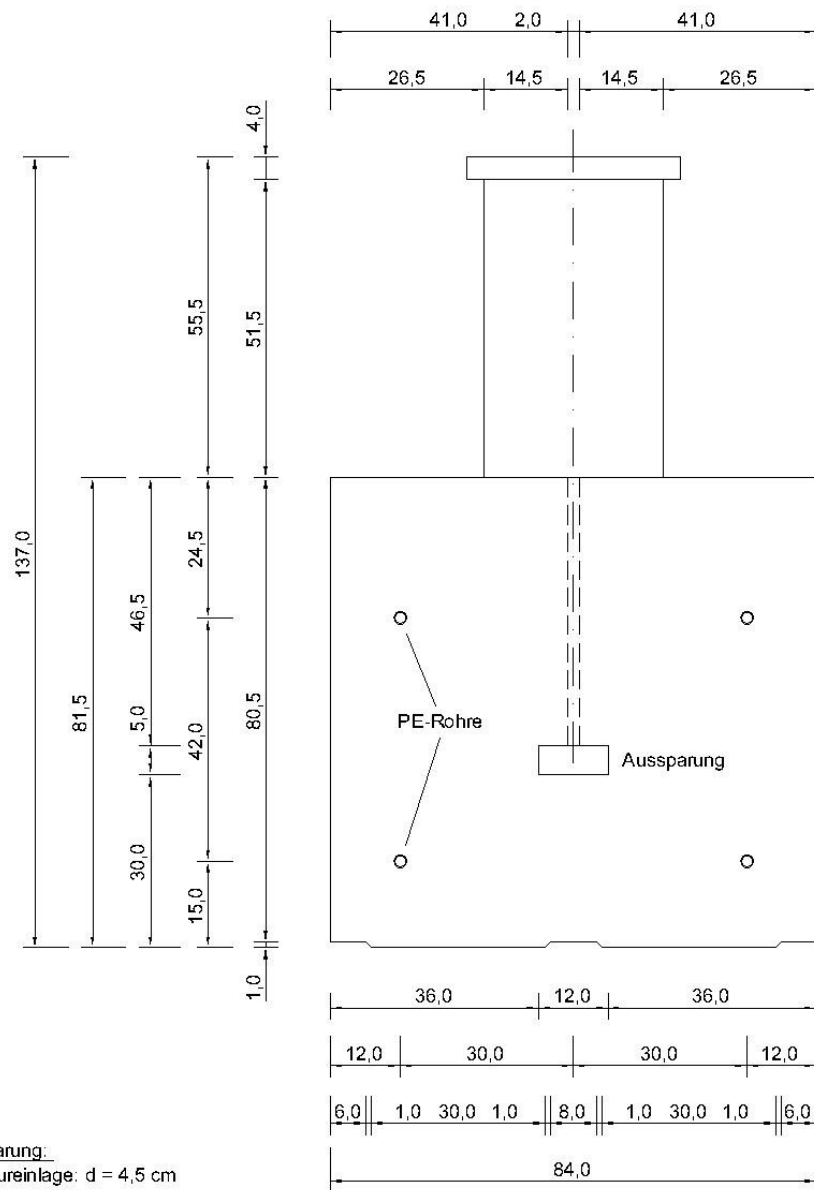
Darstellung Übersicht der Blechbearbeitung mit
zusätzlicher Detaildarstellung incl. Maße.
Fräßtiefe: 2,0 mm

M = 1 : 10 / 1 : 2
Blatt 6
Stand: 15. Juni 2005

Abbildung 188: Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_B_a.1

Schalungsplan "v2 B a.1"

Ansicht A - A



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

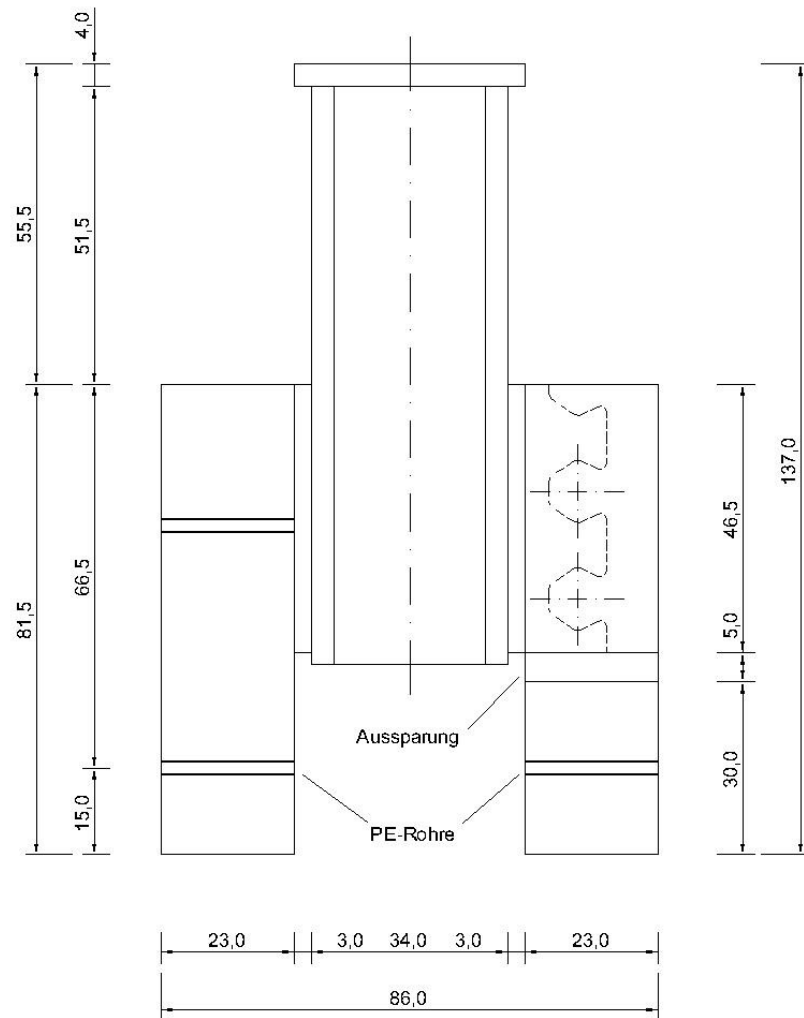
M = 1 : 10

Blatt: 1/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2 B a.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

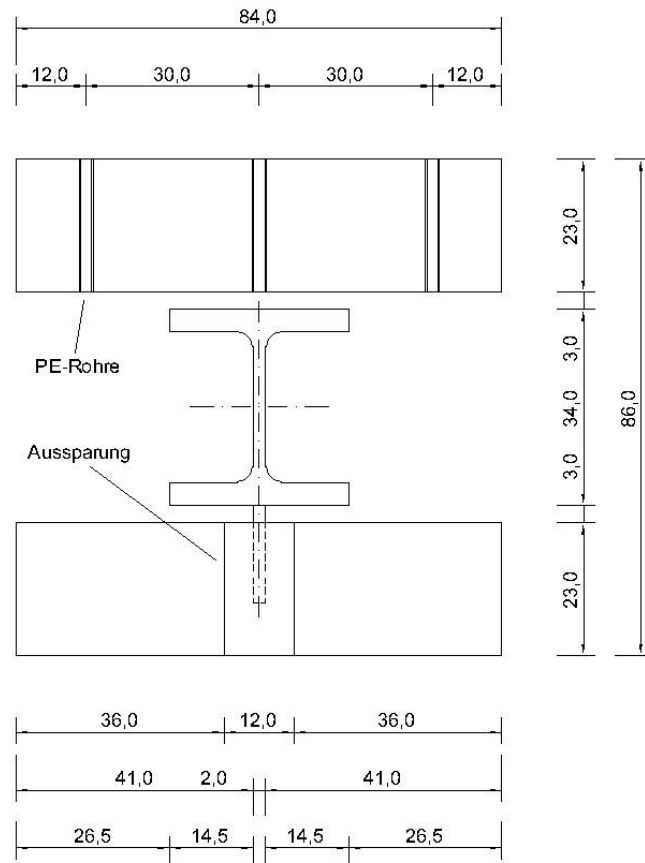
M = 1 : 10

Blatt: 2/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2 B a.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

M = 1 : 10

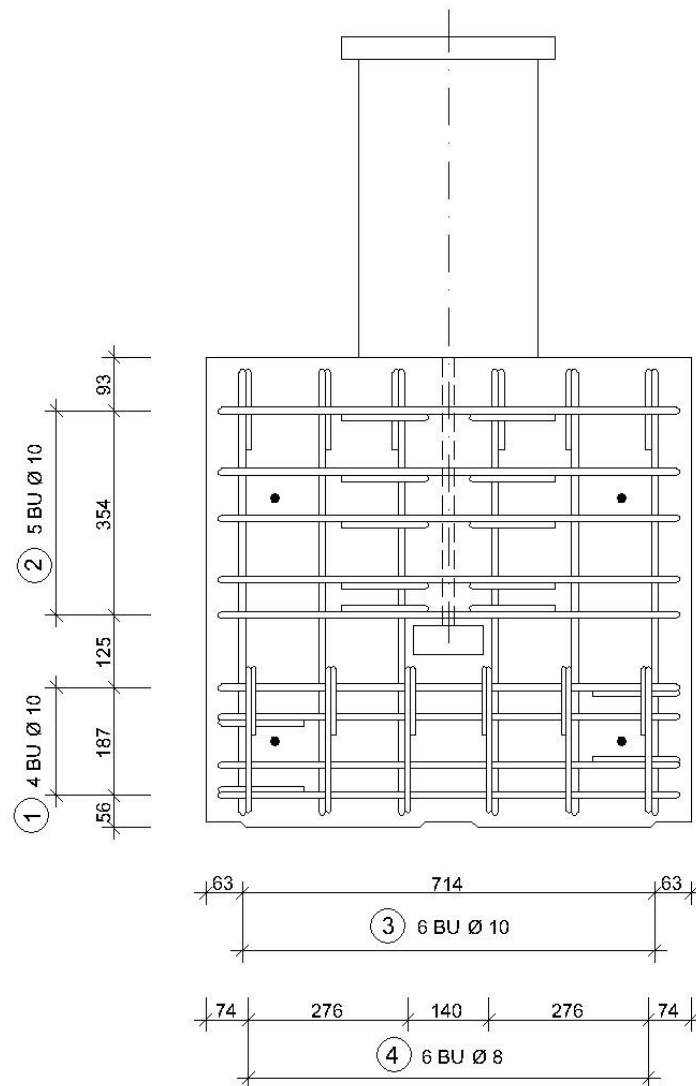
Blatt: 3/3

Stand: 1. Juni 2006

Abbildung 189: Schalpläne v2_B_a.1

Bewehrungsplan "v2_B a.1"

Ansicht A - A



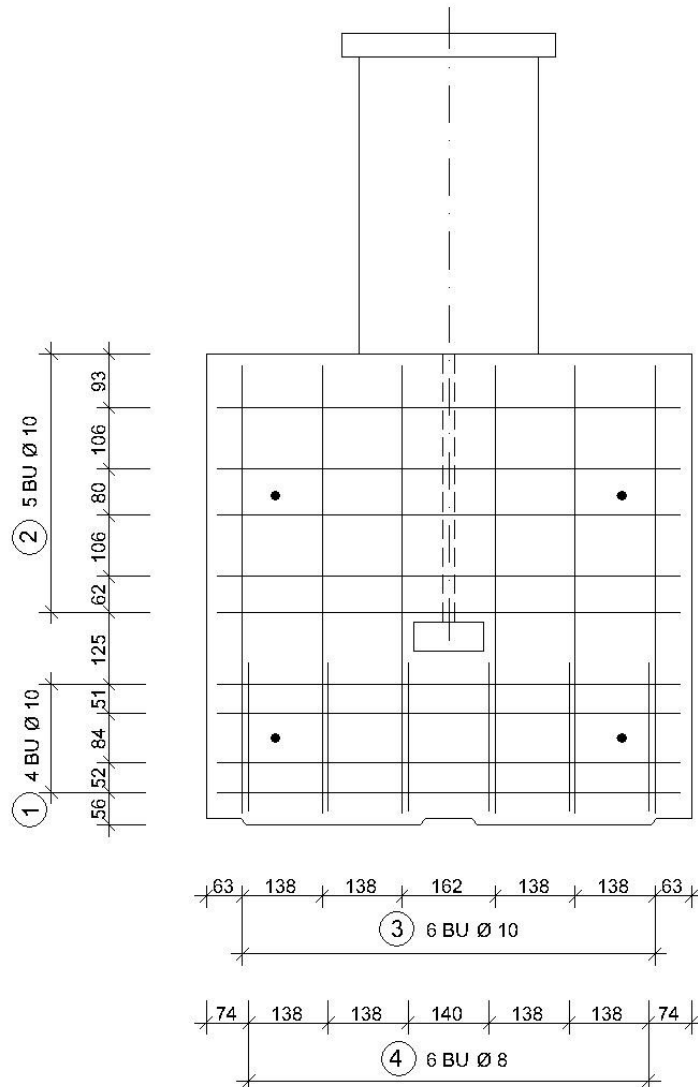
M = 1 : 10

Blatt: 1/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B a.1"

Ansicht A - A



Betondeckungen:

oben: 20 mm
rechts: 20 mm
links: 20 mm
unten: 20 mm

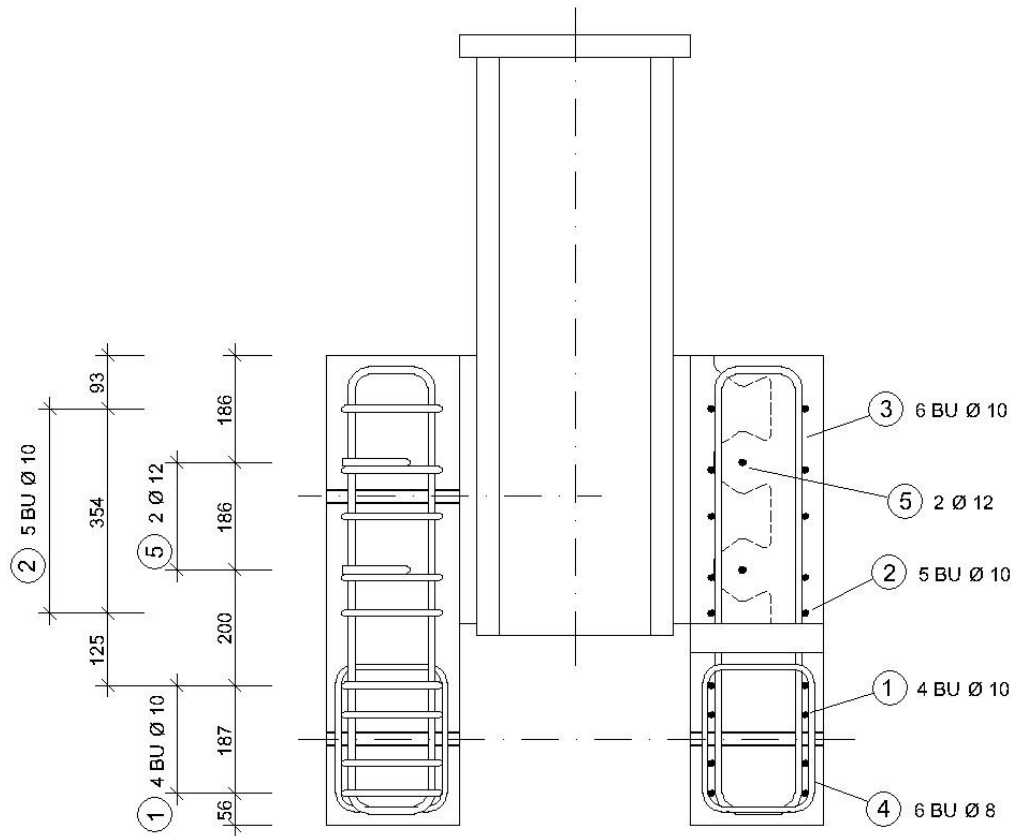
M = 1 : 10

Blatt: 2/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_a.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



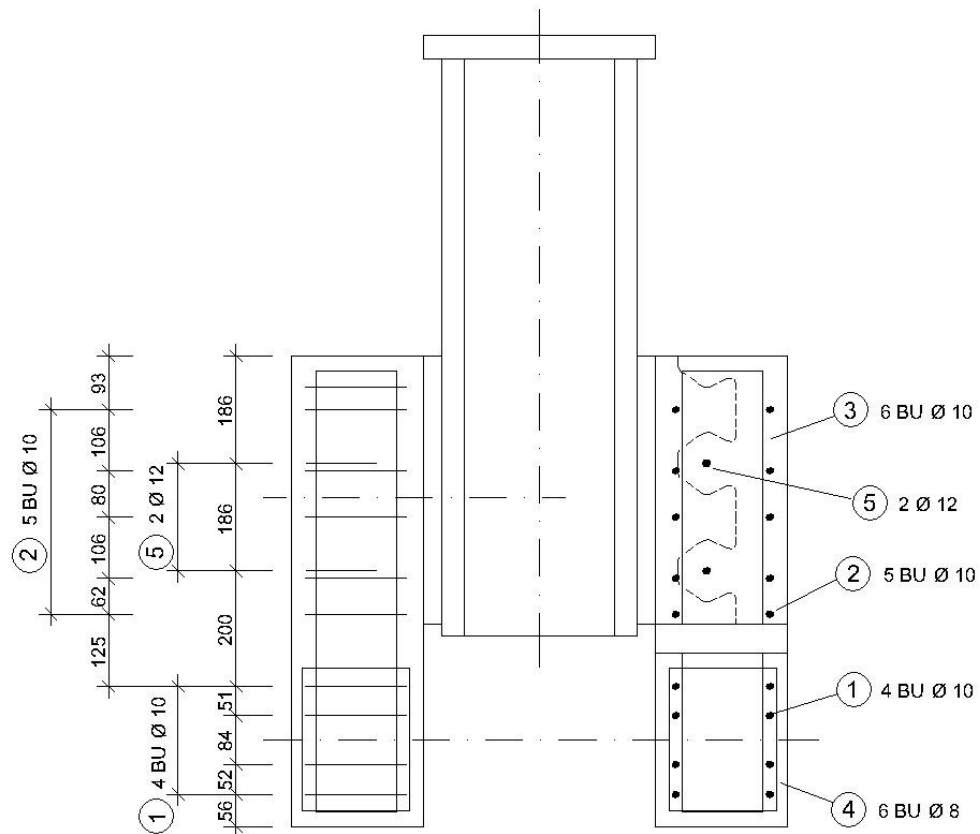
M = 1 : 10

Blatt: 3/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_a.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Betondeckungen:
oben innen: 30 mm
oben außen: 25 mm

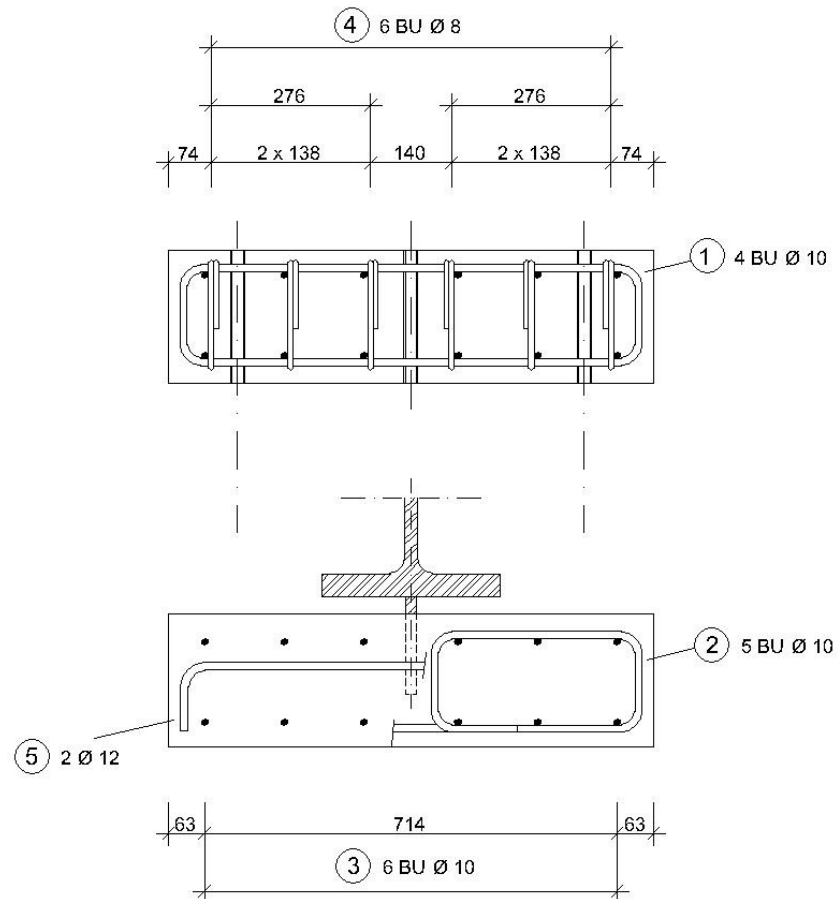
M = 1 : 10

Blatt: 4/7

Stand: 1. März 2006

Bewehrungsplan "v2_B_a.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



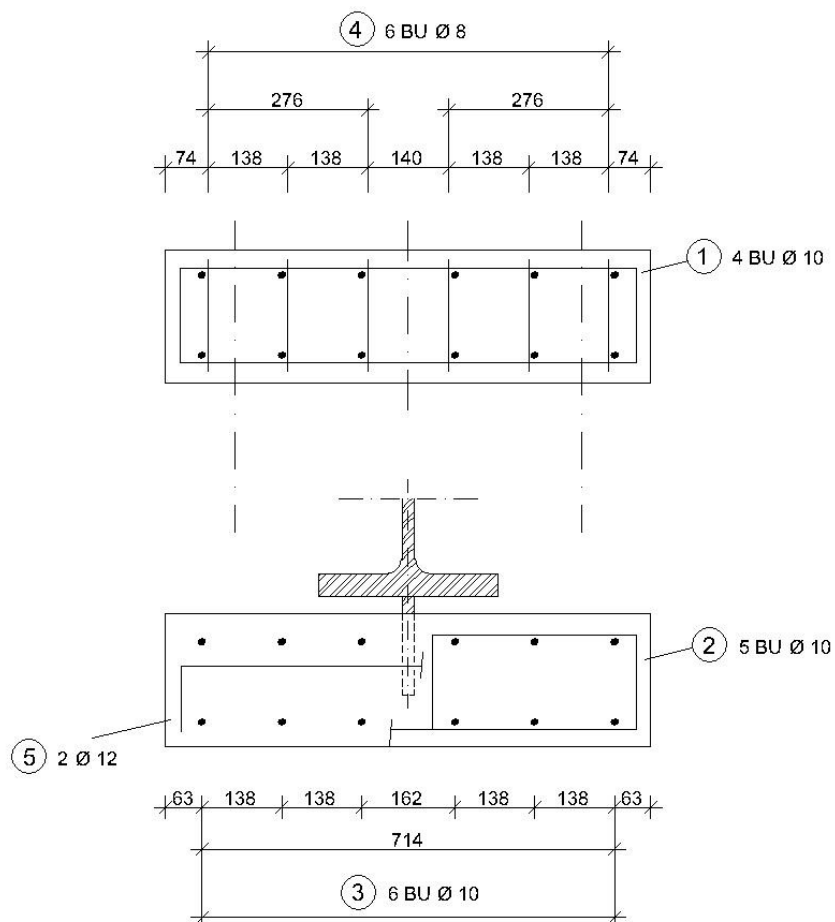
M = 1 : 10

Blatt: 5/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_a.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



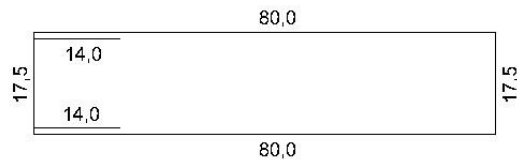
M = 1 : 10

Blatt: 6/7

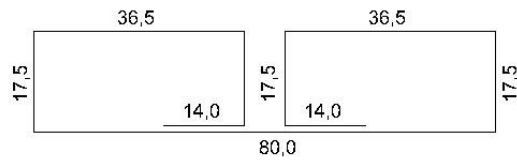
Stand: 1. März 2006

Bewehrungsplan "v2_B_a.1"

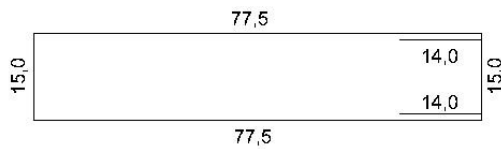
bemaßte Biegeformen



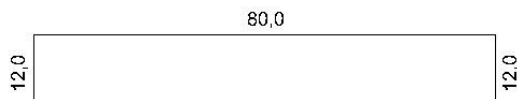
- ① $2 \times 4 = 8 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 223,0 \text{ cm} - 1,38 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 17,84 \text{ m} - 11,0 \text{ kg}$



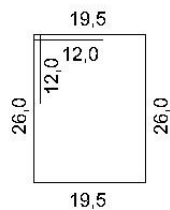
- ② $2 \times 5 = 10 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 251,0 \text{ cm} - 1,55 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 25,1 \text{ m} - 15,5 \text{ kg}$



- ③ $2 \times 6 = 12 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 213,0 \text{ cm} - 1,31 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 25,6 \text{ m} - 15,8 \text{ kg}$



- ⑤ $2 \times 2 = 4 \varnothing 12$
 $l_g = 104,0 \text{ cm} - 0,92 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 4,2 \text{ m} - 3,7 \text{ kg}$



- ④ $2 \times 6 = 12 \text{ BU } \varnothing 8$
 $l_g = 115,0 \text{ cm} - 0,45 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 13,8 \text{ m} - 5,5 \text{ kg}$

M = 1 : 10

Blatt: 7/7

Stand: 1. März 2006

Abbildung 190: Bewehrungspläne v2_B_a.1

5.1.7. Versuchsdatenblatt v2_B_b.1 (PK7)

5.1.7.1. Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation

Nach dem Ausschalen wurden Kiesnester am lastfernen Ende der Betonplatten erkennbar. Dies ist auf eine ungenügende Verdichtungsarbeit während des Betoniervorgangs zurückzuführen. Trotzdem wurde eine planparallele Ausrichtung der späteren Kontaktflächen zur Druckplatte des großen Prüfrahmens und zur lastnahen Kopfplatte des Stahlträgers erreicht.

Das Einheben und der Einbau in den großen Prüfrahmen führten zu keinerlei Beeinträchtigungen des Push-Out-Versuchskörpers zum Beispiel durch Anschlagen. Die Druckplatten des großen Prüfrahmens konnten so ausgerichtet werden, dass beide satt am Push-Out-Versuchskörper anlagen.

5.1.7.2. Beschreibung des Versuchsablaufs

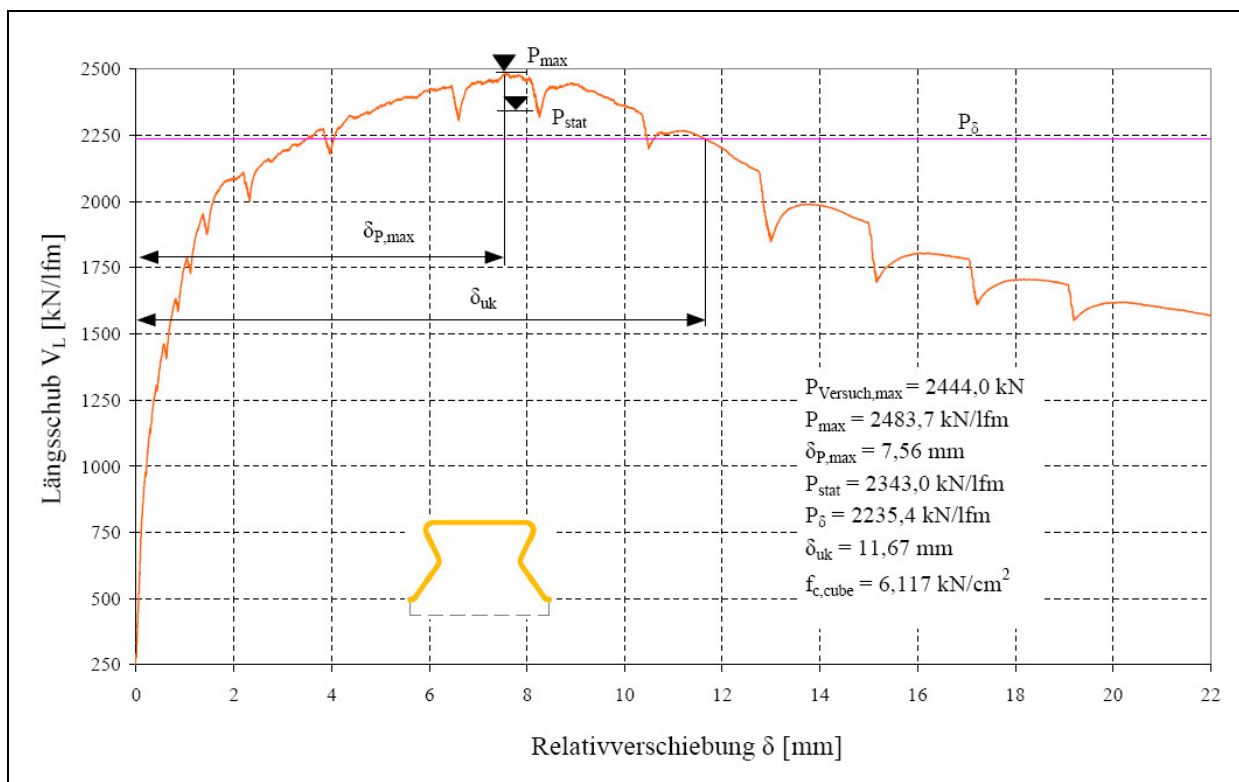


Abbildung 191: Dübelkennlinie v2_B_b.1

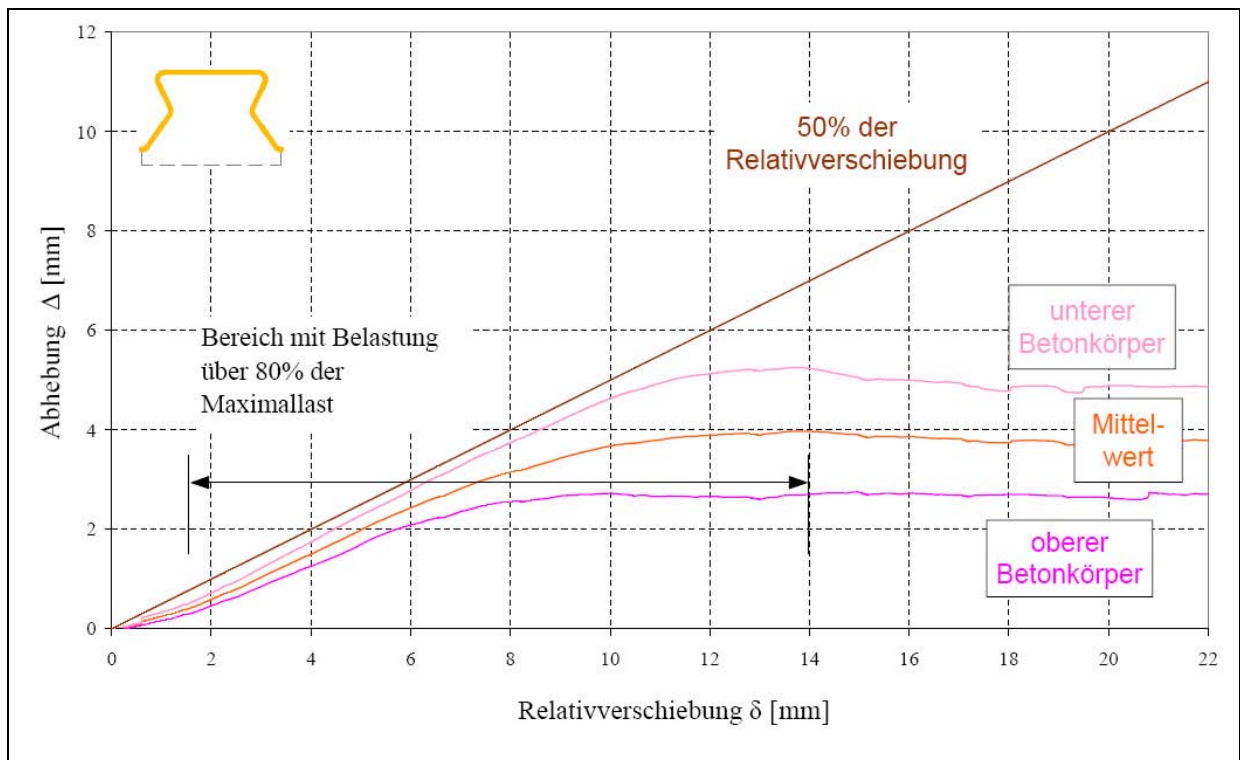


Abbildung 192: Abhebekennlinie v2_B_b.1

5.1.7.3. Beschreibung des Betonkörpers

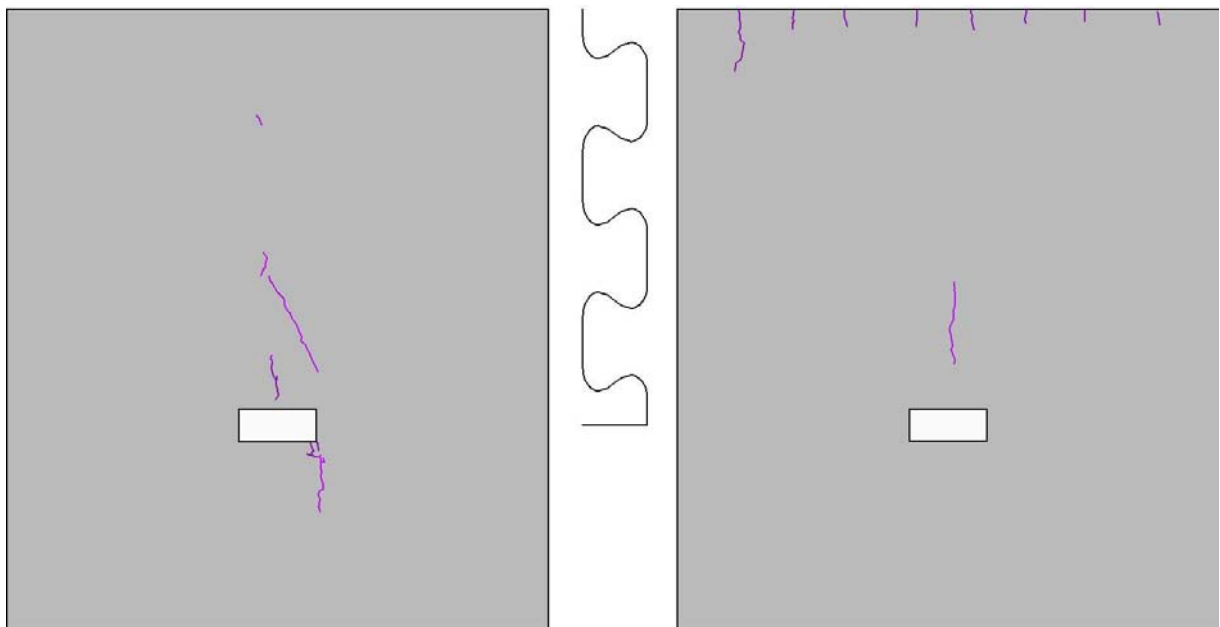


Abbildung 193: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_b.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

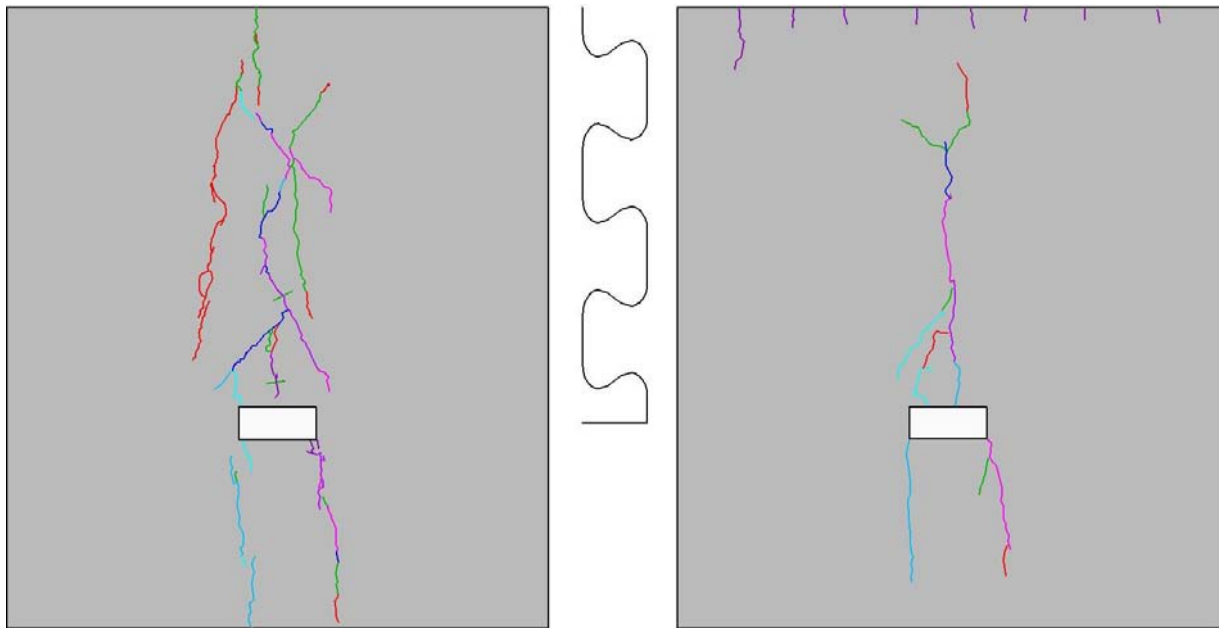


Abbildung 194: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_b.1 bei Erreichen von P_{max} . Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

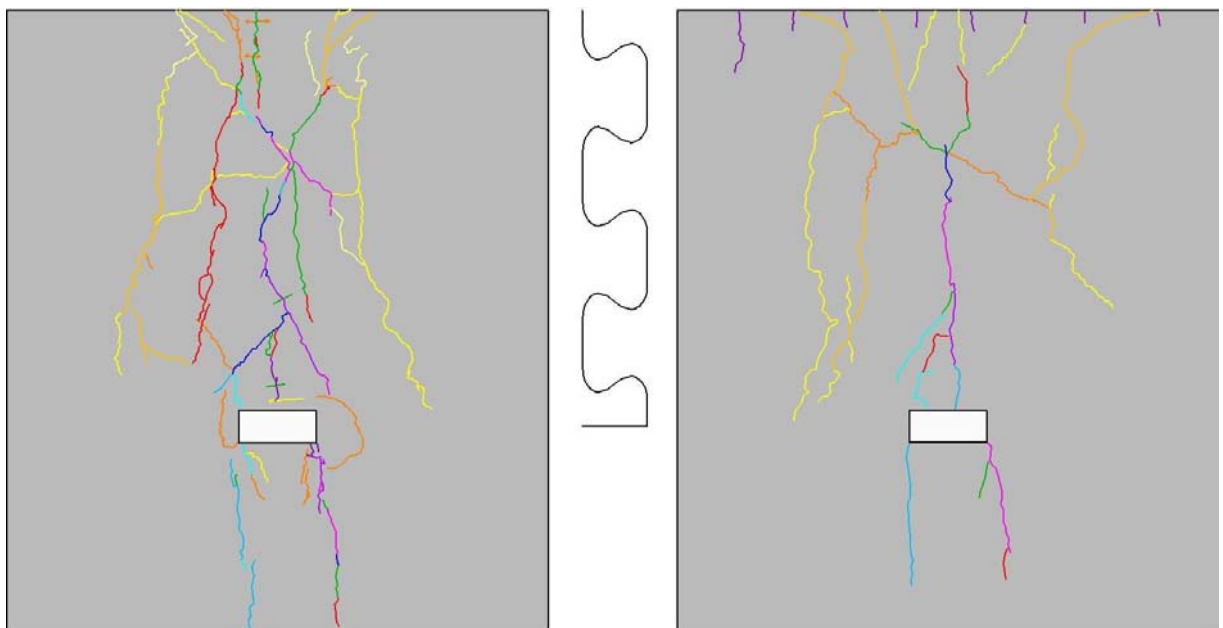


Abbildung 195: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_b.1 bei Versuchende. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

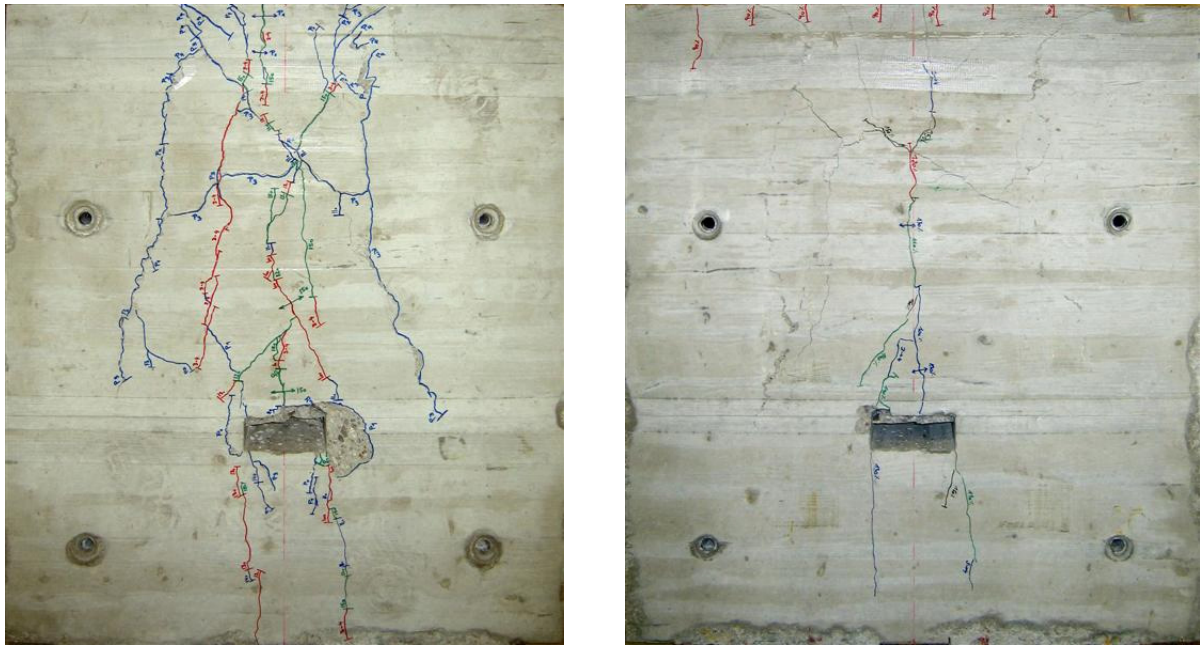


Abbildung 196: Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_B_b.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.

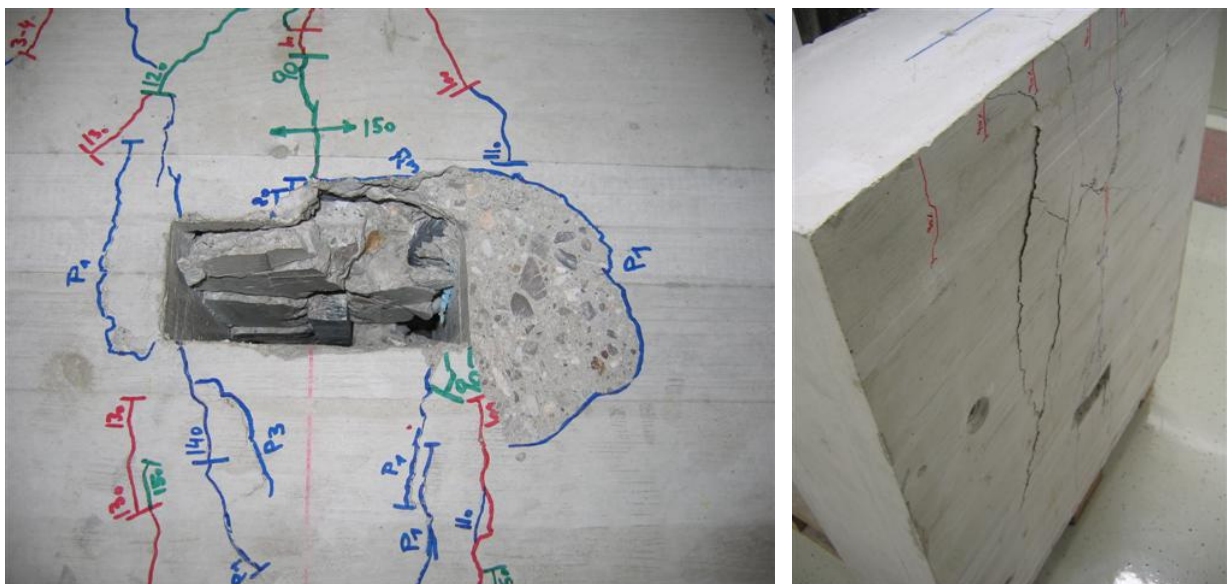


Abbildung 197: ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)

5.1.7.4. Beschreibung des Dübelblechs

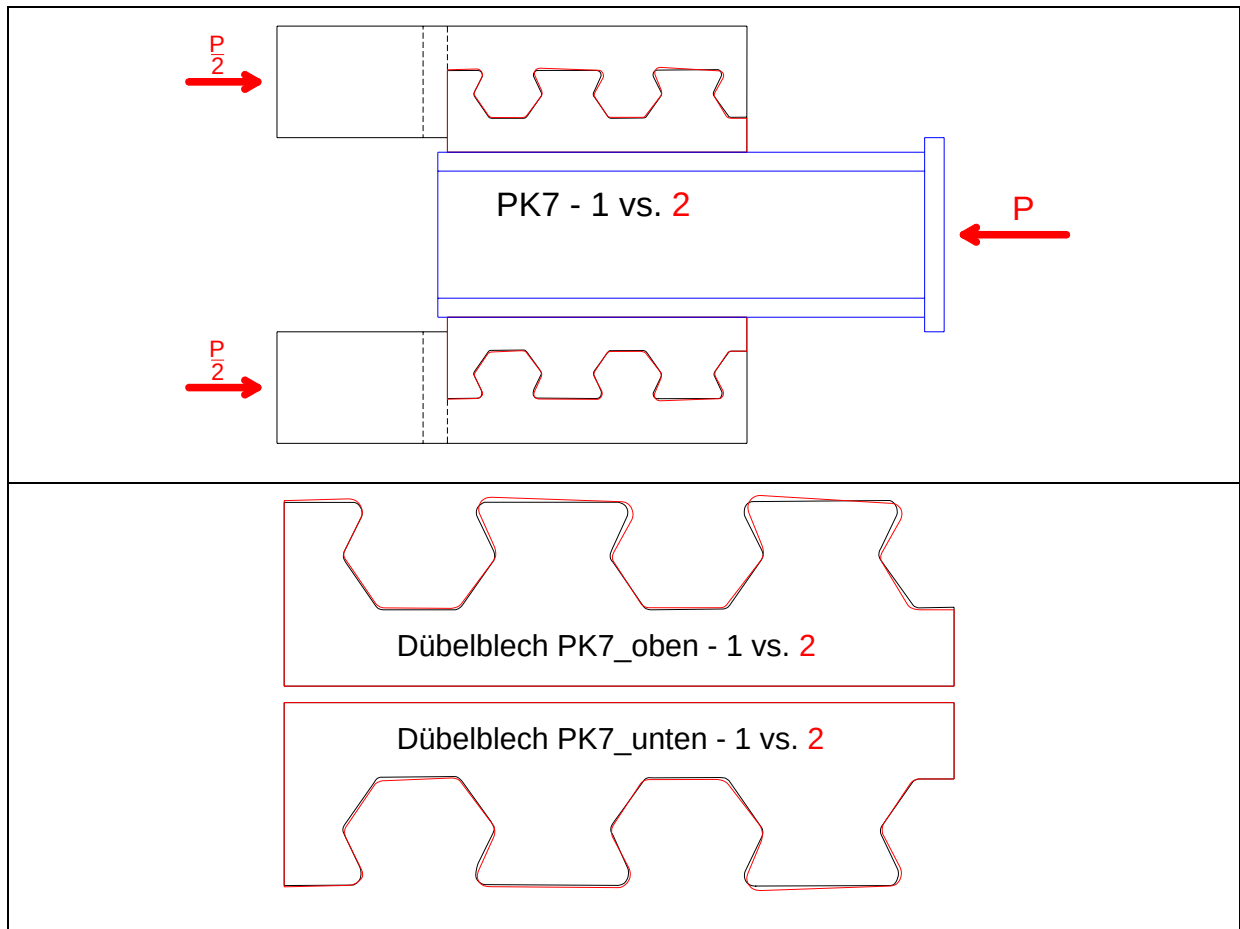


Abbildung 198: Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch

5.1.7.5. DMS-Auswertung

Bei diesem Push-Out-Versuchskörper lieferten insgesamt zwei DMS-Rosetten brauchbare Messwerte. Es handelt sich dabei um DMS 1 und DMS 4. Allerdings können die Werte von DMS 1 nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 1 mm und die von DMS 4 nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 2,1 mm zur Auswertung herangezogen werden.

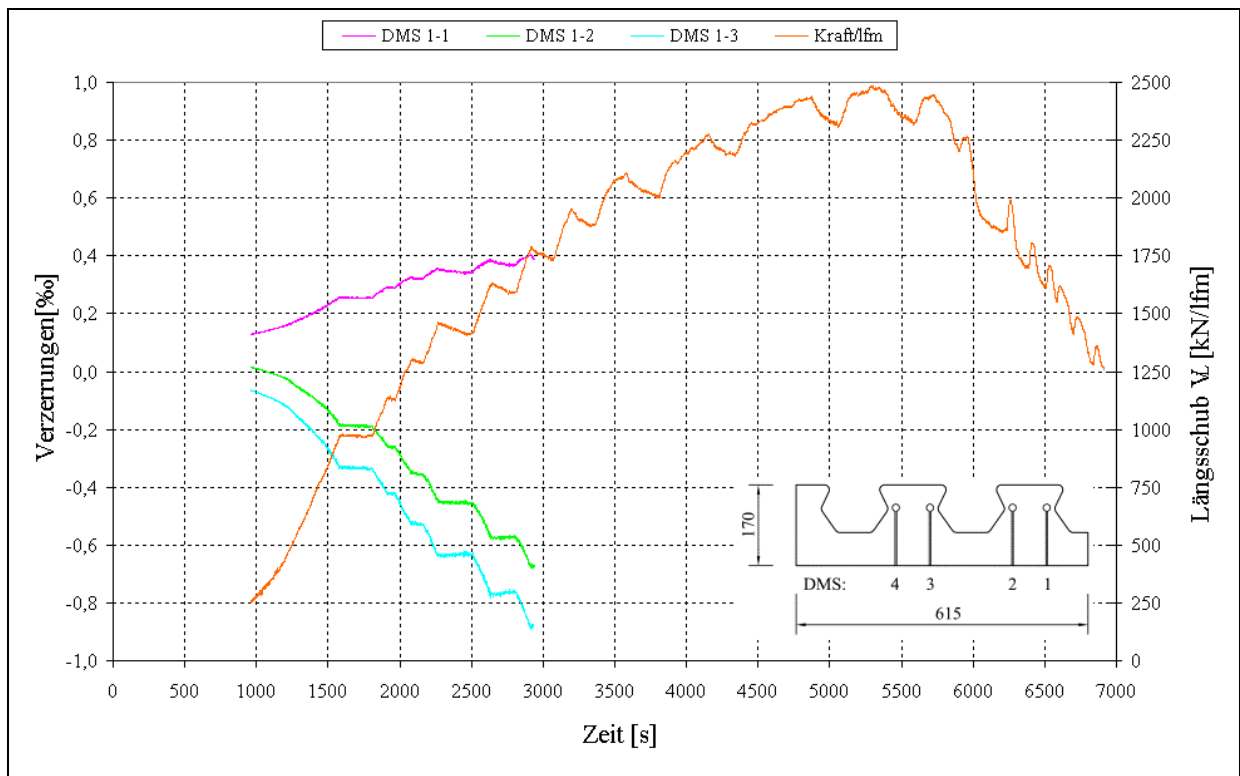


Abbildung 199: DMS 1 – Messwerte

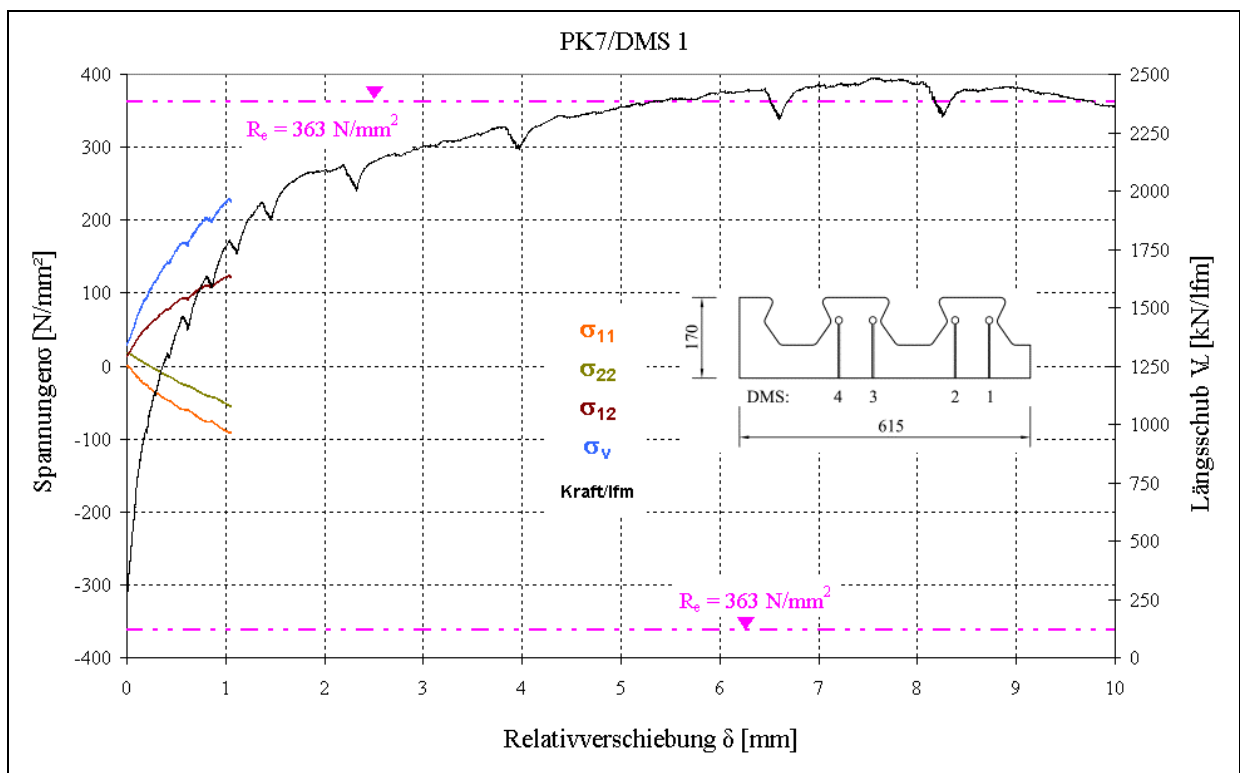


Abbildung 200: DMS 1 – Spannungen

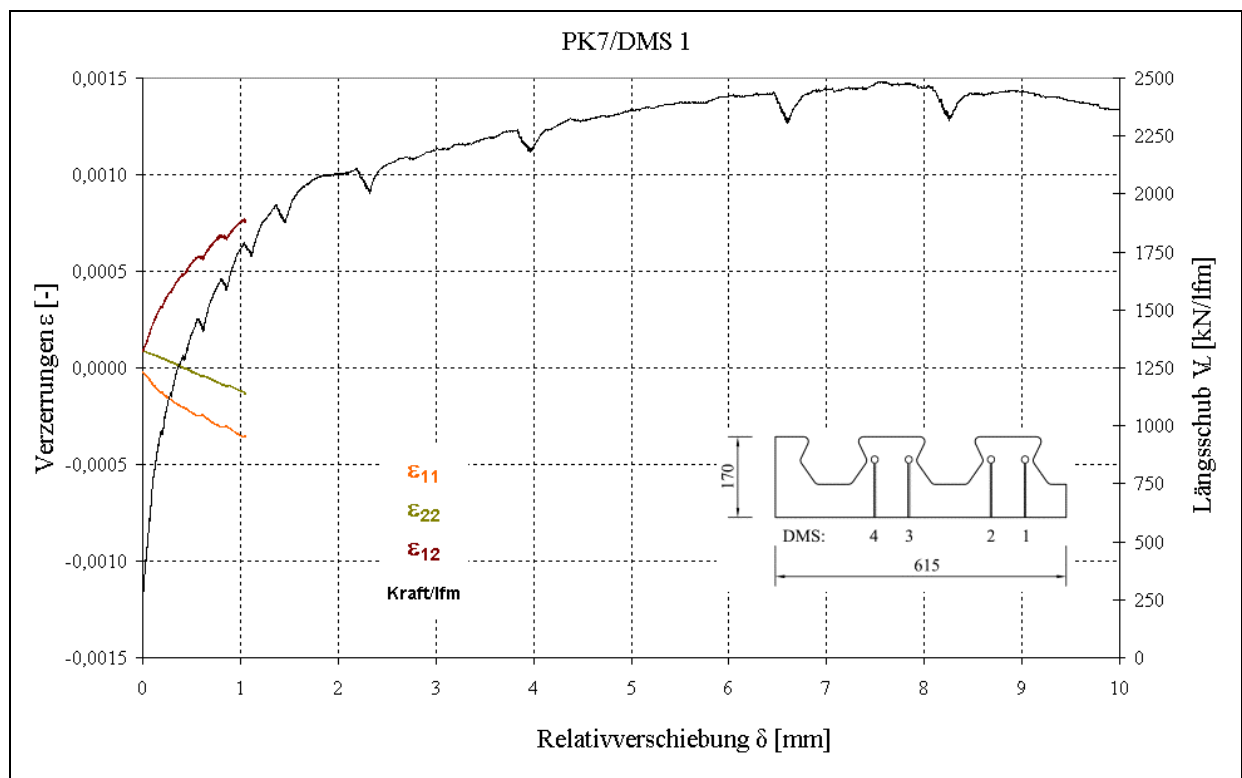


Abbildung 201: DMS 1 – Verzerrungen

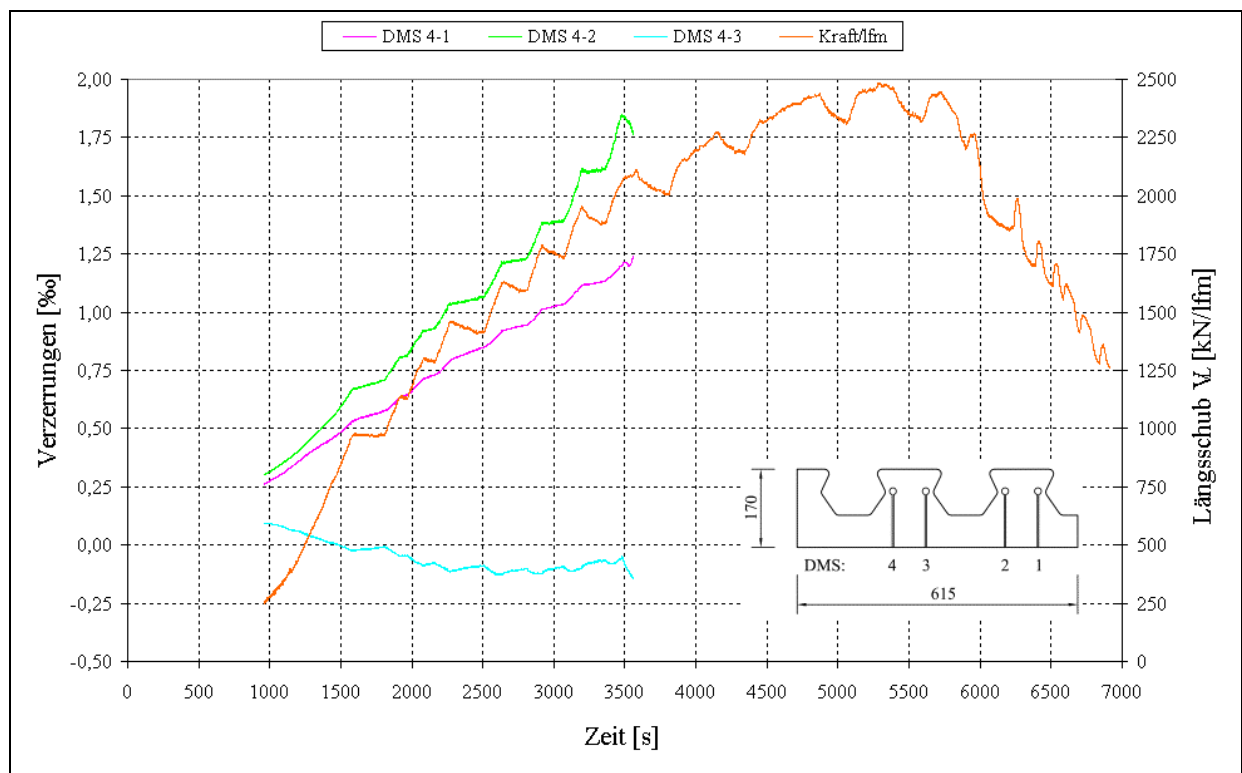


Abbildung 202: DMS 4 – Messwerte

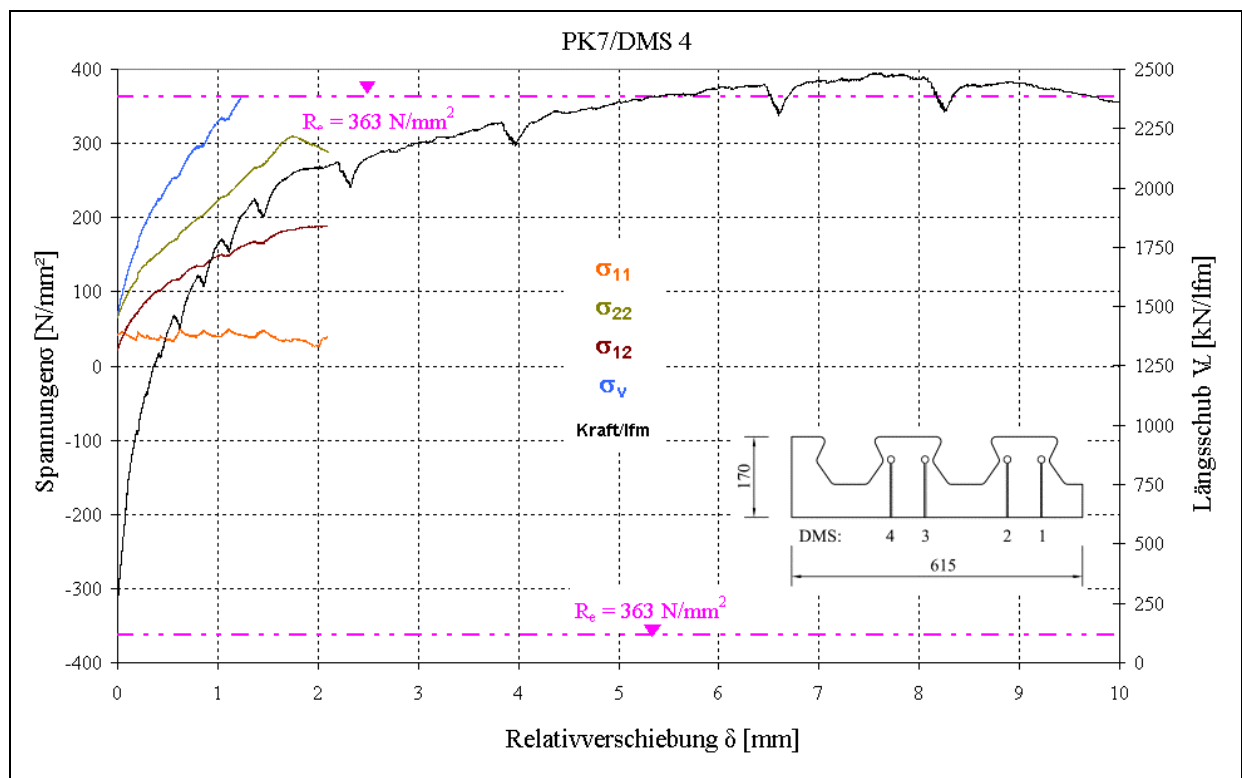


Abbildung 203: DMS 4 – Spannungen

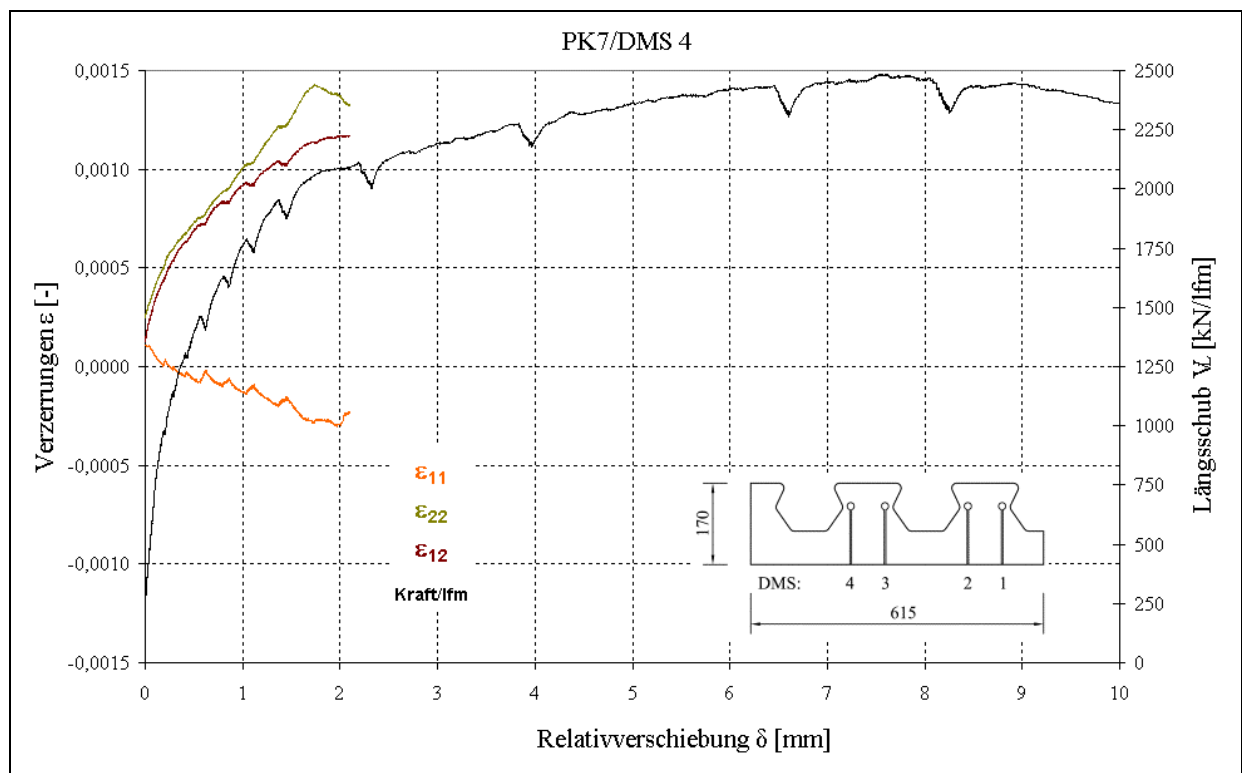


Abbildung 204: DMS 4 – Verzerrungen

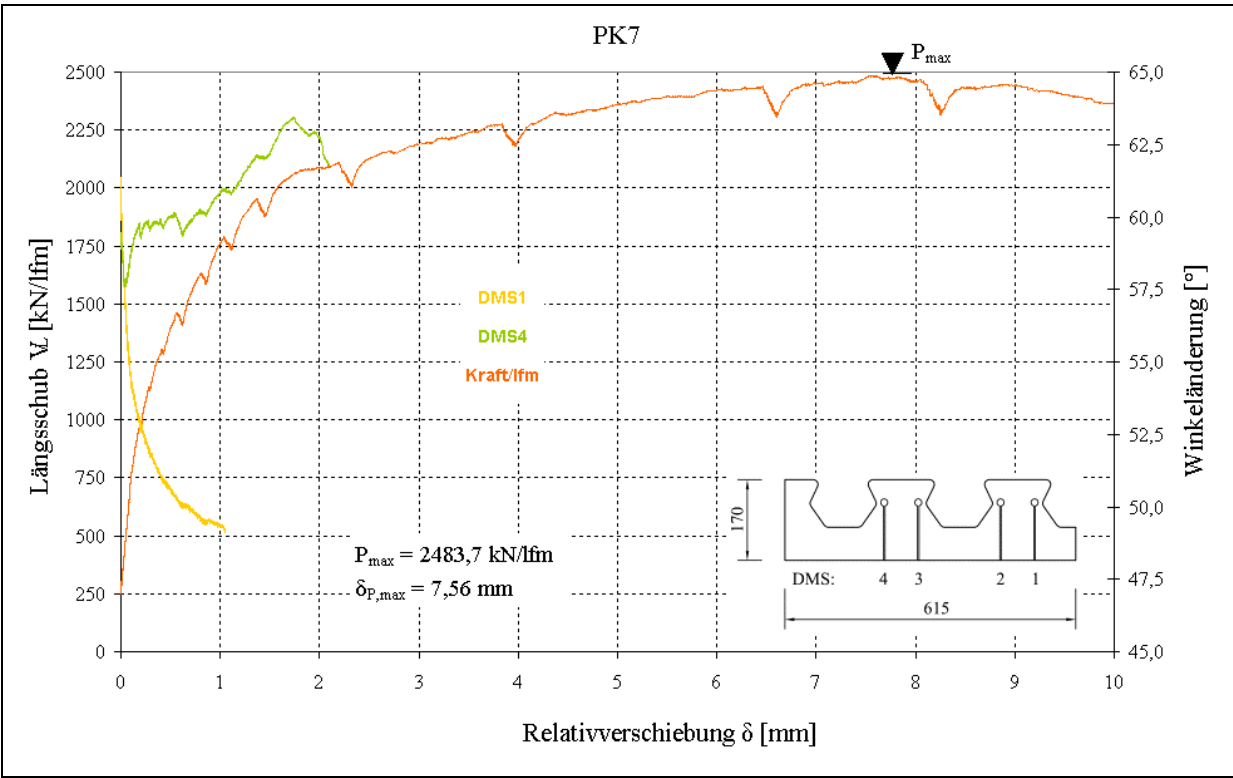


Abbildung 205: Winkelländerung der Hauptnormalspannungen

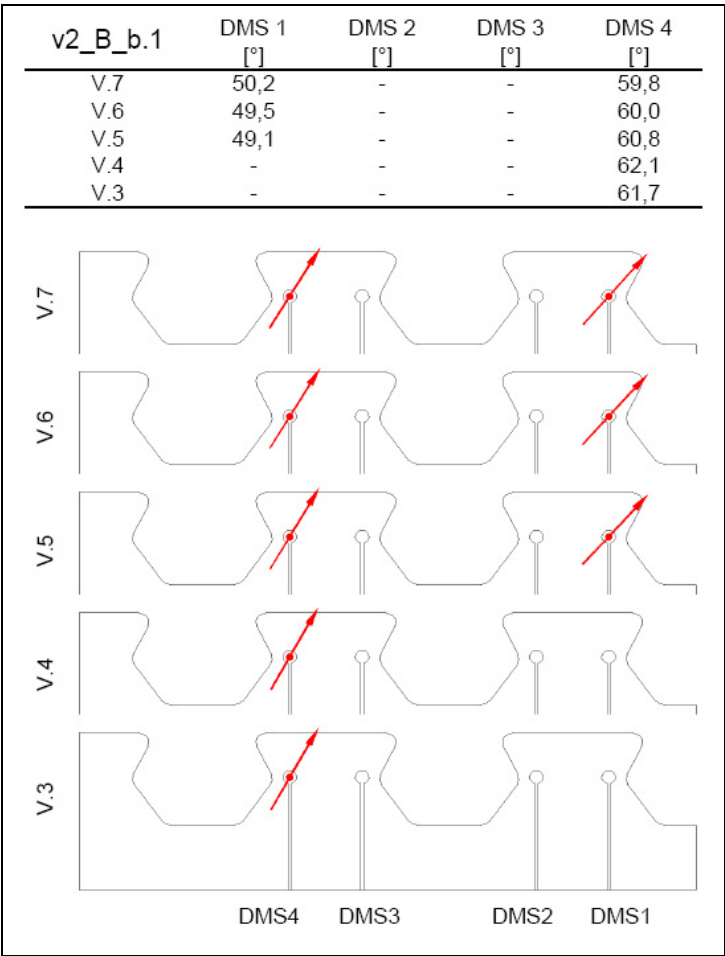
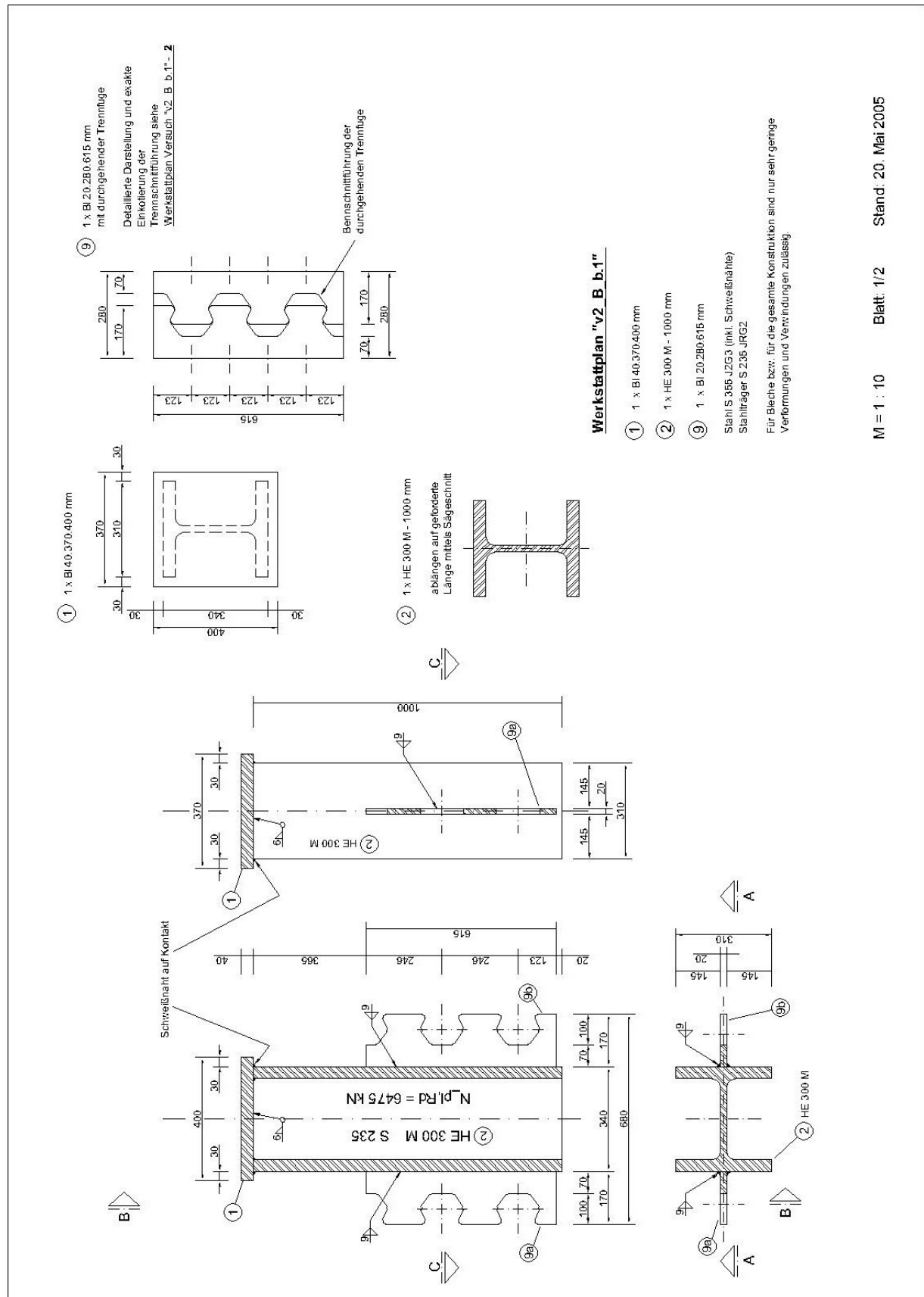
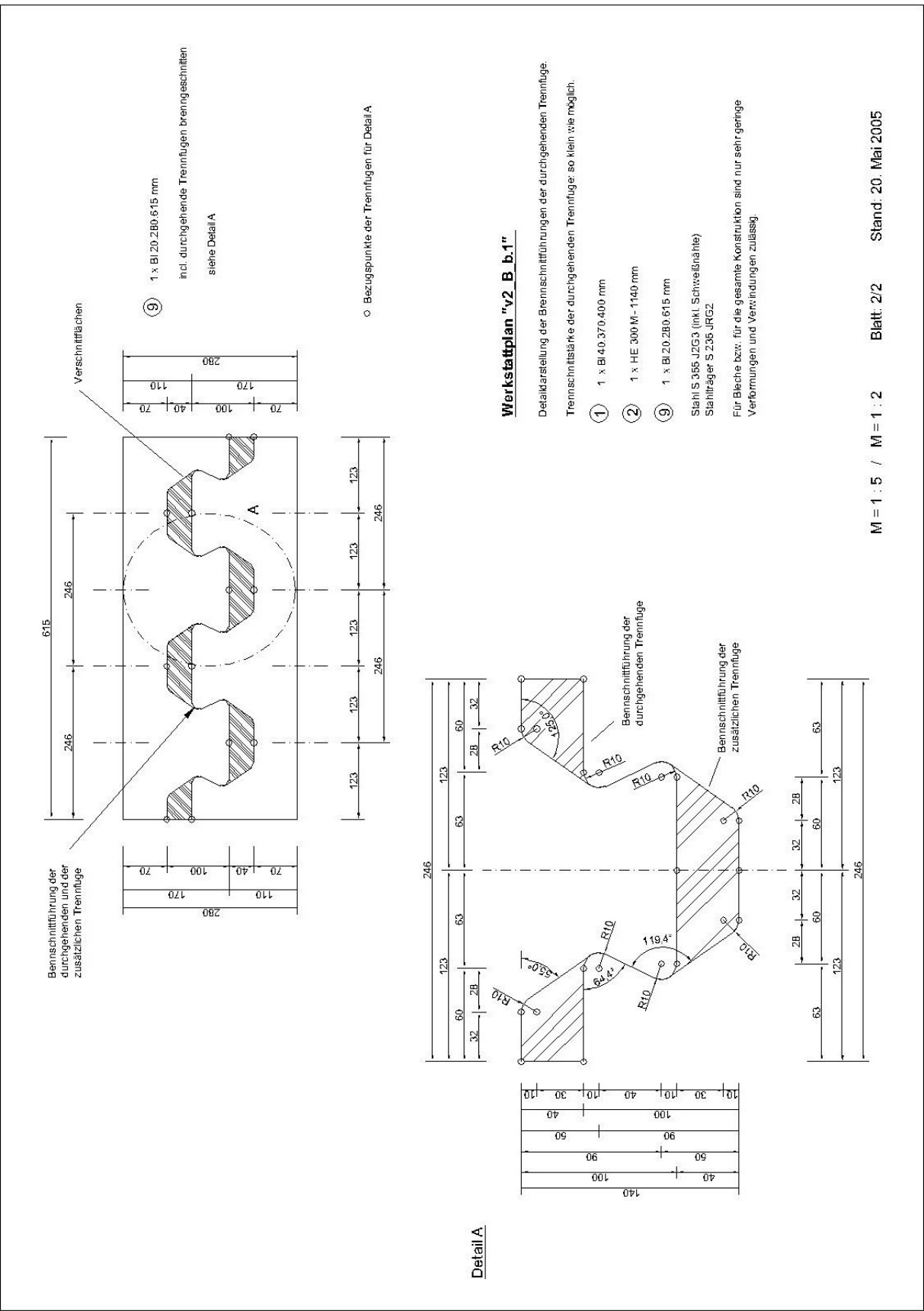


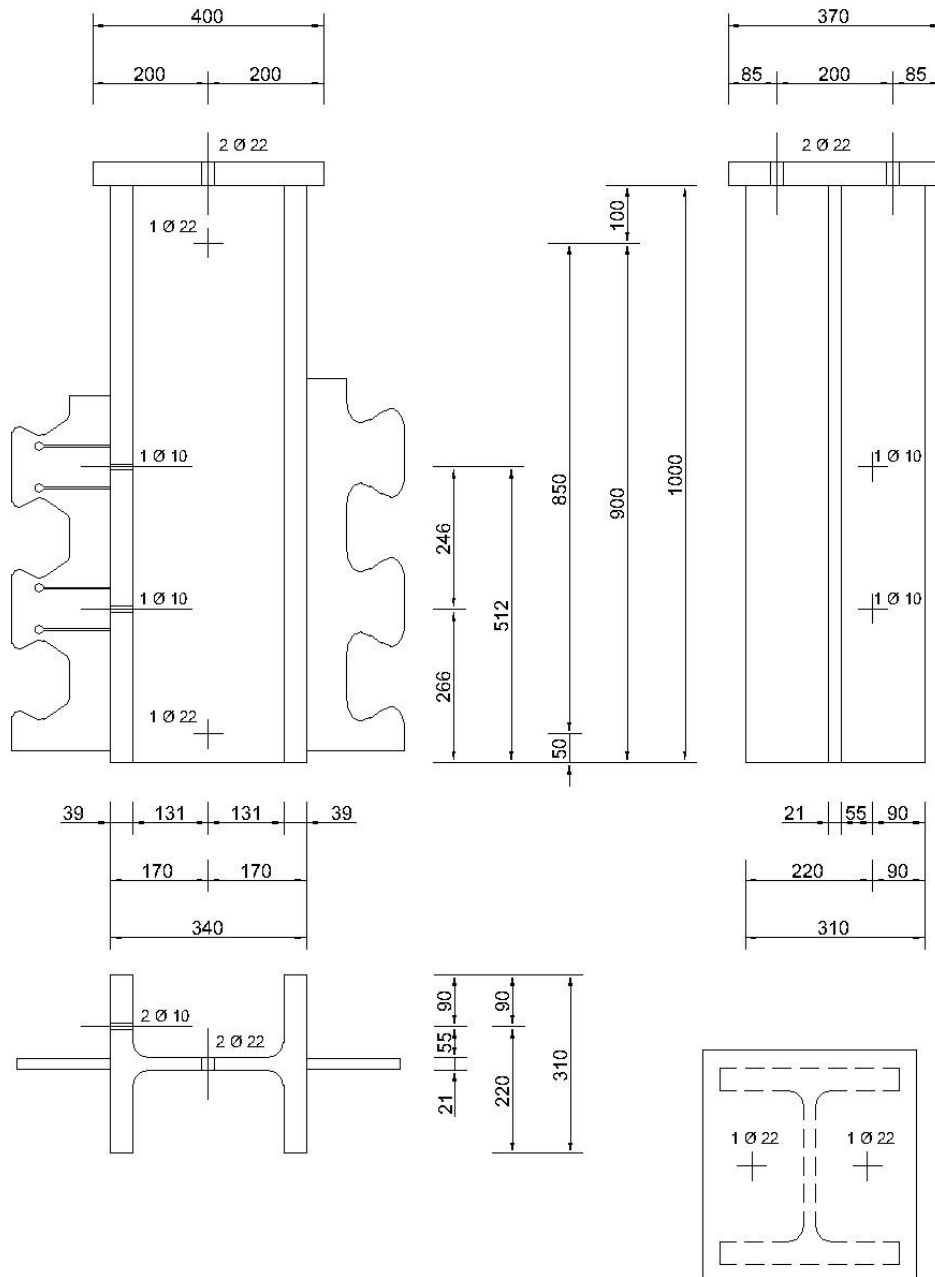
Abbildung 206: Winkelländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus

5.1.7.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers





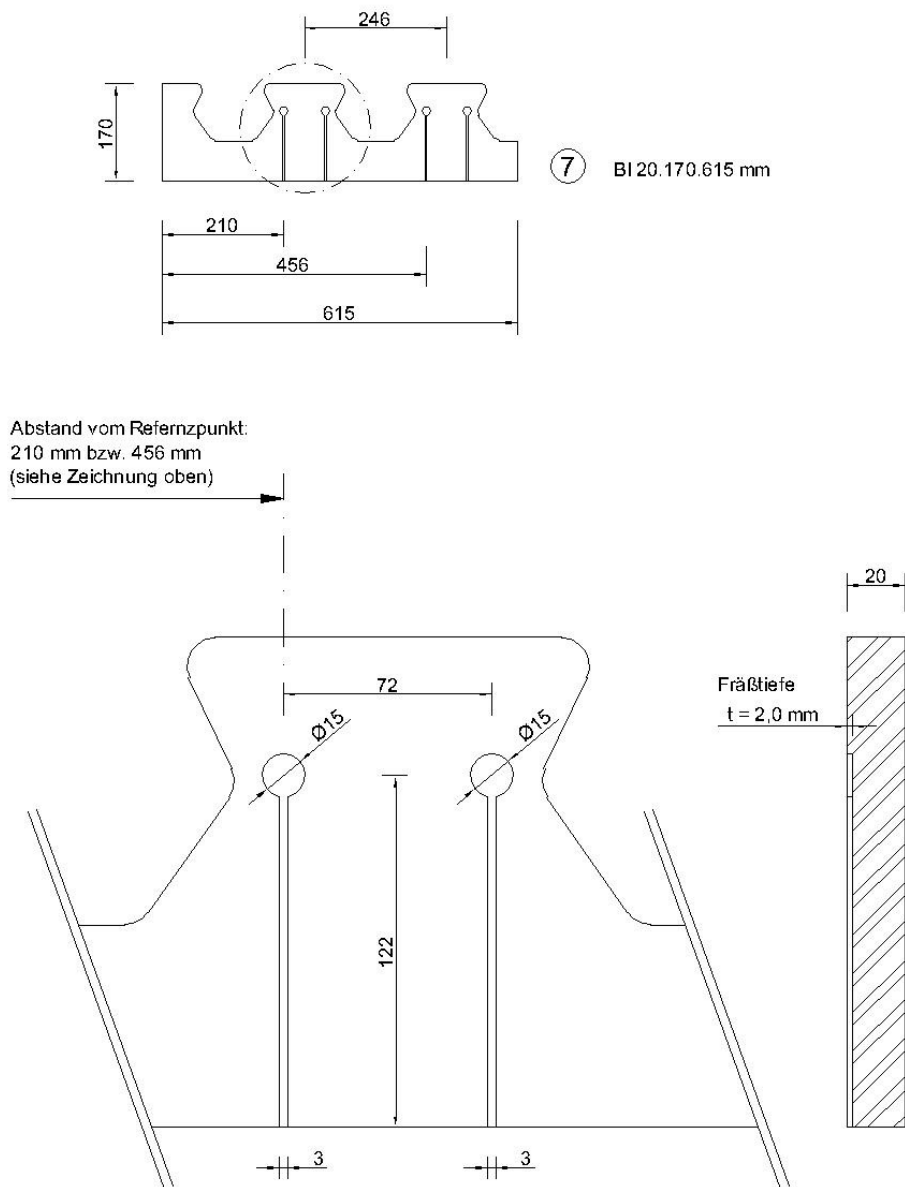
Bearbeitung Stahlbauteil "v2 B b.1"



M = 1 : 10

Blatt: 1/1

Stand: 1. Juni 2006



Fräßplan zur Blechbearbeitung Pos. 7

⑦ BI 20.170.615 mm

Stahl S 355 J2G3 (voraussichtlich!)

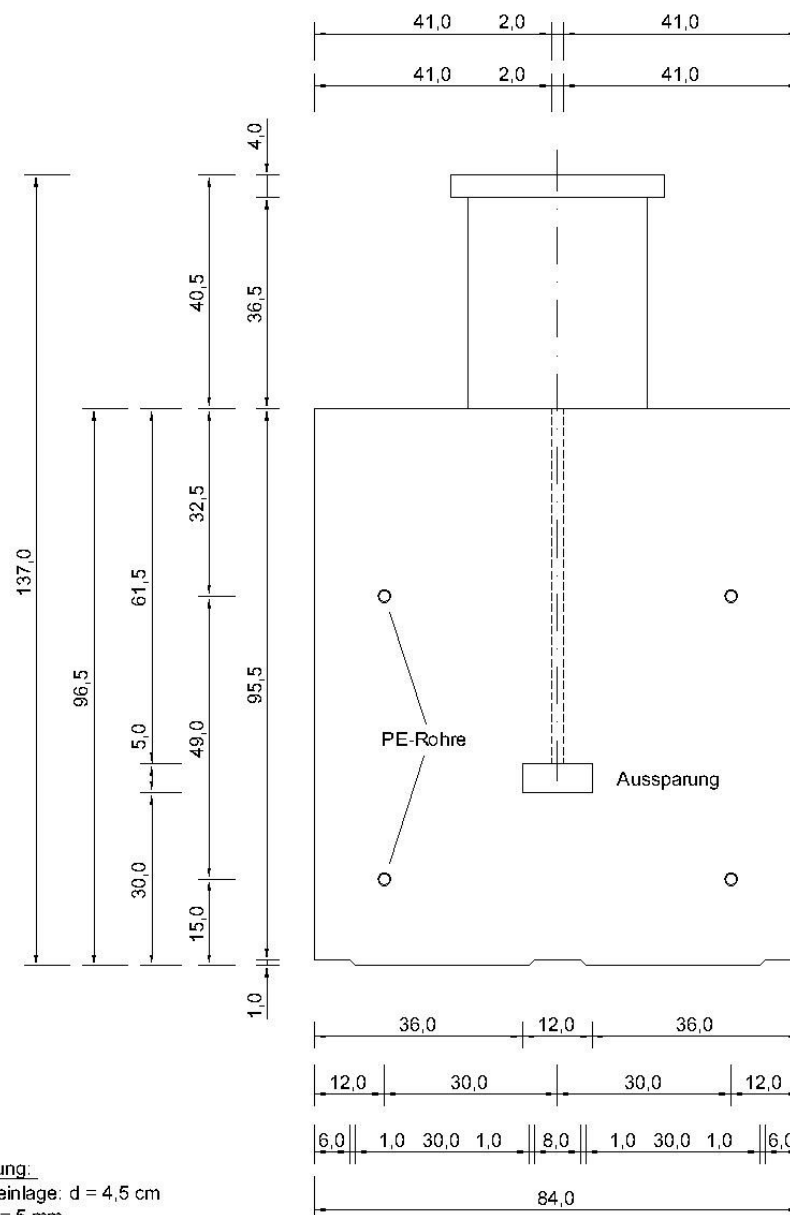
Darstellung Übersicht der Blechbearbeitung mit
zusätzlicher Detaildarstellung incl. Maße.
Fräßtiefe: 2,0 mm

M = 1 : 10 / 1 : 2
Blatt 7
Stand: 15. Juni 2005

Abbildung 207: Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_B_b.1

Schalungsplan "v2 B b.1"

Ansicht A - A



Aussparung:
Styrodureinlage: d = 4,5 cm
Blech: d = 5 mm
nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
mit einbetoniert,
zur Führung der Zugstangen

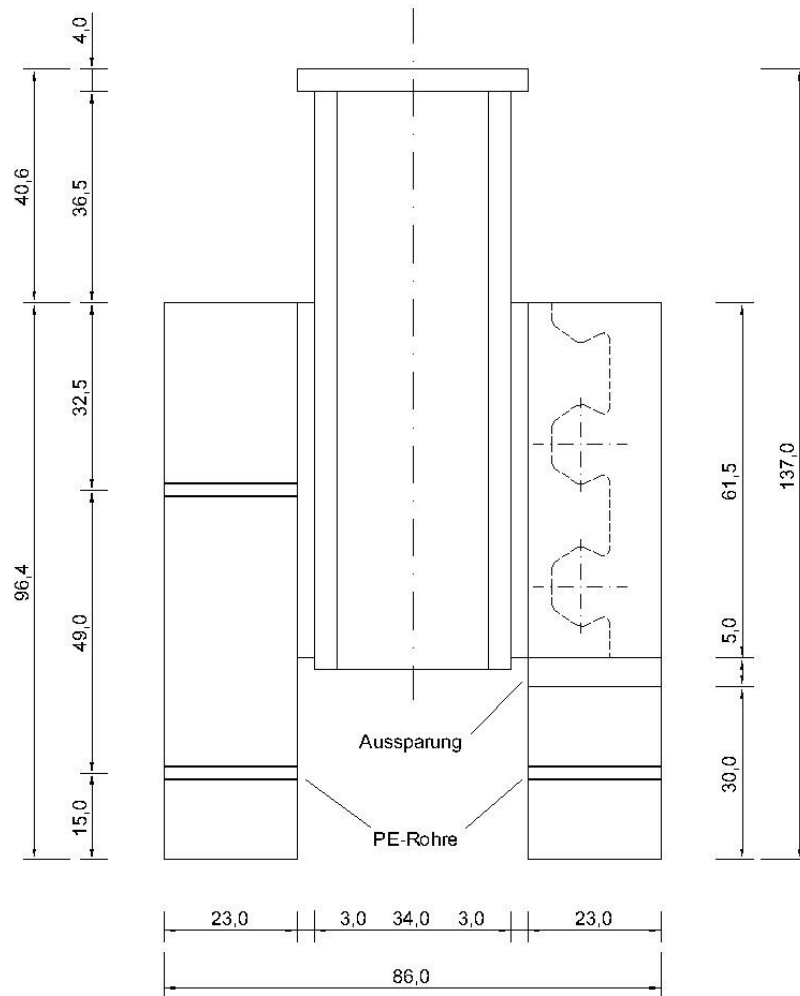
M = 1 : 10

Blatt: 1/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2 B b.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Aussparung:
Styrodureinlage: d = 4,5 cm
Blech: d = 5 mm
nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
mit einbetoniert,
zur Führung der Zugstangen

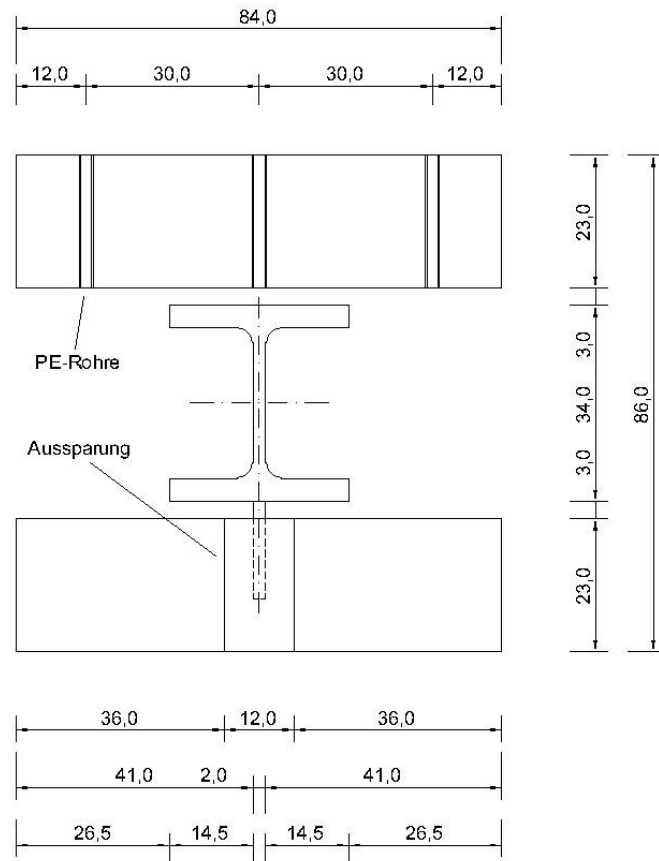
M = 1 : 10

Blatt: 2/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2 B b.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

M = 1 : 10

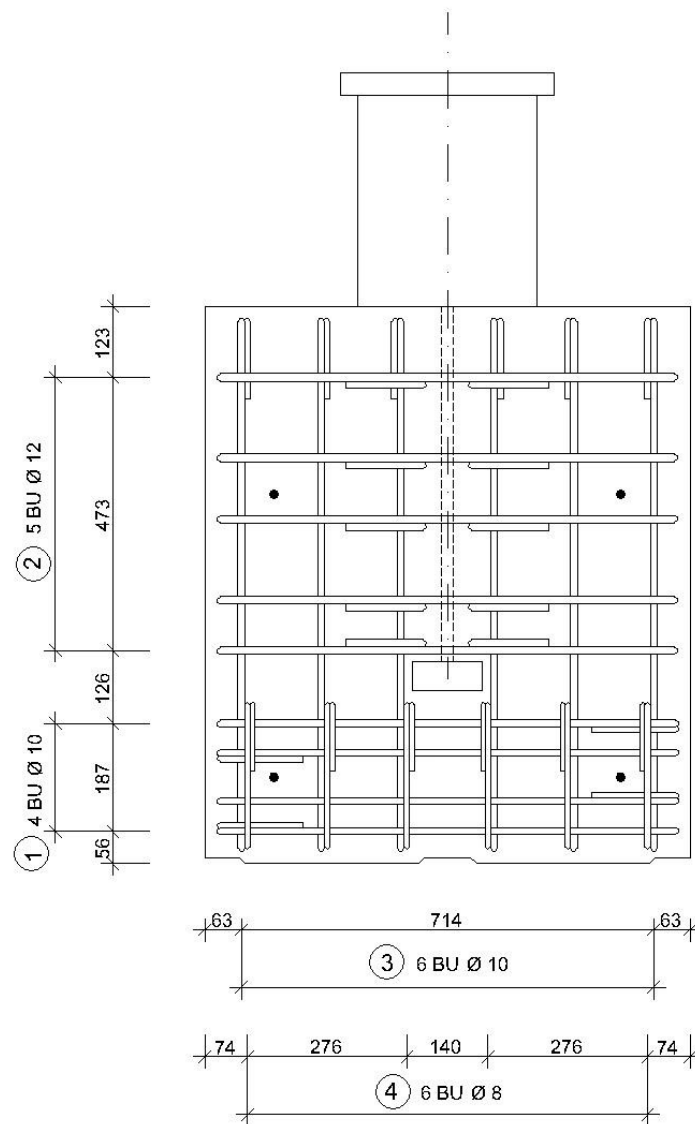
Blatt: 3/3

Stand: 1. Juni 2006

Abbildung 208: Schalpläne v2_B_b.1

Bewehrungsplan "v2_B_b.1"

Ansicht A - A



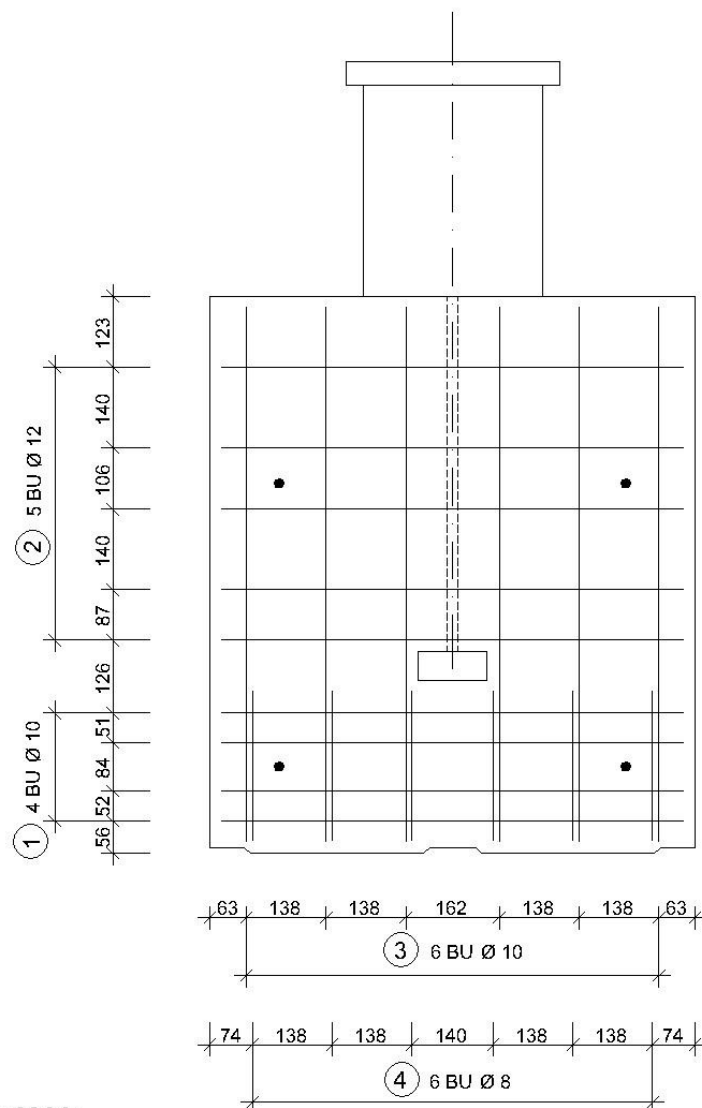
M = 1 : 10

Blatt: 1/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B b.1"

Ansicht A - A



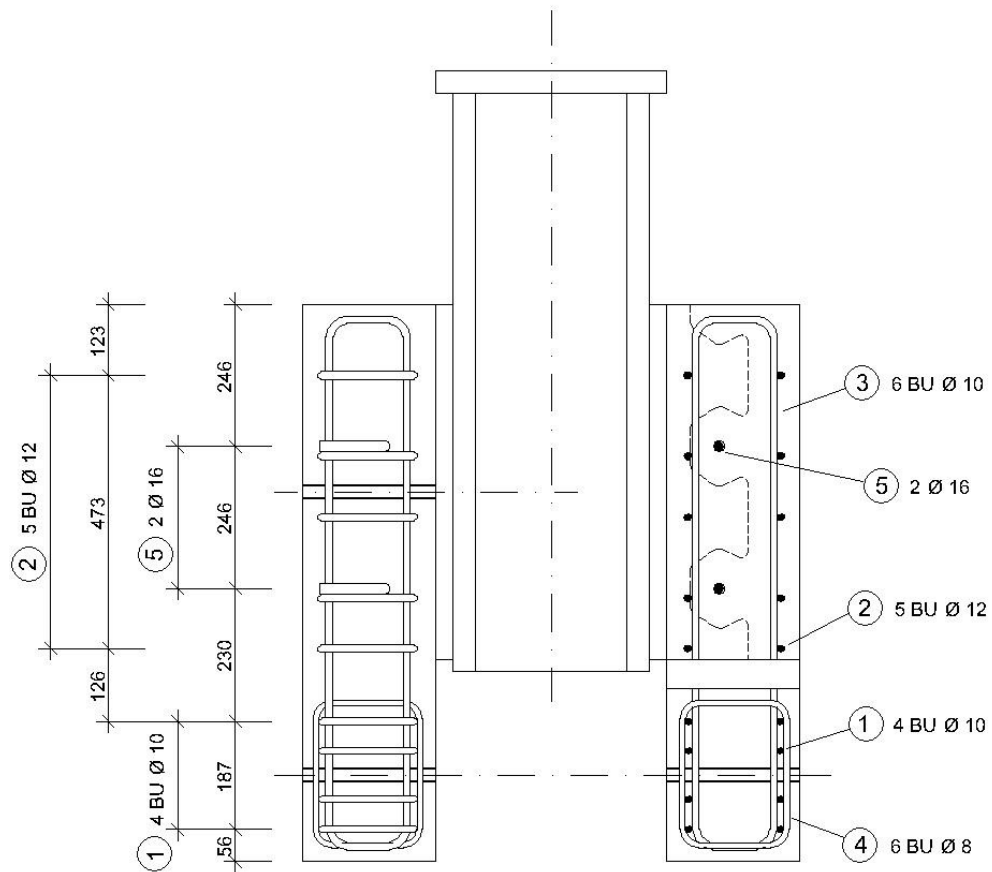
M = 1 : 10

Blatt: 2/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_b.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



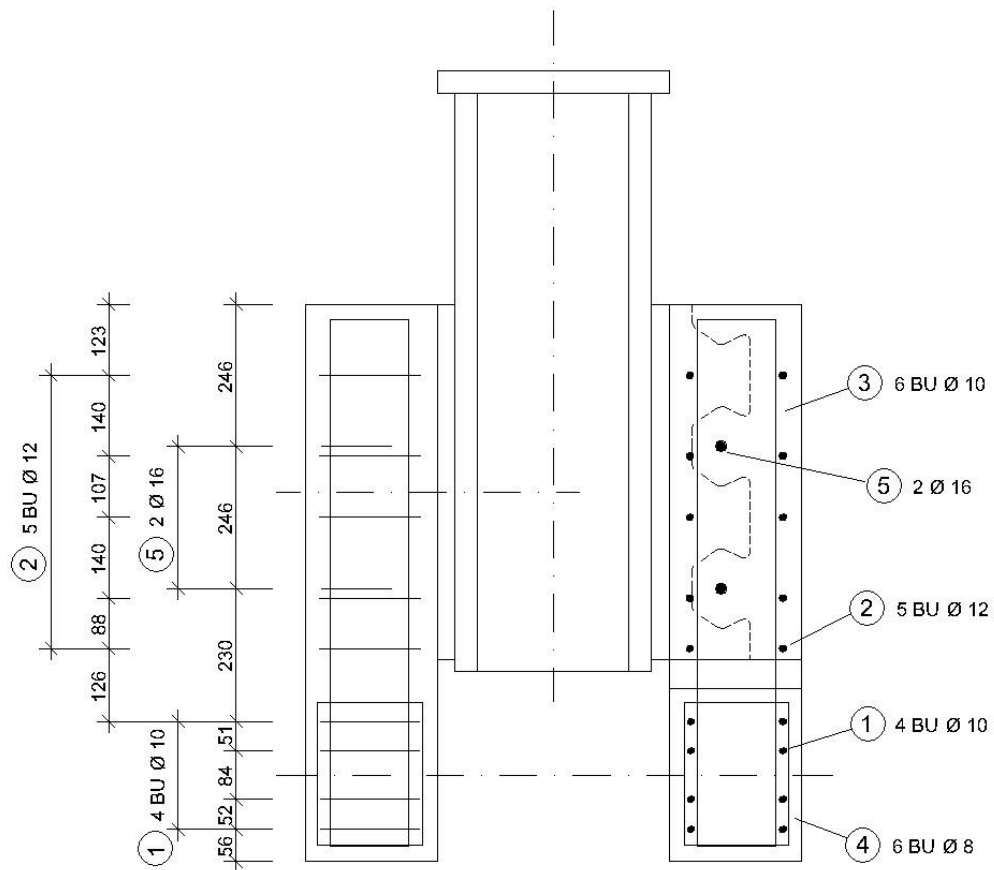
M = 1 : 10

Blatt: 3/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_b.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Betondeckungen:
oben innen: 30 mm
oben außen: 25 mm

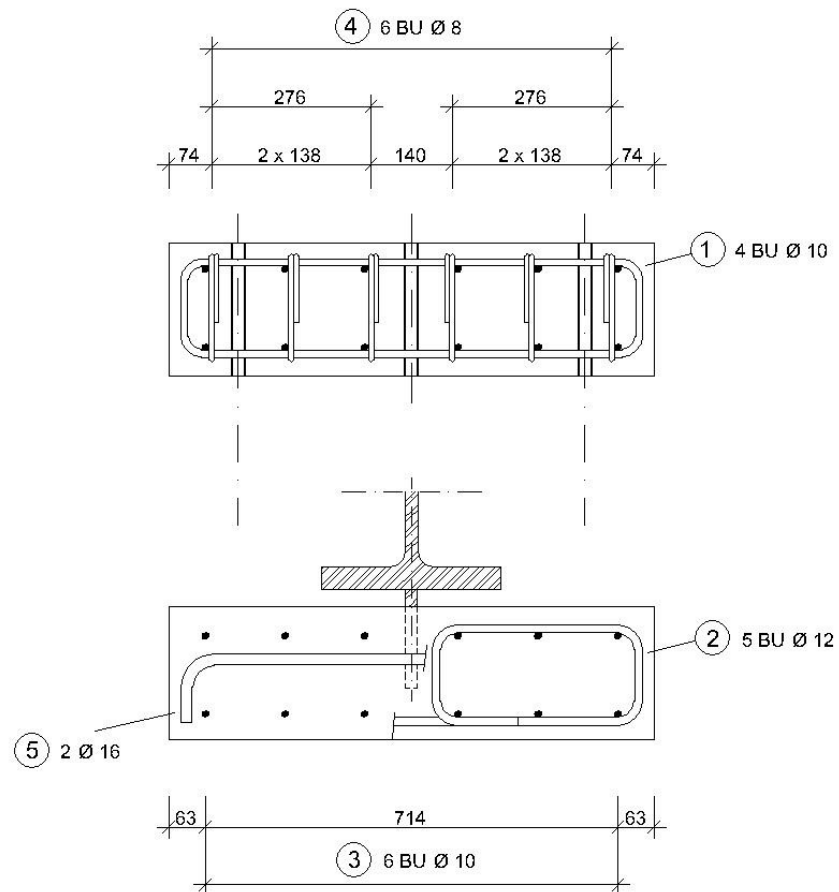
M = 1 : 10

Blatt: 4/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_b.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



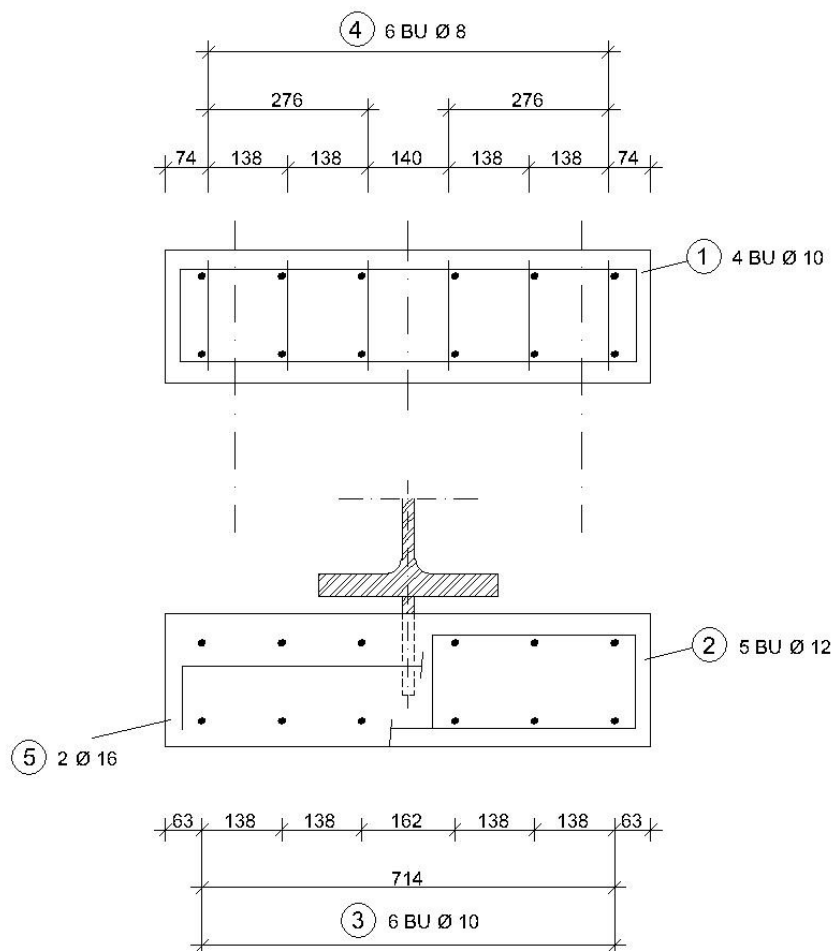
M = 1 : 10

Blatt: 5/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_b.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



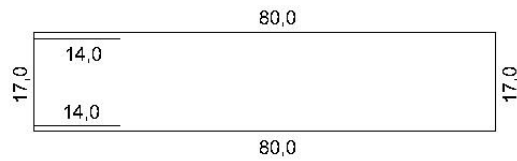
M = 1 : 10

Blatt: 6/7

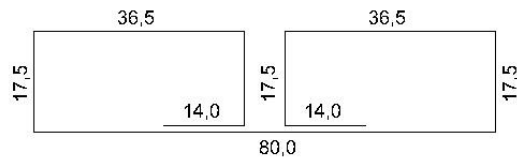
Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_b.1"

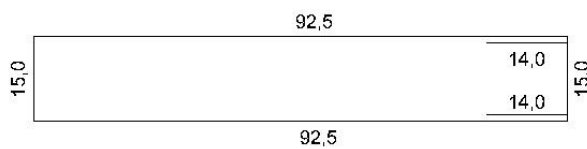
bemaßte Biegeformen



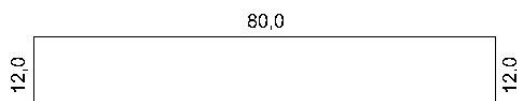
- ① $2 \times 4 = 8 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 222,0 \text{ cm} - 1,37 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 17,76 \text{ m} - 11,0 \text{ kg}$



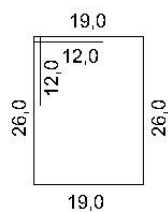
- ② $2 \times 5 = 10 \text{ BU } \varnothing 12$
 $l_g = 251,0 \text{ cm} - 2,23 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 25,1 \text{ m} - 22,3 \text{ kg}$



- ③ $2 \times 6 = 12 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 243,0 \text{ cm} - 1,50 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 29,2 \text{ m} - 18,0 \text{ kg}$



- ⑤ $2 \times 2 = 4 \text{ } \varnothing 16$
 $l_g = 104,0 \text{ cm} - 1,64 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 4,2 \text{ m} - 6,6 \text{ kg}$



- ④ $2 \times 6 = 12 \text{ BU } \varnothing 8$
 $l_g = 114,0 \text{ cm} - 0,45 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 13,7 \text{ m} - 5,4 \text{ kg}$

M = 1 : 10

Blatt: 7/7

Stand: 8. März 2006

Abbildung 209: Bewehrungspläne v2_B_b.1

5.1.8. Versuchsdatenblatt v2_B_c.1 (PK8)

5.1.8.1. Zustand des Push-Out-Versuchskörpers vor Versuchbeginn und dessen Einbausituation

Die planparallele Ausrichtung der späteren Kontaktflächen zur Druckplatte des großen Prüfrahmens und zur lastnahen Kopfplatte des Stahlträgers wurde erreicht.

Das Einheben und der Einbau in den großen Prüfrahmen führten zu keinerlei Beeinträchtigungen des Push-Out-Versuchskörpers zum Beispiel durch Anschläge. Die Druckplatten des großen Prüfrahmens konnten so ausgerichtet werden, dass beide satt am Push-Out-Versuchskörper anlagen.

5.1.8.2. Beschreibung des Versuchsablaufs

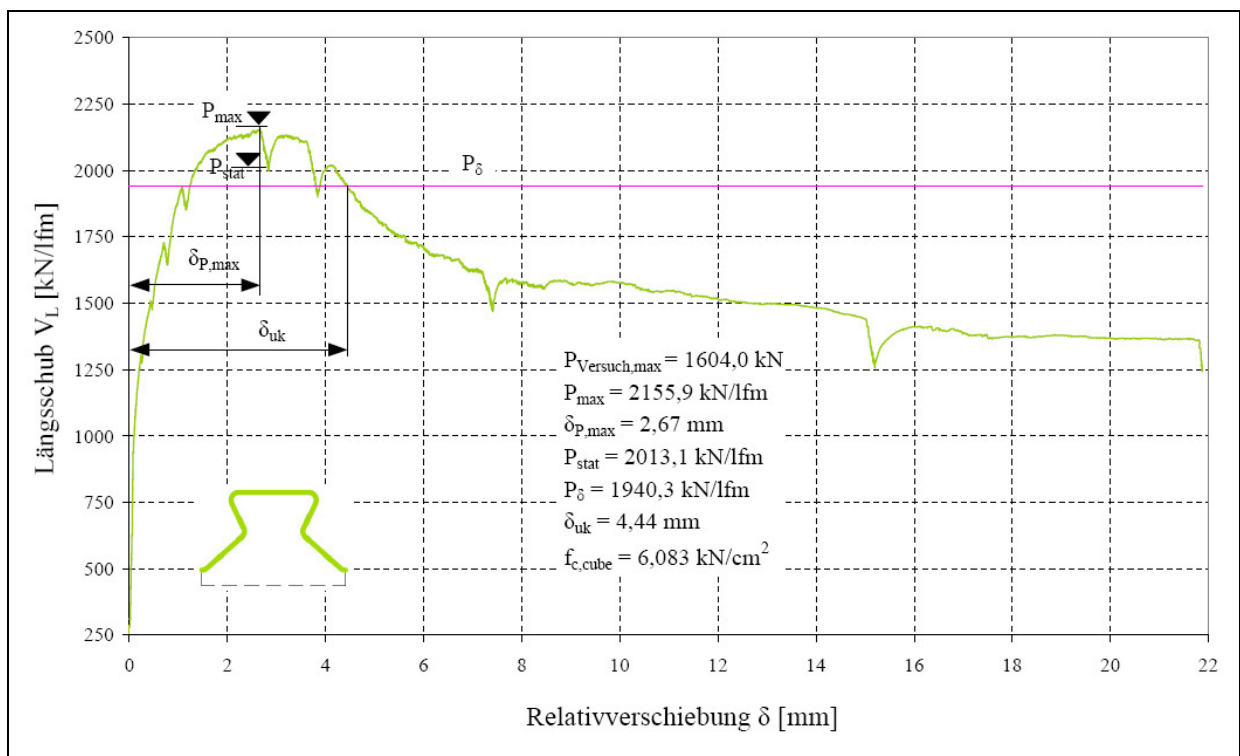


Abbildung 210: Dübelkennlinie v2_B_c.1

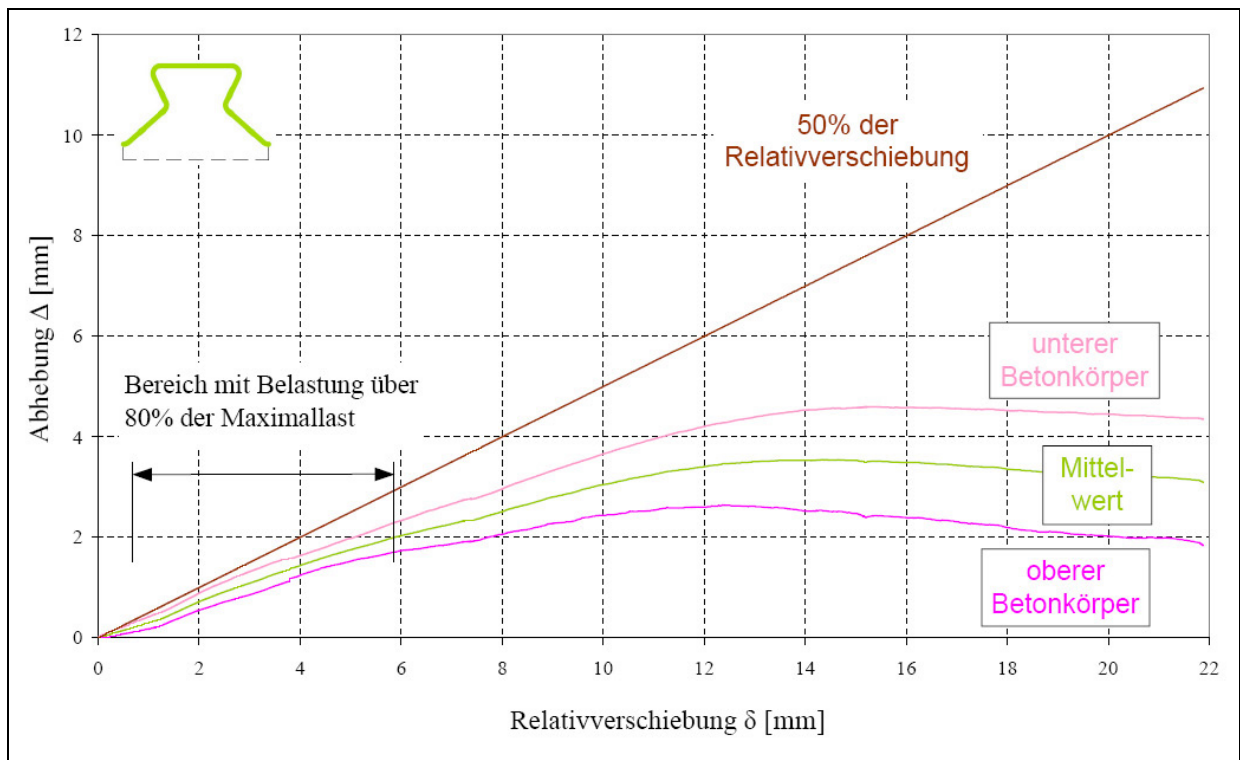


Abbildung 211: Abhebungskennlinie v2_B_c.1

5.1.8.3. Beschreibung des Betonkörpers

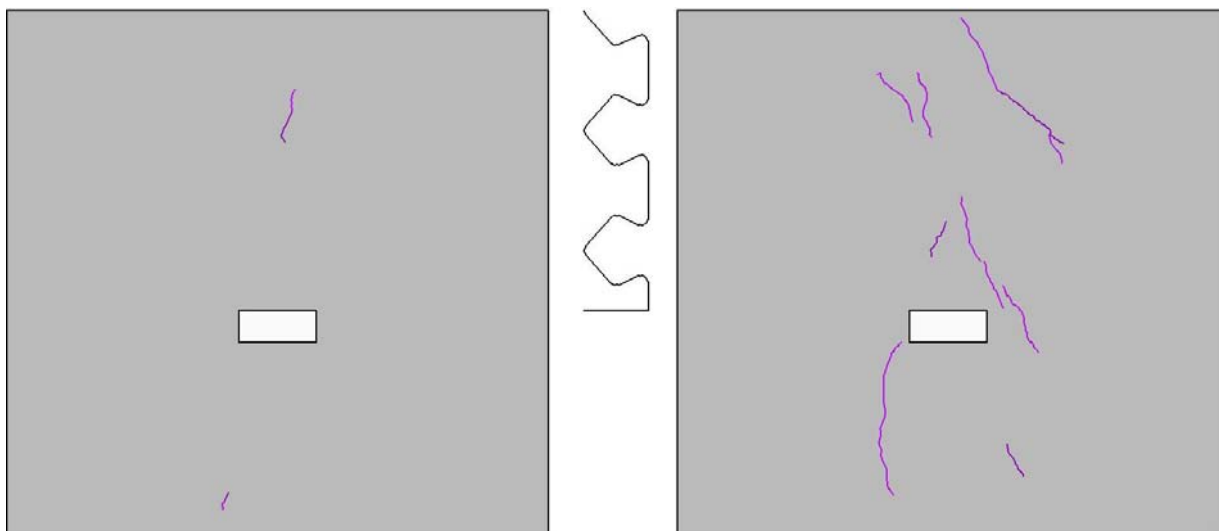


Abbildung 212: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_c.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

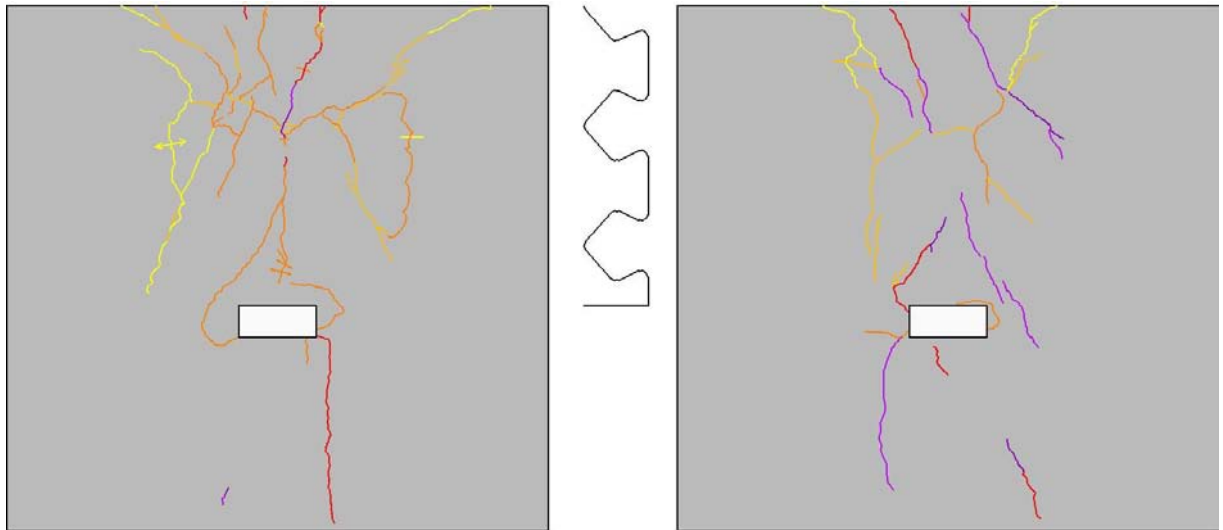


Abbildung 213: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_c.1 bei Erreichen von P_{max} . Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

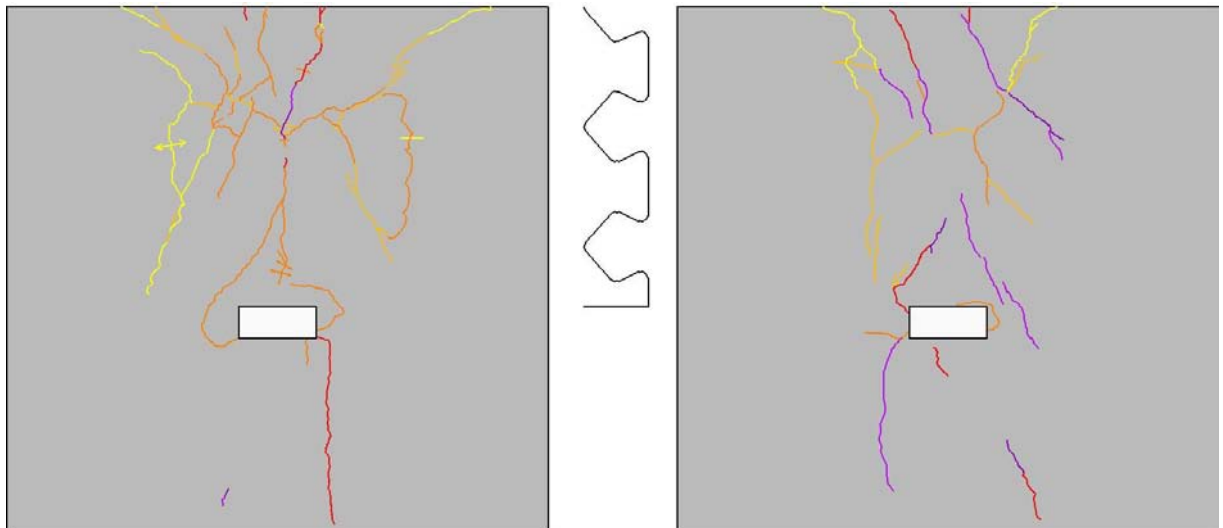


Abbildung 214: Rissbilder der Betonplatten von v2_B_c.1 bei Versuchende. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)

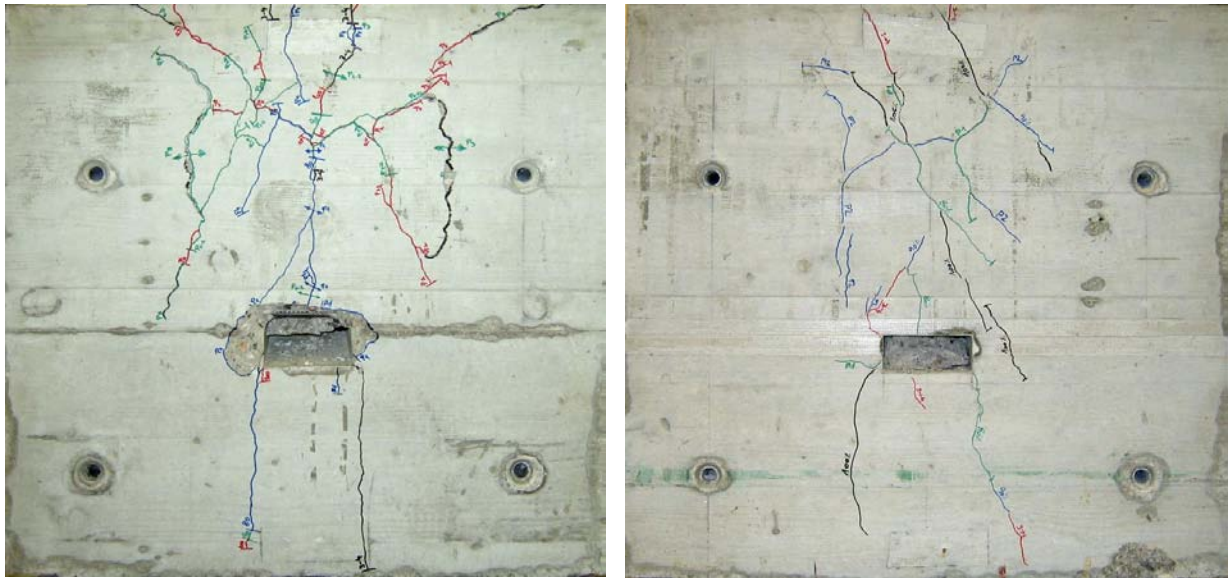


Abbildung 215: Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_B_c.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.

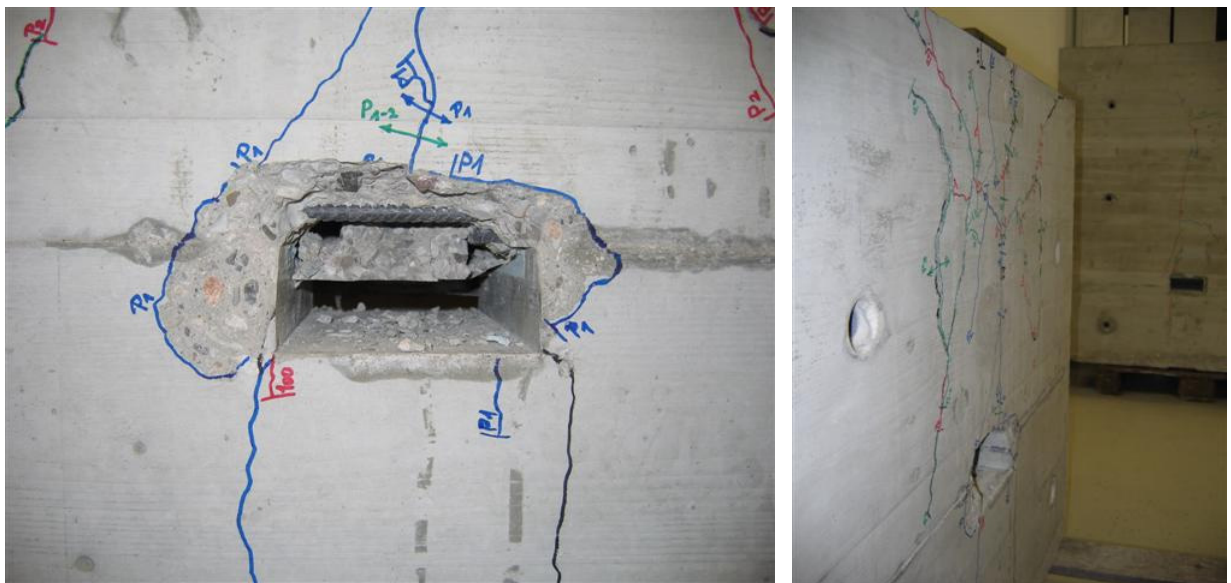


Abbildung 216: ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)

5.1.8.4. Beschreibung des Dübelblechs

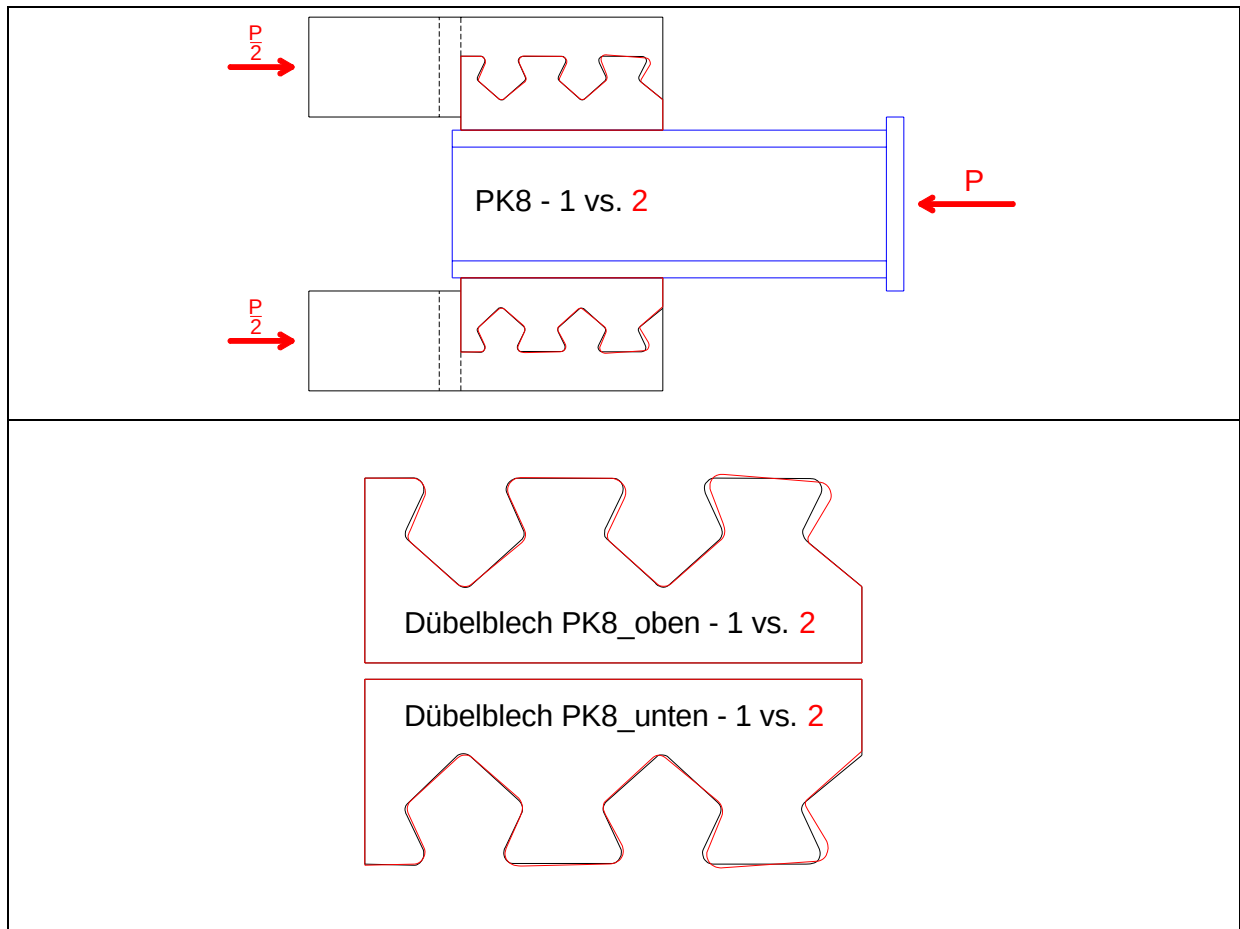
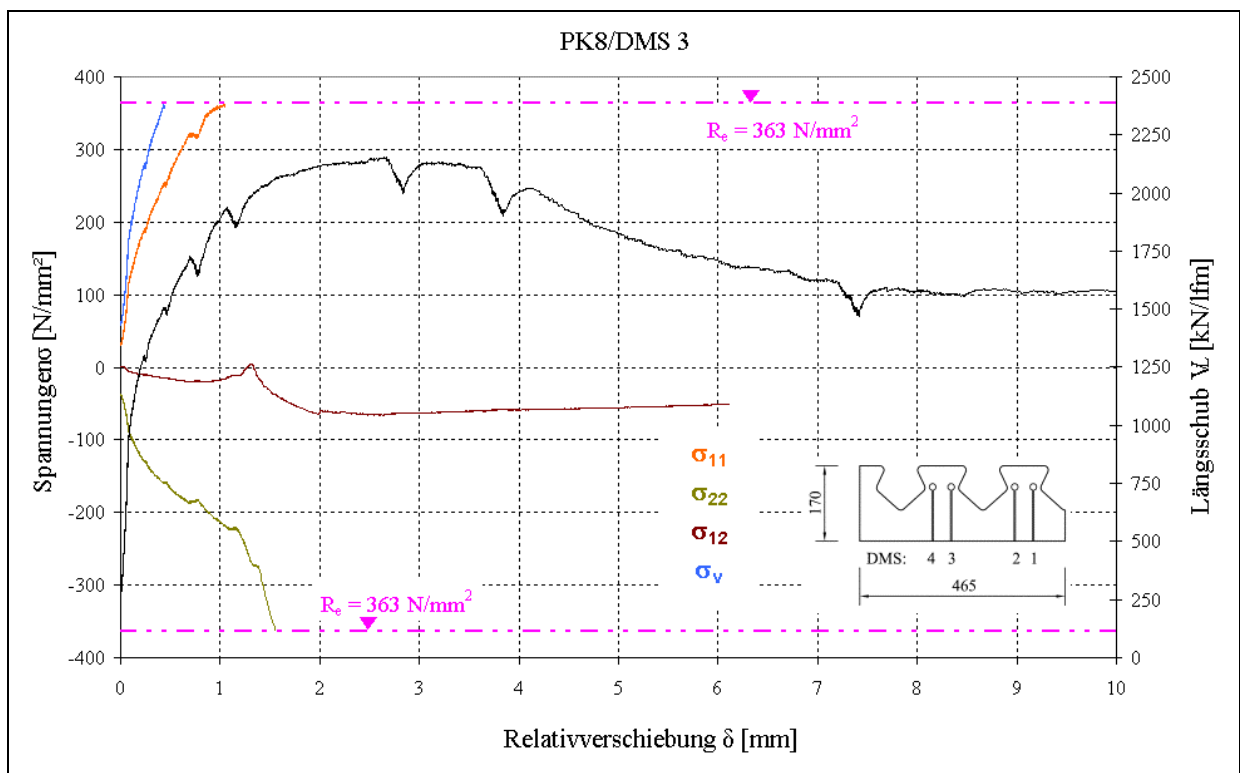
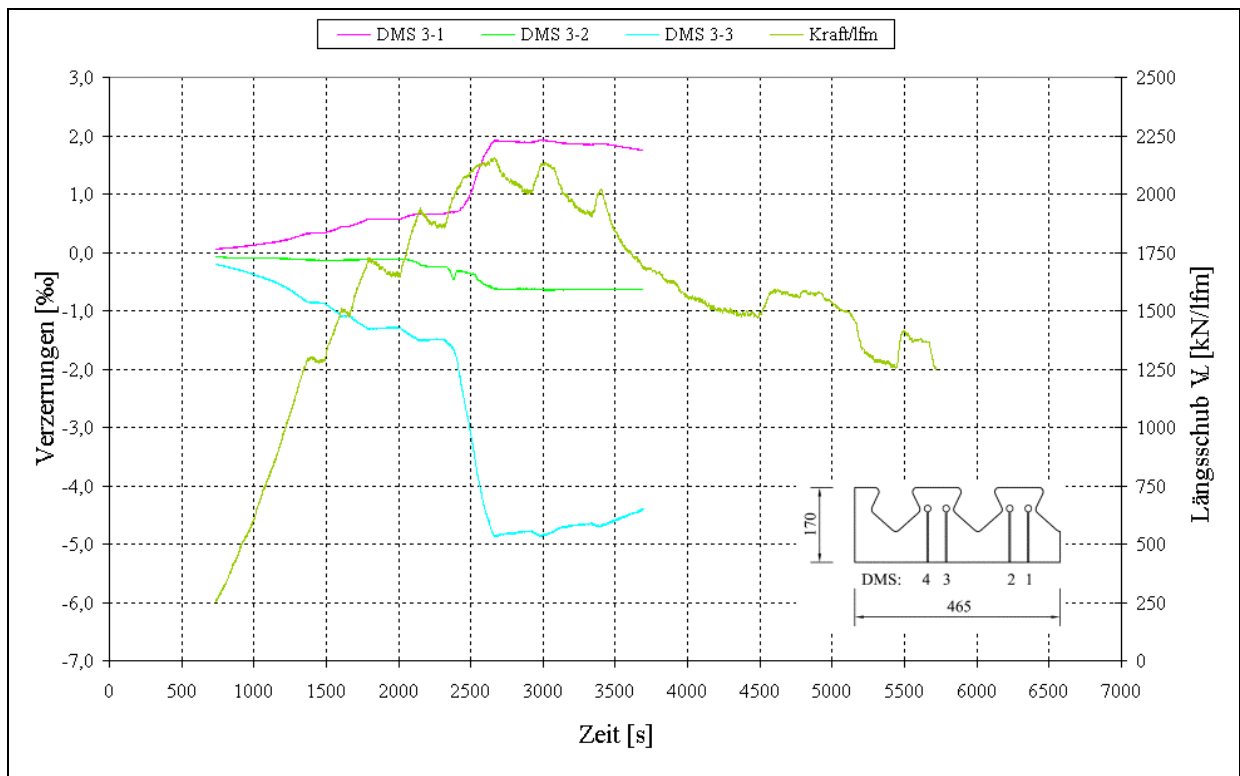


Abbildung 217: Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch

5.1.8.5. DMS-Auswertung

Bei diesem Push-Out-Versuchskörper lieferten insgesamt zwei DMS-Rosetten brauchbare Messwerte. Es handelt sich dabei um DMS 3 und DMS 4. Allerdings können die Werte von DMS 3 und DMS 4 nur bis zu einer Relativverschiebung von etwa 6 mm zur Auswertung herangezogen werden.



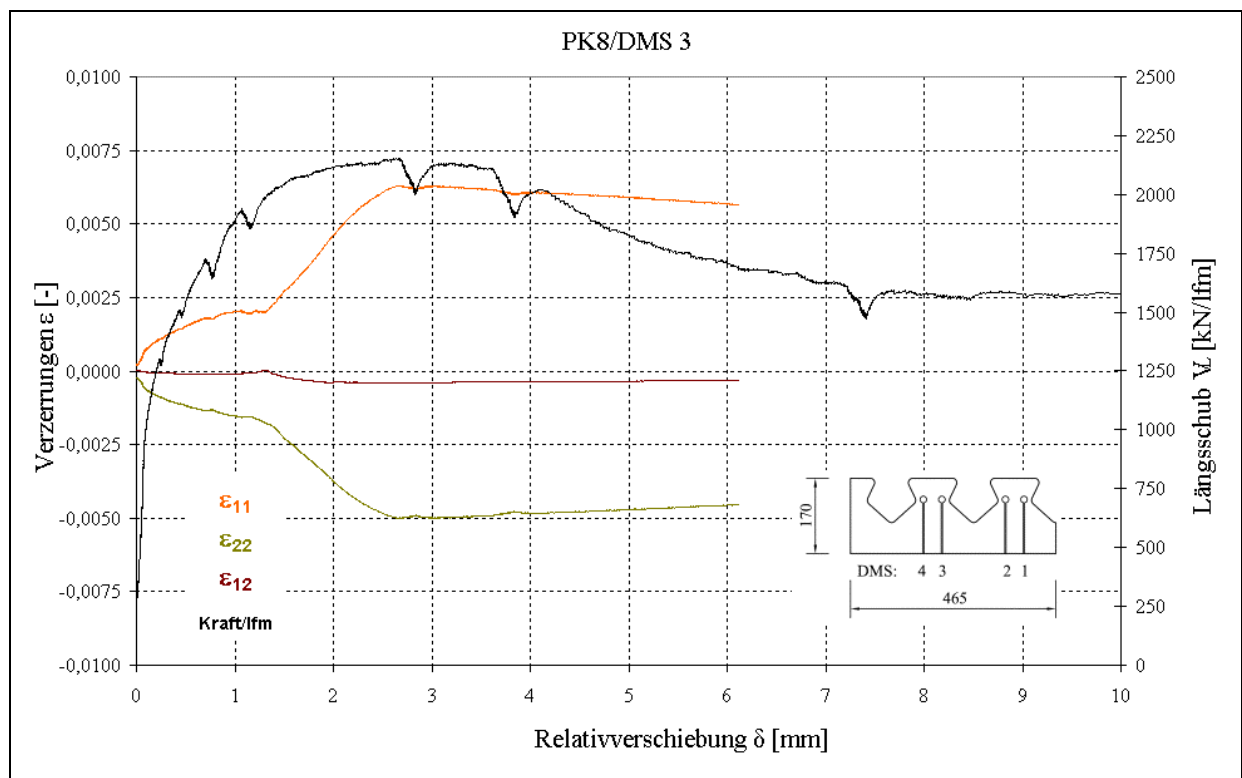


Abbildung 220: DMS 3 – Verzerrungen

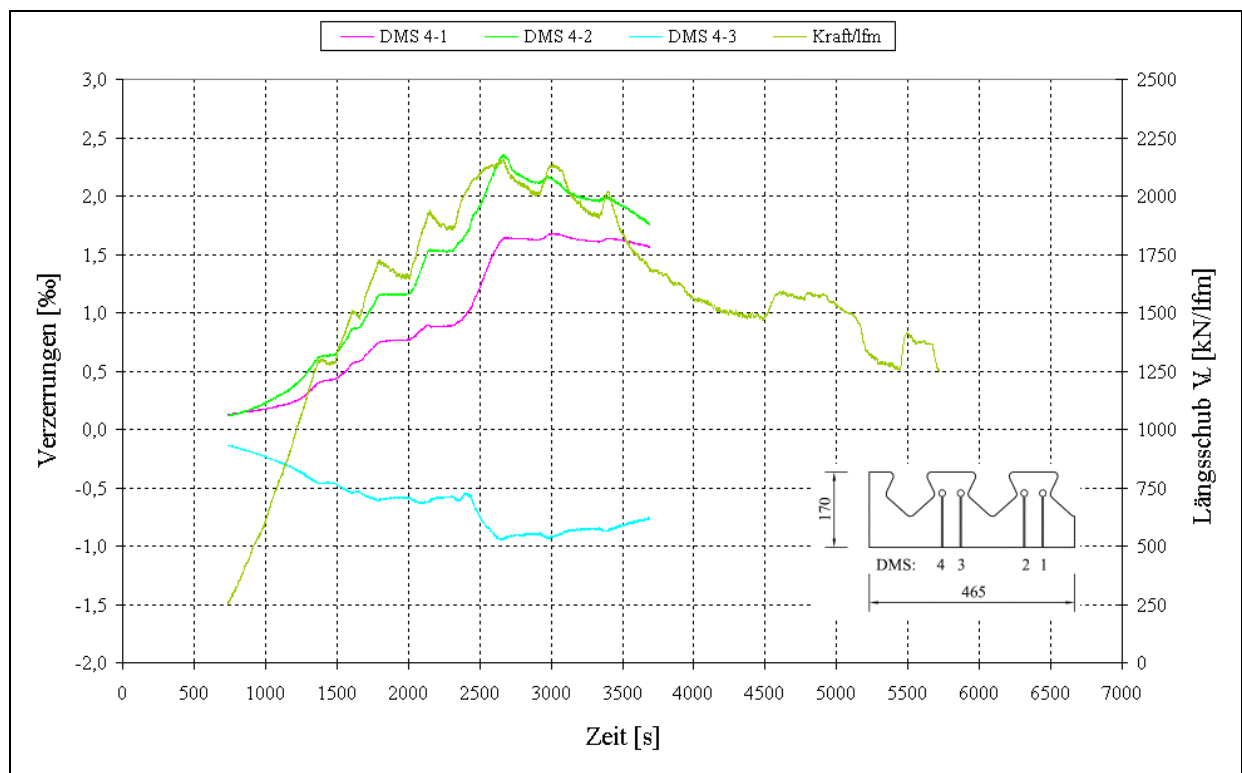


Abbildung 221: DMS 4 – Messwerte

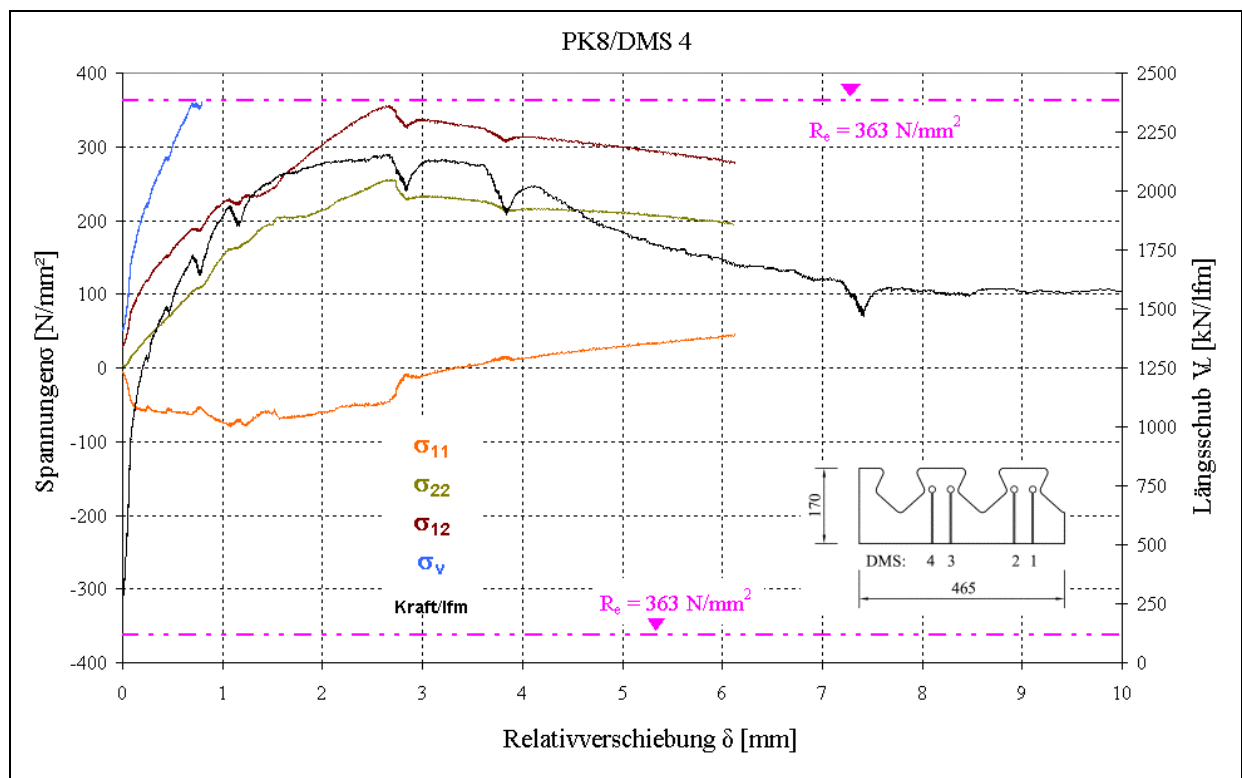


Abbildung 222: DMS 4 – Spannungen

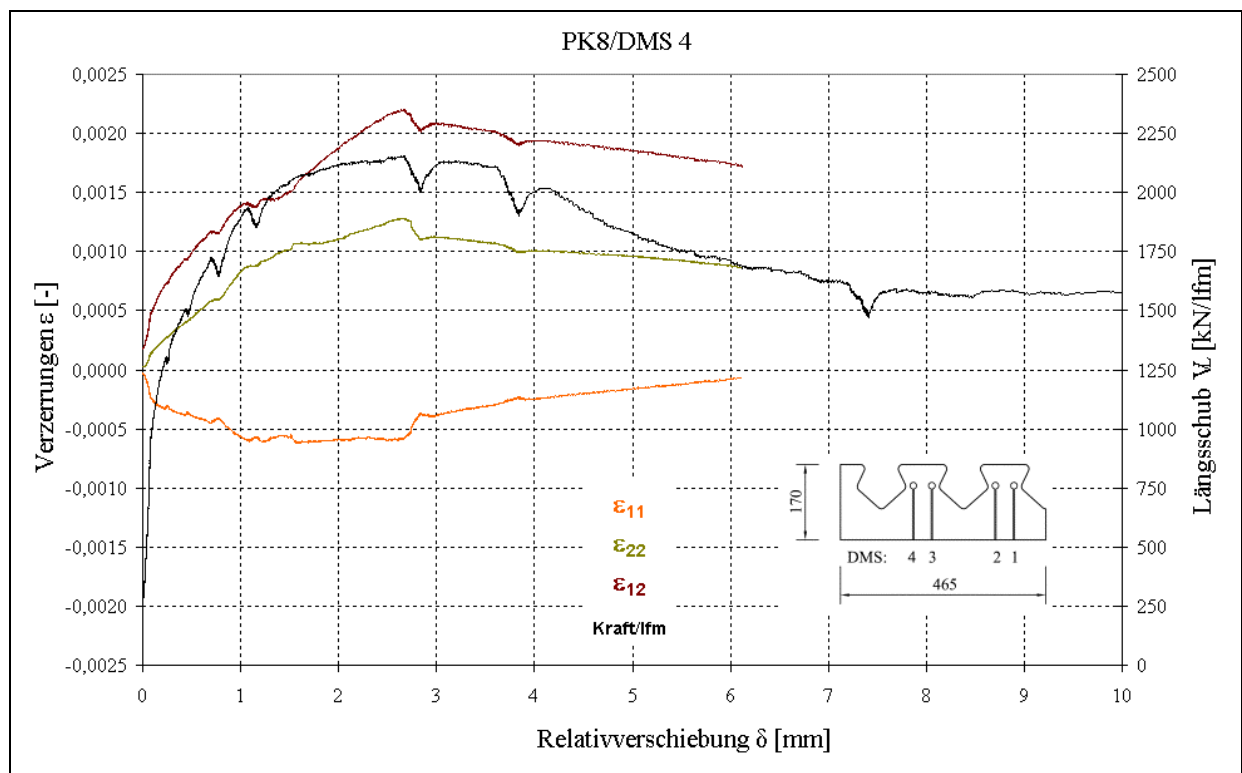


Abbildung 223: DMS 4 – Verzerrungen

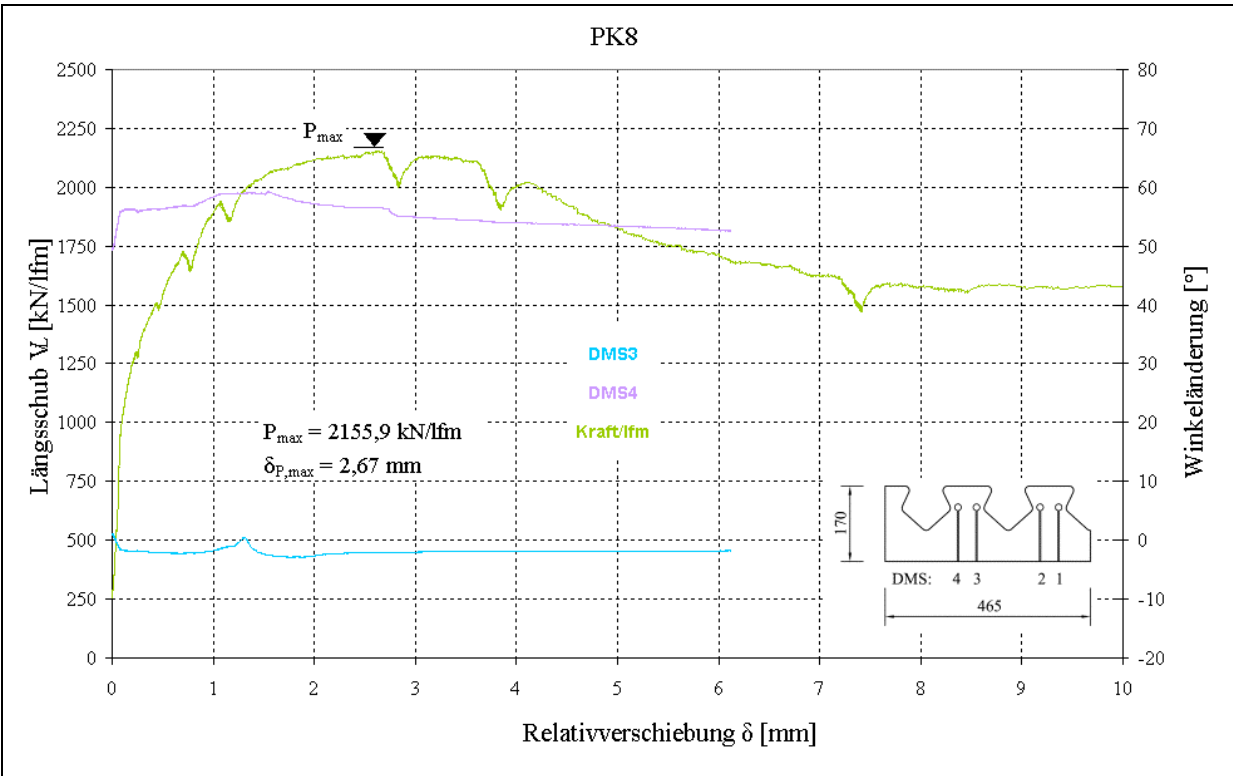


Abbildung 224: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen

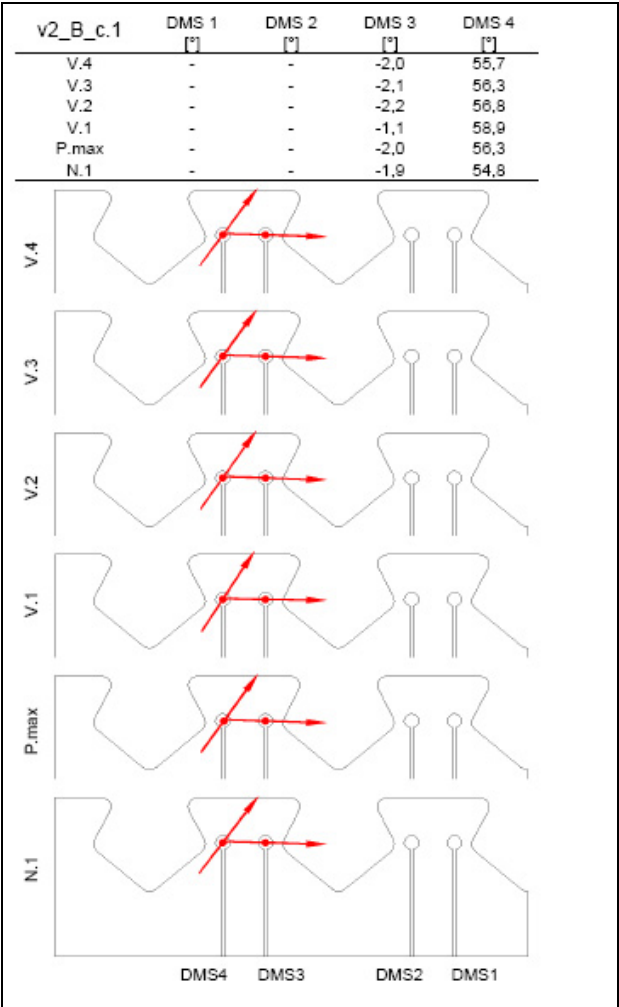
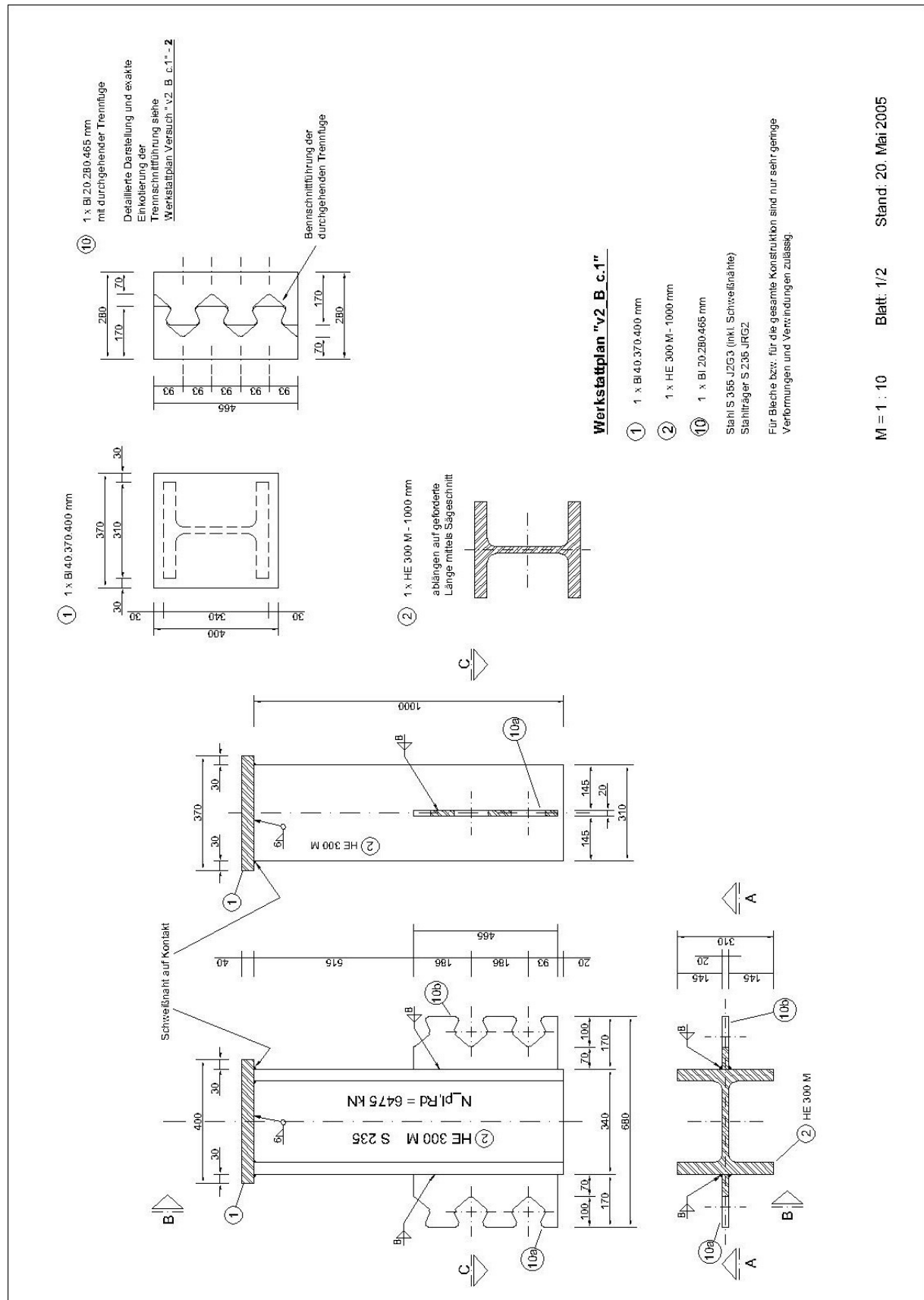
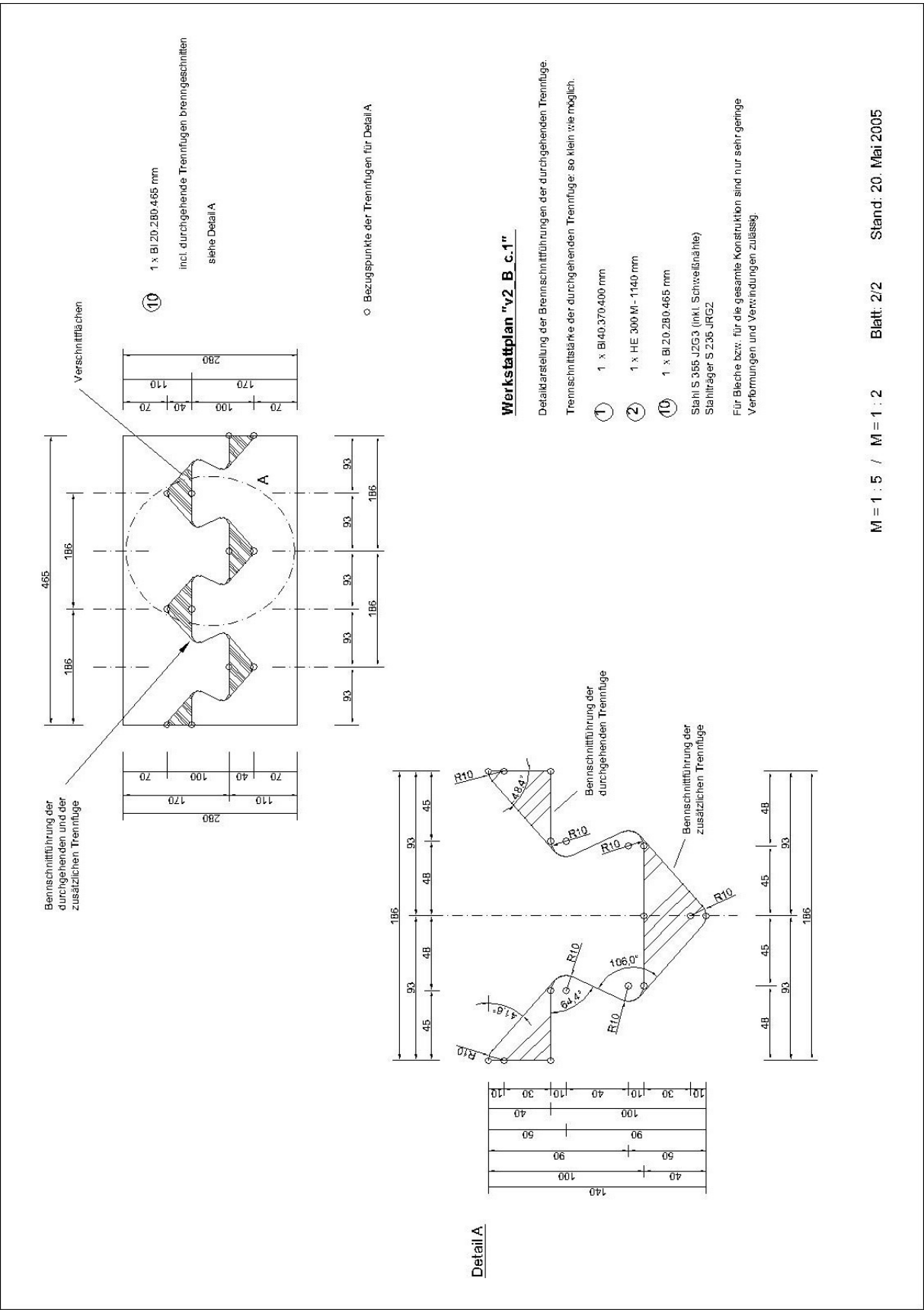


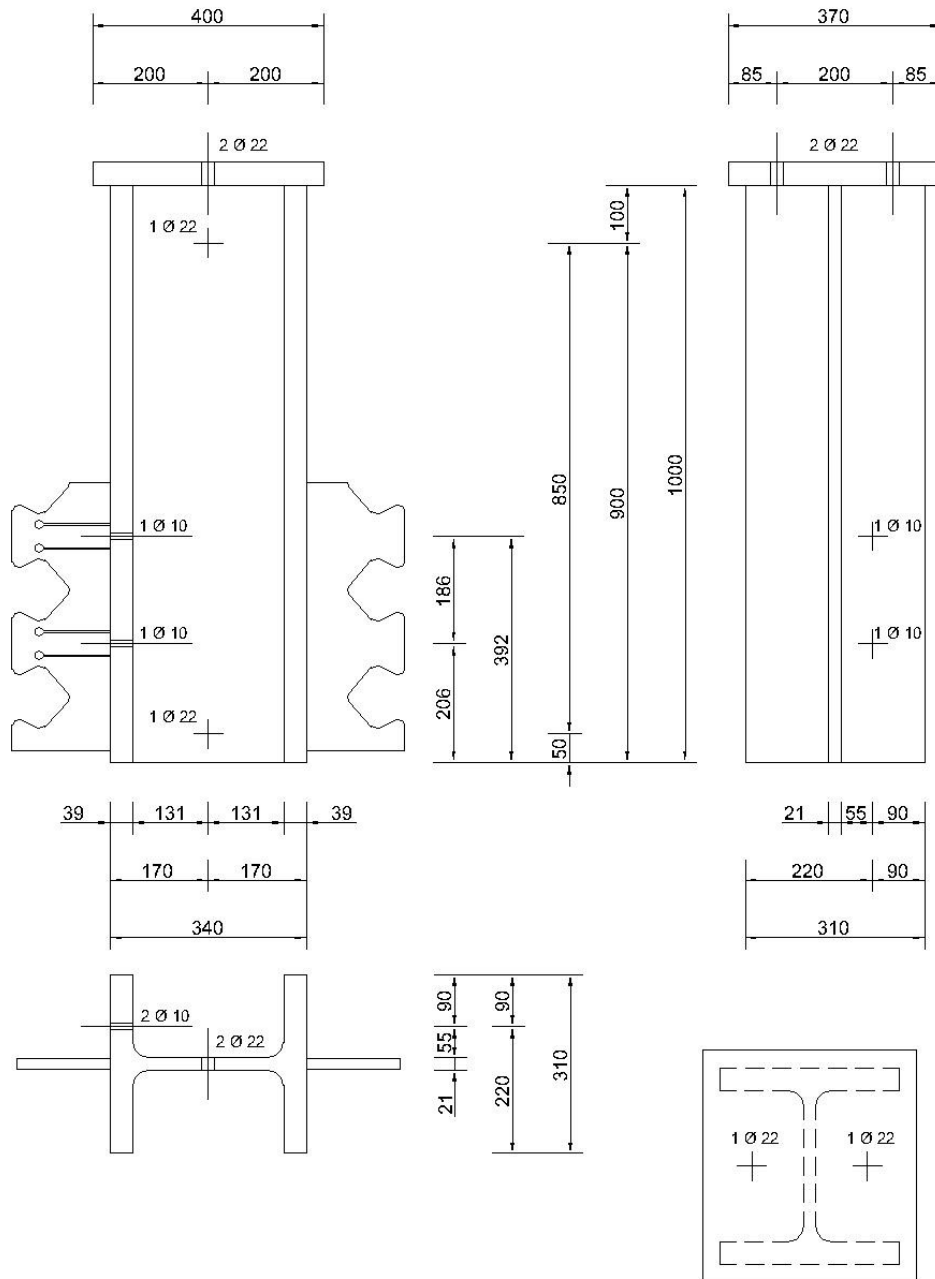
Abbildung 225: Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus

5.1.8.6. Definition des Push-Out-Versuchskörpers





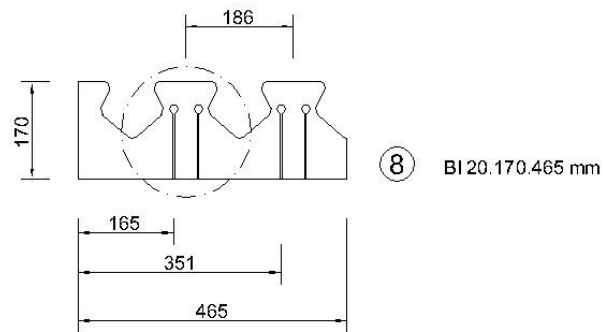
Bearbeitung Stahlbauteil "v2 B.c.1"



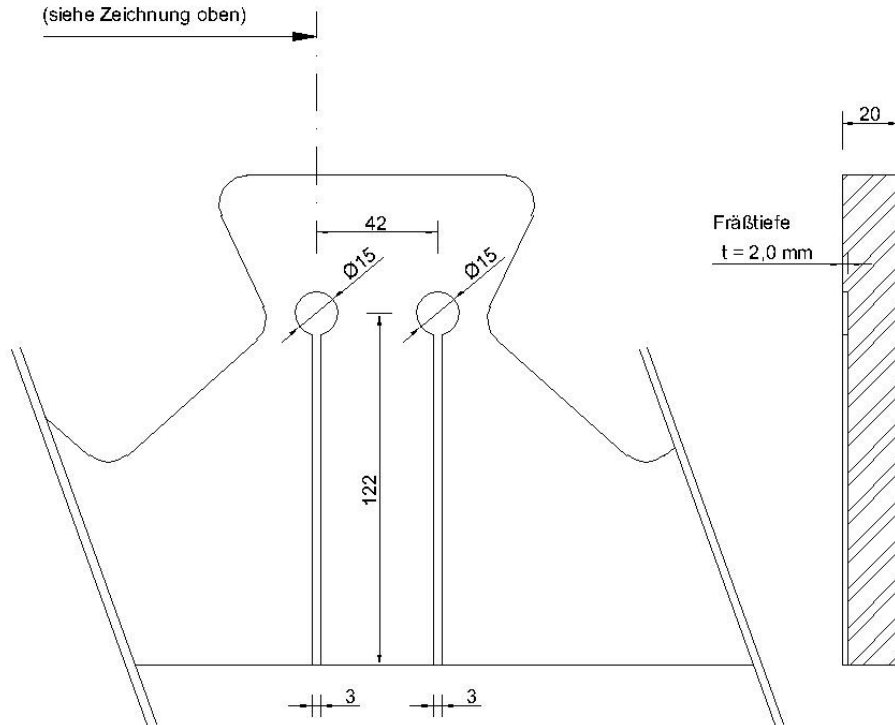
M = 1 : 10

Blatt: 1/1

Stand: 1. Juni 2006



Abstand vom Referenzpunkt:
165 mm bzw. 351 mm
(siehe Zeichnung oben)



Fräßplan zur Blechbearbeitung Pos. 8

⑧ BI 20.170.465 mm

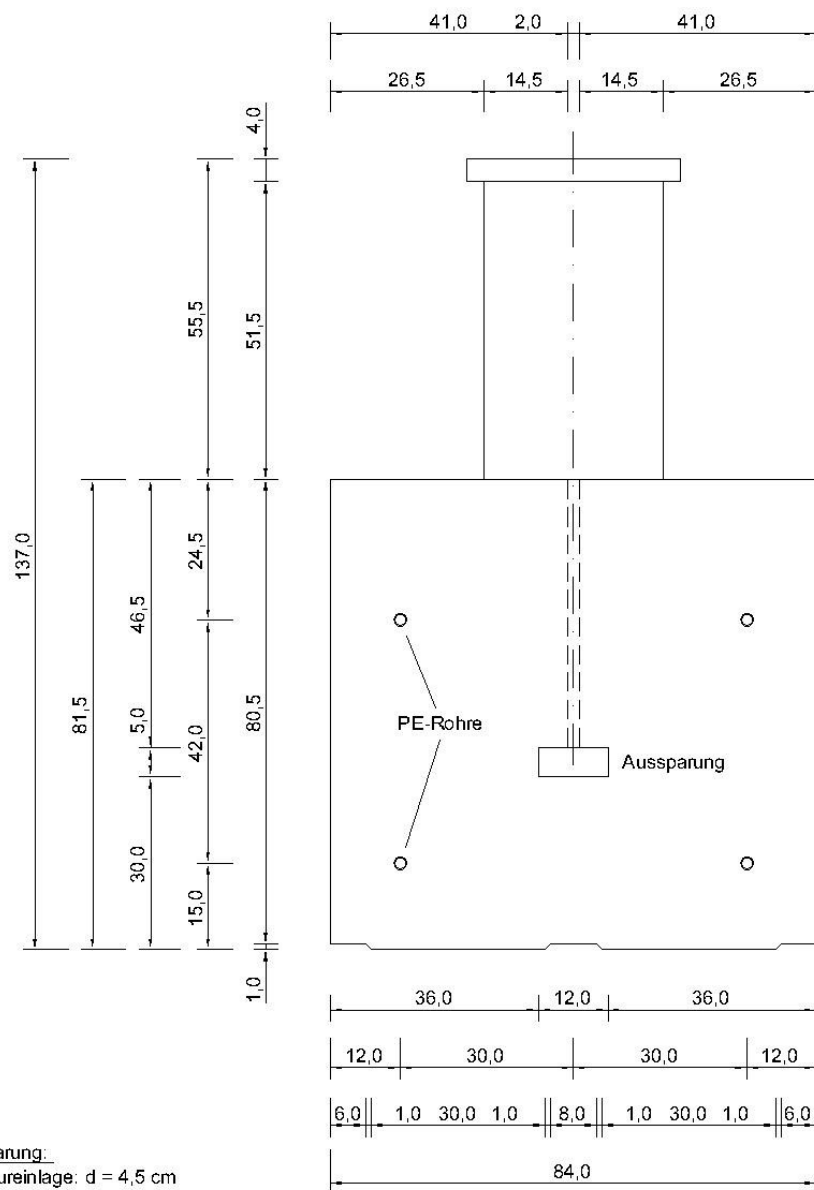
Stahl S 355 J2G3 (voraussichtlich!)

Darstellung Übersicht der Blechbearbeitung mit
zusätzlicher Detaildarstellung incl. Maße.
Frästiefe: 2,0 mm

M = 1 : 10 / 1 : 2
Blatt 8
Stand: 15. Juni 2005

Abbildung 226: Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_B_c.1

Schalungsplan "v2 B c.1"
Ansicht A - A



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

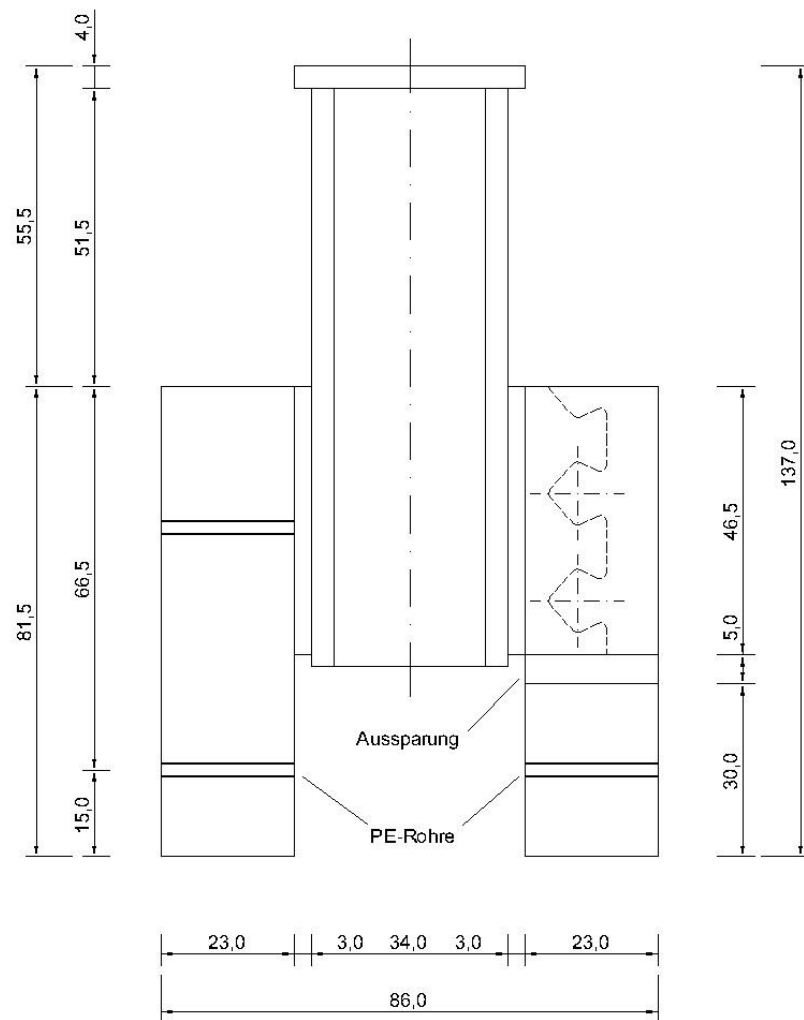
M = 1 : 10

Blatt: 1/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2_B_c.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Aussparung:
Styrodureinlage: $d = 4,5 \text{ cm}$
Blech: $d = 5 \text{ mm}$
nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
Außendurchmesser $\varnothing = 22 \text{ mm}$
mit einbetoniert,
zur Führung der Zugstangen

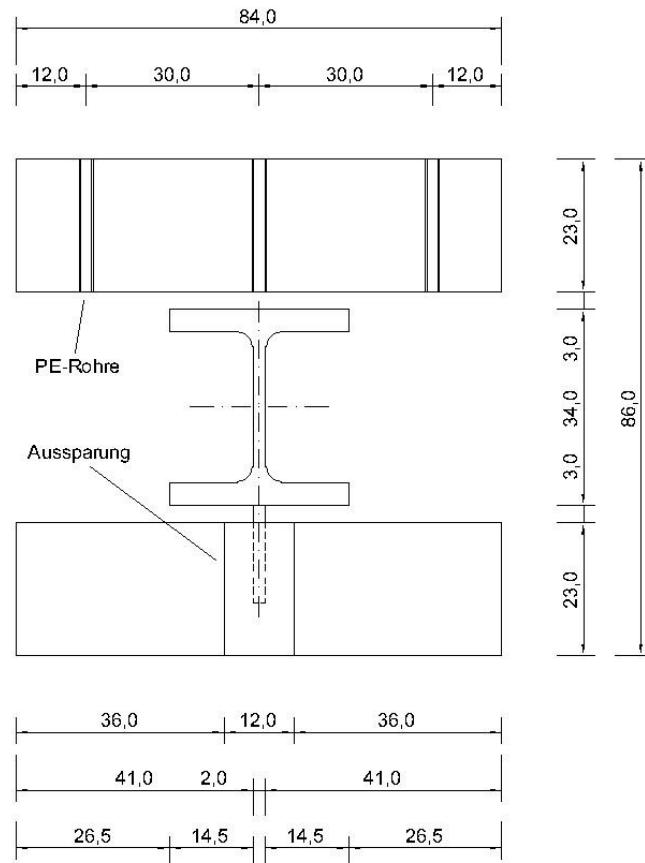
M = 1 : 10

Blatt: 2/3

Stand: 1. Juni 2006

Schalungsplan "v2 B c.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



Aussparung:
 Styrodureinlage: d = 4,5 cm
 Blech: d = 5 mm
 nach betonieren entfernen

PE-Rohre:
 Außendurchmesser $\varnothing = 22$ mm
 mit einbetoniert,
 zur Führung der Zugstangen

M = 1 : 10

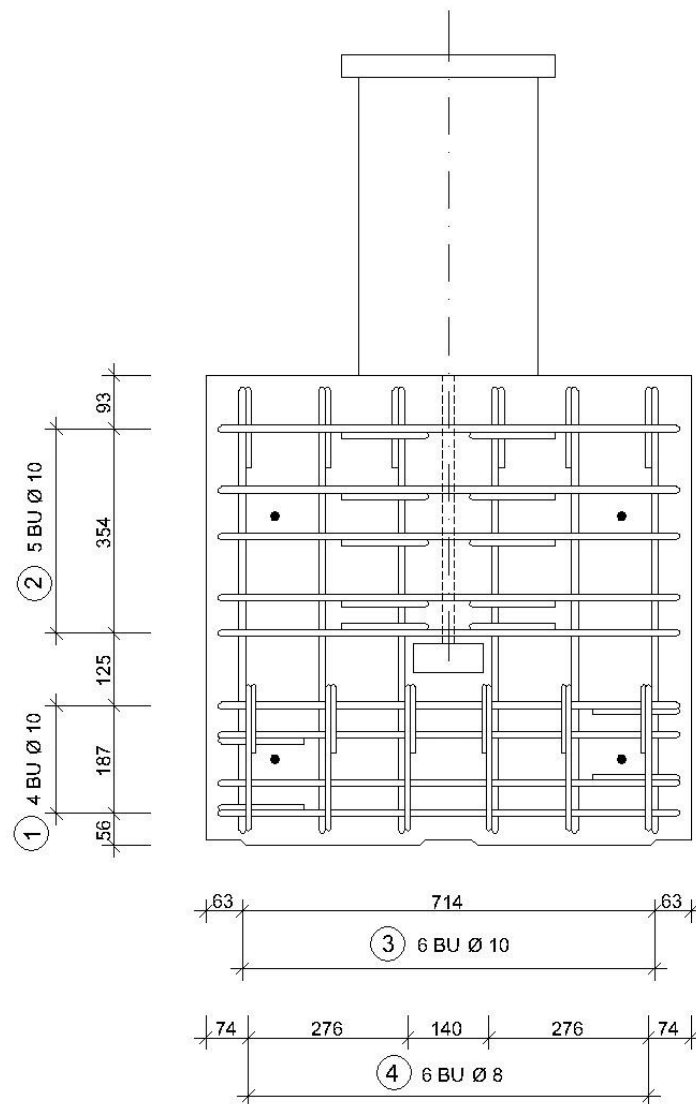
Blatt: 3/3

Stand: 1. Juni 2006

Abbildung 227: Schalpläne v2_B_c.1

Bewehrungsplan "v2_B_c.1"

Ansicht A - A



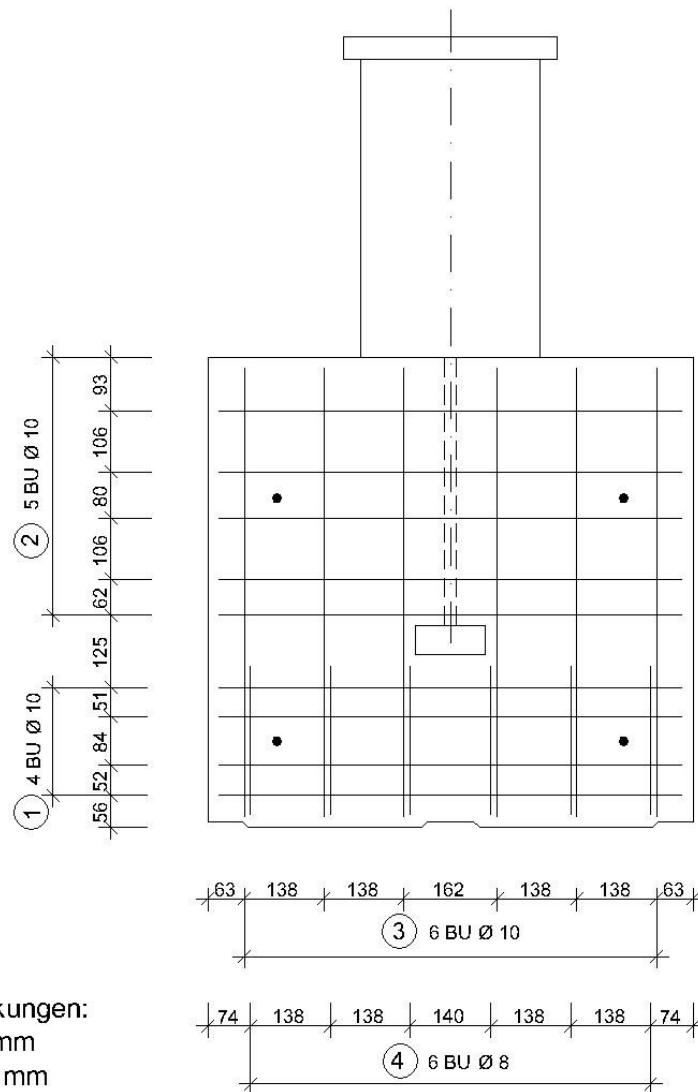
M = 1 : 10

Blatt: 1/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_c.1"

Ansicht A - A



Betondeckungen:
oben: 20 mm
rechts: 20 mm
links: 20 mm
unten: 20 mm

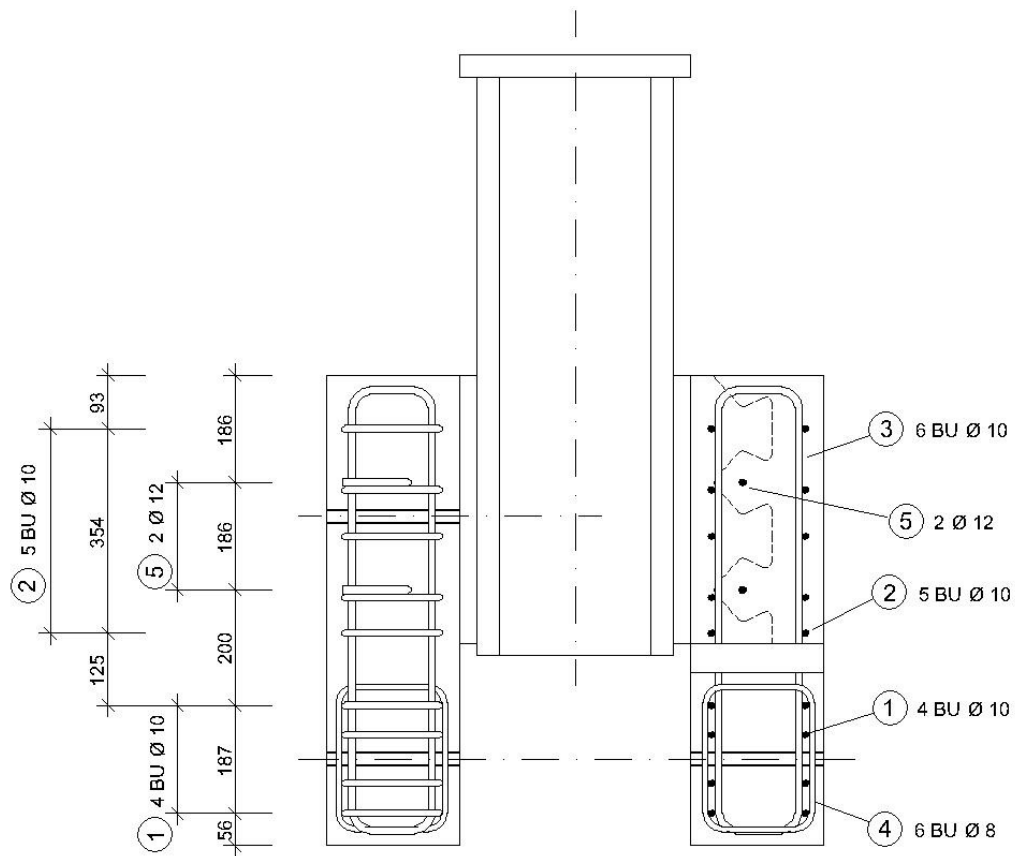
M = 1 : 10

Blatt: 2/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_c.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



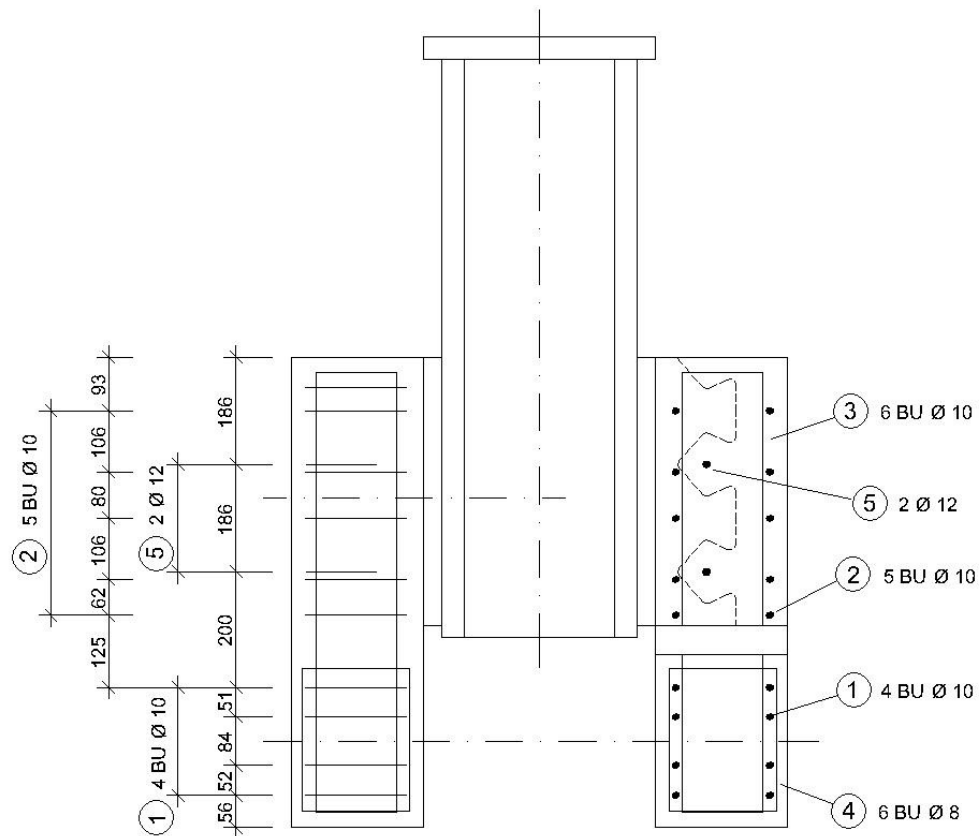
M = 1 : 10

Blatt: 3/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_c.1"

Schnitt D - D, Schnitt E - E



Betondeckungen:
oben innen: 30 mm
oben außen: 25 mm

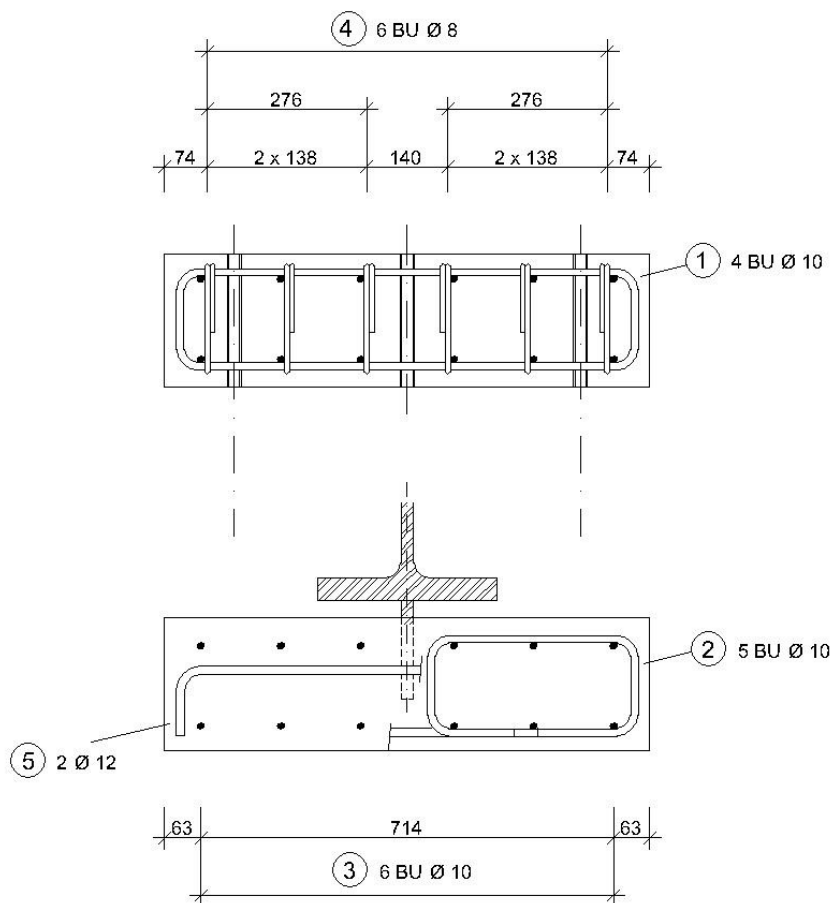
M = 1 : 10

Blatt: 4/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_c.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



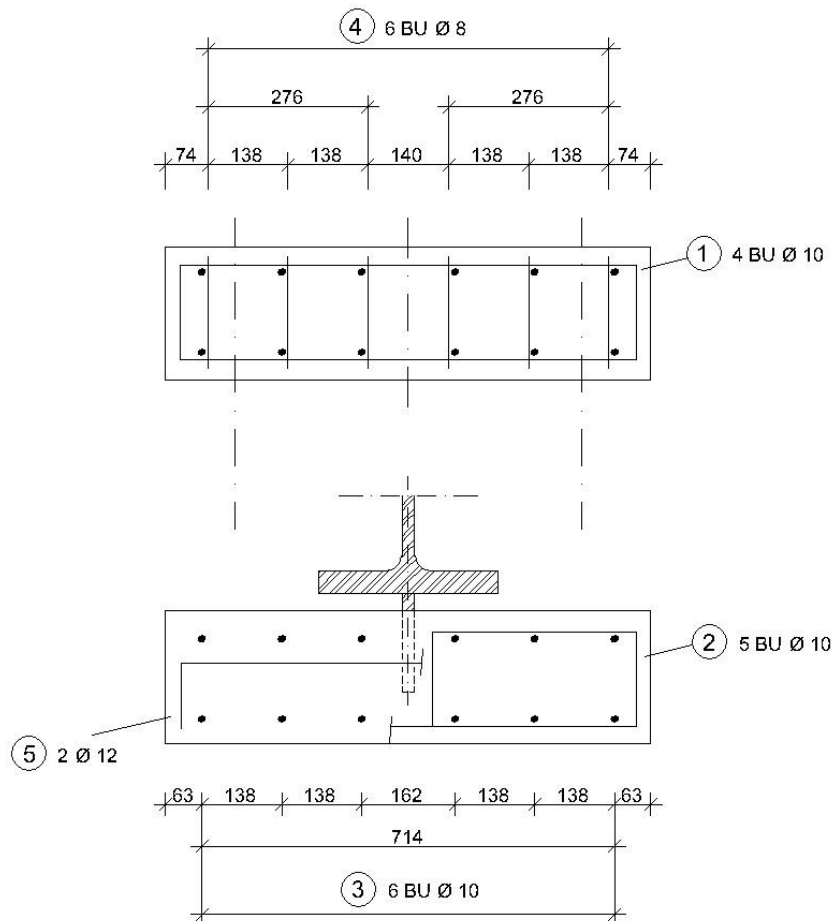
M = 1 : 10

Blatt: 5/7

Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_c.1"

Schnitt B - B, Schnitt C - C



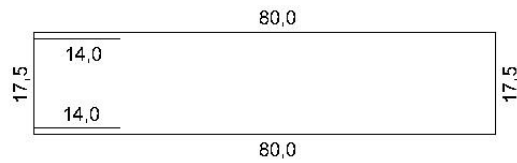
M = 1 : 10

Blatt: 6/7

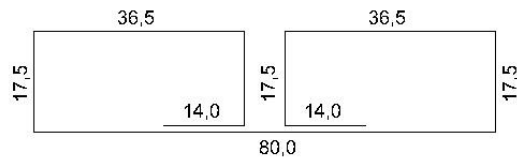
Stand: 1. Juni 2006

Bewehrungsplan "v2_B_c.1"

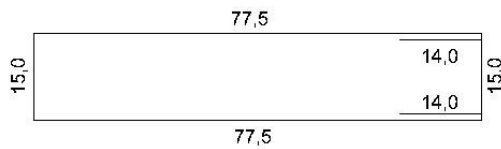
bemaßte Biegeformen



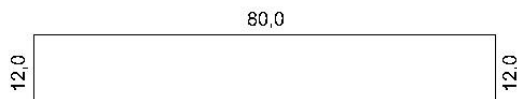
- ① $2 \times 4 = 8 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 223,0 \text{ cm} - 1,38 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 17,84 \text{ m} - 11,0 \text{ kg}$



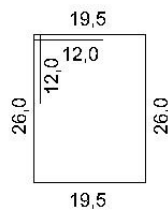
- ② $2 \times 5 = 10 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 251,0 \text{ cm} - 1,55 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 25,1 \text{ m} - 15,5 \text{ kg}$



- ③ $2 \times 6 = 12 \text{ BU } \varnothing 10$
 $l_g = 213,0 \text{ cm} - 1,31 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 25,6 \text{ m} - 15,8 \text{ kg}$



- ⑤ $2 \times 2 = 4 \varnothing 12$
 $l_g = 104,0 \text{ cm} - 0,92 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 4,2 \text{ m} - 3,7 \text{ kg}$



- ④ $2 \times 6 = 12 \text{ BU } \varnothing 8$
 $l_g = 115,0 \text{ cm} - 0,45 \text{ kg}$
 $\text{ges} = 13,8 \text{ m} - 5,5 \text{ kg}$

M = 1 : 10

Blatt: 7/7

Stand: 9. März 2006

Abbildung 228: Bewehrungspläne v2_B_c.1

5.2. Abkürzungsverzeichnis

FE Simulation	Finite Elemente Simulation
TVFA	Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt
DMS	Dehnmessstreifen
PE	Poly-Ethylen; ein Kunststoff
XPS	Extrudiertes Polystyrol

5.3. Formelverzeichnis

Gleichung 1: [30], (4.1)	47
Gleichung 2: [30], (4.2)	47
Gleichung 3: [30], (4.3)	48
Gleichung 4: [30], (4.4)	48
Gleichung 5: [30], (4.5)	49
Gleichung 6: [30], (4.6)	49
Gleichung 7: [30], (4.7)	49
Gleichung 8: [30], (4.8)	49
Gleichung 9	64
Gleichung 10	65
Gleichung 11: [21], Formel 15.14	66
Gleichung 12: [21], Formel 3.90	66
Gleichung 13: [21], Formel 3.309	66
Gleichung 14: [21], Formel 3.167	66
Gleichung 15: [21], Formel 9.25	67
Gleichung 16: [21], Formel 9.26	67

5.4. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verbundträger mit Perfobondleiste (links) [28] und mit Kombi-Verdübelung (rechts) [28]	7
Abbildung 2: Dübeln in Puzzleform (links) [30] und Kronenform (rechts) [30]	8
Abbildung 3: Aufbau der Arbeit	9
Abbildung 4: Schema Verbundbau	10

Abbildung 5:	Übersicht genormter Verbundmittel im Stahl-Beton Verbundhochbau bzw. Verbundbrückenbau [24].....	12
Abbildung 6:	Kopfbolzendübel [25].....	13
Abbildung 7:	Montage der Kopfbolzendübel (links) und fertig bestückte Träger (rechts)	13
Abbildung 8:	Schema UP-Schweißen (links) [26] und UP-Anlage (rechts) [27].....	15
Abbildung 9:	Aufbau Push-Out-Versuchskörper v2_A_a.2.....	16
Abbildung 10:	Stahlteile des Push-Out-Versuchskörpers v2_A_a.2.....	17
Abbildung 11:	DMS aufgeklebt (links) und alle 6 Drähte angelötet (rechts).....	18
Abbildung 12:	Fertig verkabelte Probekörper	18
Abbildung 13:	Abdeckung aus Stahlblech (links), Für die Abdeckung vorbereiteter Stahldübel (rechts).....	19
Abbildung 14:	Aushärten der Klebung (links), Abdecken mit Gewebefband (rechts).....	19
Abbildung 15:	Geflochtener Bewehrungskorb: Draufsicht (links), Seitenansicht (rechts).	20
Abbildung 16:	Bewehrungskorb mit Klötzchen (links), Anordnung um die Dübel (rechts) [30]	20
Abbildung 17:	Zuschnitt im Vorhinein.....	21
Abbildung 18:	Unterkonstruktion (links), Positionieren der Stahlträger (rechts)	21
Abbildung 19:	Ausschnitt für Verkabelung.....	22
Abbildung 20:	Ausstopfen (links), Abkleben (rechts) des Ausschnitts.....	23
Abbildung 21:	Einsetzen der Bewehrungskörbe	23
Abbildung 22:	Schließen der Schalung	24
Abbildung 23:	Würfel (links), Schalung für Prismen (rechts)	25
Abbildung 24:	Abkleben des Fußbodens.....	25
Abbildung 25:	Ausbreittisch [29] (links), Vorbereitung zum Betonieren (rechts).....	26
Abbildung 26:	Befüllen des Betonkübels	26
Abbildung 27:	Bestimmung des Ausbreitmaßes	27
Abbildung 28:	Verdichtung am Rütteltisch (links), Verdichten mit der Rüttelflasche (rechts)	27
Abbildung 29:	Beschriften der Würfel (links), Abdecken der Push-Out-Versuchskörper (rechts).....	28
Abbildung 30:	Ausschalen der Probekörper.....	29
Abbildung 31:	Anbringen der Wegaufnehmer für Abheben (links), für Längsverschiebung (rechts).....	30
Abbildung 32:	Anordnung der Wegaufnehmer	31

Abbildung 33:	Kabelklemmbrett (links), Montage der Halterungen für die Messtechnik (rechts).....	31
Abbildung 34:	Zwischenstücke (links), fixe und bewegliche Druckplatte (rechts)	32
Abbildung 35:	Einhaben der Push-Out-Versuchskörper	33
Abbildung 36:	Anordnung der Wegaufnehmer	33
Abbildung 37:	Einbausituation der Probekörper im großen Prüfraumen	34
Abbildung 38:	vertikale Wegaufnehmer (links), horizontale Wegaufnehmer (rechts)	35
Abbildung 39:	Würfelprüfung in der TVFA.....	36
Abbildung 40:	Prismenprüfung (oben) und Anordnung der Wegaufnehmer (unten)	37
Abbildung 41:	Vorgegebene Arbeitslinie der Push-Out-Versuche	38
Abbildung 42:	Übersicht und geometrische Angaben zu den 7 getesteten Dübelblechen [30]	39
Abbildung 43:	Adaptierung der Stahldübel v2_A_a.2 (links) [30] und v2_A_b.2 (rechts) [30]	40
Abbildung 44:	Schnittführung zur Herstellung der Dübelbleche v2_A_b.2 (links) [30] und v2_B_b.1 (rechts) [30].....	41
Abbildung 45:	Montage der Stahldübelleisten und der Kopfplatte auf dem HE 300 M (links) und Zusammenstellung der Bewehrungselemente (rechts) für Versuchskörper v2_A_b.2.....	41
Abbildung 46:	Übersicht und geometrische Angaben zu den 8 getesteten Stahlbauelementen [30]	42
Abbildung 47:	Aufbau der Schalung (links und rechts)	43
Abbildung 48:	Übersicht und geometrische Angaben zu den 7 getesteten Prüfkörpern [30]	44
Abbildung 49:	Lastabtragungsmodell für den Push-Out-Versuchskörper [30].....	45
Abbildung 50:	Würfel zur Ermittlung der Materialkennung des Betons	46
Abbildung 51:	Ermittlung von $f_{cm, zyl}$ [30].....	47
Abbildung 52:	Auswertungszyklen, Ermittlung statischer E-Modul	50
Abbildung 53:	Nach [18] vorgegebene Lagerungsbedingungen und Anordnung der Wegaufnehmer zur Ermittlung des statischen Elastizitätsmoduls (links); Prüfmaschine der Firma Schenk (rechts).....	51
Abbildung 54:	Schematischer Aufbau einer Messeinrichtung [21].....	52
Abbildung 55:	Schema eines Folien-DMS [21]	53
Abbildung 56:	DMS-Anordnung der eingesetzten Dehnungsrosette RY31 [23].....	54
Abbildung 57:	Datenblatt der eingesetzten DMS-Rosette RY31 [23]	54

Abbildung 58:	Prinzip der Wirkungsweise induktiver Tauchanker [22].....	55
Abbildung 59:	Schema eines induktiven Wegaufnehmers mit zwei Spulen [22]	55
Abbildung 60:	eingesetzte induktive Wegaufnehmer der Firma Solartron	56
Abbildung 61:	Regelkreis für den Push-Out-Versuch und Ausgabe der Messwerte [30]....	57
Abbildung 62:	Zylinder, Hydraulik und Steuerung des großen Prüfrahmens	58
Abbildung 63:	Im Druckeinbau eingebauter Prüfkörper mit Druckpressen.....	59
Abbildung 64:	Vorgegebene Arbeitslinie zur Steuerung der Push-Out-Versuche (links) [30], Kraftabfall im Haltepunkt mit Konvergenzkriterium (rechts) [30]	60
Abbildung 65:	charakteristisches Kraft-Verformungsverhalten [30]	61
Abbildung 66:	Kraftabfall vor und nach $P_{\max}$	62
Abbildung 67:	Übersicht der Montage der Wegaufnehmer: horizontal montierte Wegaufnehmer zur Messung der Relativverschiebung δ , vertikal montierte Wegaufnehmer zur Messung der Abhebung Δ	63
Abbildung 68:	Idealisierte Dübelkennlinie einschließlich charakterisierender Kenngrößen (links), Ermittlung des quasi-statischen Tragvermögens P_{stat} aus der Dübelkennlinie (rechts) [30].....	64
Abbildung 69:	DMS-Rosette (Mang_15.10)	65
Abbildung 70:	Zusammenfassung aller experimentell ermittelten Dübelkennlinien	69
Abbildung 71:	Auswertung und Analyse der Versuche v2_A – Dübelkennlinien.....	70
Abbildung 72:	Auswertung und Analyse der Versuche v2_A – Abhebekennlinien	71
Abbildung 73:	Auswertung und Analyse der Versuche v2_B – Dübelkennlinien.....	72
Abbildung 74:	Auswertung und Analyse der Versuche v2_B – Abhebekennlinien	72
Abbildung 75:	Entlang der Dübelleiste an der Betonplattenaußenseite verlaufende Risse (links), im Bereich der Aussparung sich in die Breite auffächernde Rissbildung (rechts).....	73
Abbildung 76:	Hebung der Betonoberfläche an der Außenseite im Bereich der Dübelleiste (links), schollenartiger Ausbruch mit fehlendem Beton im Bereich der Lasteintragsfläche des Stahldübels (rechts).....	74
Abbildung 77:	Risse an der lastnahen Stirnseite des Betonkörpers	74
Abbildung 78:	Ausschieben mit kegelförmigem Ausbruch (links), Ausschieben ohne Ausbruch (rechts)	75
Abbildung 79:	Plastische Verformung eines Stahldübels des Versuchskörpers v2_B_b.1 (links), plastische Verformung eines Stahldübels des Versuchskörpers v2_A_a.2 (rechts)	75
Abbildung 80:	Winkeländerung im Verlauf der Prüfung bei v2_B_a.1.....	77

Abbildung 81:	Dübelkennlinie v2_A_a.1	85
Abbildung 82:	Abhebekennlinie v2_A_a.1	86
Abbildung 83:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links).....	86
Abbildung 84:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.1 bei Erreichen von $P_{\max}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	87
Abbildung 85:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.1 bei Versuchende. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	87
Abbildung 86:	Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_a.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.	88
Abbildung 87:	ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)...	88
Abbildung 88:	DMS 6 – Messwerte	89
Abbildung 89:	DMS 6 – Spannungen.....	90
Abbildung 90:	DMS 6 – Verzerrungen	90
Abbildung 91:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen	91
Abbildung 92:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus	91
Abbildung 93:	Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_a.1.....	95
Abbildung 94:	Schalpläne v2_A_a.1	98
Abbildung 95:	Bewehrungspläne v2_A_a.1.....	105
Abbildung 96:	Dübelkennlinie v2_A_a.2.....	106
Abbildung 97:	Abhebekennlinie v2_A_a.2	107
Abbildung 98:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.2 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links).....	107
Abbildung 99:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.2 bei Erreichen von $P_{\max}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	108
Abbildung 100:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_a.2 bei Versuchende. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	108
Abbildung 101:	Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_a.2 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.	109
Abbildung 102:	ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)	109
Abbildung 103:	Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch.....	110
Abbildung 104:	DMS 1 – Messwerte	111
Abbildung 105:	DMS 1 – Spannungen	111
Abbildung 106:	DMS 1 – Verzerrungen	112
Abbildung 107:	DMS 2 – Messwerte	112

Abbildung 108:	DMS 2 – Spannungen	113
Abbildung 109:	DMS 2 – Verzerrungen	113
Abbildung 110:	DMS 4 – Messwerte	114
Abbildung 111:	DMS 4 – Spannungen	114
Abbildung 112:	DMS 4 – Verzerrungen	115
Abbildung 113:	DMS 6 – Messwerte	115
Abbildung 114:	DMS 6 – Spannungen	116
Abbildung 115:	DMS 6 – Verzerrungen	116
Abbildung 116:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen	117
Abbildung 117:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus	117
Abbildung 118:	Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_a.2	121
Abbildung 119:	Schalpläne v2_A_a.2	124
Abbildung 120:	Bewehrungspläne v2_A_a.2	131
Abbildung 121:	Dübelkennlinie v2_A_b.2	132
Abbildung 122:	Abhebekennlinie v2_A_b.2	133
Abbildung 123:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_b.2 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	133
Abbildung 124:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_b.2 bei Erreichen von $P_{\max}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	134
Abbildung 125:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_b.2 bei Versuche. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	134
Abbildung 126:	Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_b.2 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.	135
Abbildung 127:	ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)	135
Abbildung 128:	DMS 1 – Messwerte	136
Abbildung 129:	DMS 1 – Spannungen	137
Abbildung 130:	DMS 1 – Verzerrungen	137
Abbildung 131:	DMS 2 – Messwerte	138
Abbildung 132:	DMS 2 – Spannungen	138
Abbildung 133:	DMS 2 – Verzerrungen	139
Abbildung 134:	DMS 4 – Messwerte	139
Abbildung 135:	DMS 4 – Spannungen	140
Abbildung 136:	DMS 4 – Verzerrungen	140
Abbildung 137:	DMS 5 – Messwerte	141
Abbildung 138:	DMS 5 – Spannungen	141

Abbildung 139:	DMS 5 – Verzerrungen	142
Abbildung 140:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen	142
Abbildung 141:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus	143
Abbildung 142:	Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_b.2	147
Abbildung 143:	Schalpläne v2_A_b.2.....	150
Abbildung 144:	Bewehrungspläne v2_A_b.2	157
Abbildung 145:	Dübelkennlinie v2_A_c.1.....	158
Abbildung 146:	Abhebekennlinie v2_A_c.1	159
Abbildung 147:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_c.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	159
Abbildung 148:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_c.1 bei Erreichen von $P_{\max}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	160
Abbildung 149:	Rissbilder der Betonplatten von v2_A_c.1 bei Versuche. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	160
Abbildung 150:	Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_A_c.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.	161
Abbildung 151:	ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)	161
Abbildung 152:	DMS 1 – Messwerte	162
Abbildung 153:	DMS 1 – Spannungen	163
Abbildung 154:	DMS 1 – Verzerrungen	163
Abbildung 155:	DMS 2 – Messwerte	164
Abbildung 156:	DMS 2 – Spannungen	164
Abbildung 157:	DMS 2 – Verzerrungen	165
Abbildung 158:	DMS 3 – Messwerte	165
Abbildung 159:	DMS 3 – Spannungen	166
Abbildung 160:	DMS 3 – Verzerrungen	166
Abbildung 161:	DMS 5 – Messwerte	167
Abbildung 162:	DMS 5 – Spannungen	167
Abbildung 163:	DMS 5 – Verzerrungen	168
Abbildung 164:	DMS 6 – Messwerte	168
Abbildung 165:	DMS 6 – Spannungen	169
Abbildung 166:	DMS 6 – Verzerrungen	169
Abbildung 167:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen	170
Abbildung 168:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus	170
Abbildung 169:	Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_A_c.1	174

Abbildung 170:	Schalpläne v2_A_c.1.....	177
Abbildung 171:	Bewehrungspläne v2_A_c.1.....	184
Abbildung 172:	Dübelkennlinie v2_B_a.1.....	185
Abbildung 173:	Abhebekennlinie v2_B_a.1	186
Abbildung 174:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_a.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	186
Abbildung 175:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_a.1 bei Erreichen von $P_{\max}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	187
Abbildung 176:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_a.1 bei Versuchende. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	187
Abbildung 177:	Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_B_a.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.....	188
Abbildung 178:	ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)	188
Abbildung 179:	Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch.....	189
Abbildung 180:	DMS 3 – Messwerte	189
Abbildung 181:	DMS 3 – Spannungen	190
Abbildung 182:	DMS 3 – Verzerrungen	190
Abbildung 183:	DMS 4 – Messwerte	191
Abbildung 184:	DMS 4 – Spannungen	191
Abbildung 185:	DMS 4 – Verzerrungen	192
Abbildung 186:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen.....	192
Abbildung 187:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus	193
Abbildung 188:	Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_B_a.1.....	197
Abbildung 189:	Schalpläne v2_B_a.1	200
Abbildung 190:	Bewehrungspläne v2_B_a.1.....	207
Abbildung 191:	Dübelkennlinie v2_B_b.1.....	208
Abbildung 192:	Abhebekennlinie v2_B_b.1	209
Abbildung 193:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_b.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	209
Abbildung 194:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_b.1 bei Erreichen von $P_{\max}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	210
Abbildung 195:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_b.1 bei Versuchende. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	210
Abbildung 196:	Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_B_b.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.....	211

Abbildung 197:	ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)	211
Abbildung 198:	Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch.....	212
Abbildung 199:	DMS 1 – Messwerte	213
Abbildung 200:	DMS 1 – Spannungen	213
Abbildung 201:	DMS 1 – Verzerrungen	214
Abbildung 202:	DMS 4 – Messwerte	214
Abbildung 203:	DMS 4 – Spannungen	215
Abbildung 204:	DMS 4 – Verzerrungen	215
Abbildung 205:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen	216
Abbildung 206:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus	216
Abbildung 207:	Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_B_b.1	220
Abbildung 208:	Schalpläne v2_B_b.1.....	223
Abbildung 209:	Bewehrungspläne v2_B_b.1.....	230
Abbildung 210:	Dübelkennlinie v2_B_c.1	231
Abbildung 211:	Abhebekennlinie v2_B_c.1	232
Abbildung 212:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_c.1 bei Erreichen von $P_{\max, \text{Vorgabe}}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	232
Abbildung 213:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_c.1 bei Erreichen von $P_{\max}$. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	233
Abbildung 214:	Rissbilder der Betonplatten von v2_B_c.1 bei Versuche. Obere Betonplatte, Dübelblech, untere Betonplatte (von links)	233
Abbildung 215:	Markierte Risse auf den Betonplatten von v2_B_c.1 nach dem Versuch. Obere Betonplatte rechts, untere Betonplatte links.	234
Abbildung 216:	ausgeschobenes Dübelblech (links); schollenförmiger Ausbruch (rechts)	234
Abbildung 217:	Pausen der Dübelbleche vor und nach dem Push-Out-Versuch.....	235
Abbildung 218:	DMS 3 – Messwerte	236
Abbildung 219:	DMS 3 – Spannungen	236
Abbildung 220:	DMS 3 – Verzerrungen	237
Abbildung 221:	DMS 4 – Messwerte	237
Abbildung 222:	DMS 4 – Spannungen	238
Abbildung 223:	DMS 4 – Verzerrungen	238
Abbildung 224:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen	239
Abbildung 225:	Winkeländerung der Hauptnormalspannungen in den Lastplateaus	239
Abbildung 226:	Konstruktions- und Bearbeitungspläne v2_B_c.1.....	243
Abbildung 227:	Schalpläne v2_B_c.1	246

Abbildung 228: Bewehrungspläne v2_B_c.1	253
---	-----

5.5. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Normen	14
Tabelle 2: Kennwerte für Baustahl, Bewehrungsstahl und Stahlträger HE-M 300.....	46
Tabelle 3: Druckfestigkeiten aus den Würfelprüfungen.....	48
Tabelle 4: Zusammenfassung der Betonkennwerte.....	49
Tabelle 5: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	68
Tabelle 6: Anfangssteifigkeiten C	68
Tabelle 7: DMS-Anordnung und -Ausfall.....	84

5.6. Literaturverzeichnis

- [1] Andrä H.P.: Neuartige Verbundmittel für den Anschluss von Ortbetonplatten an Stahlträger. Beton- und Stahlbetonbau 80 (1985), Heft 12
- [2] Leonhardt F., Andrä W., Andrä H.P., Harre W.: Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit. Beton- und Stahlbetonbau 82 (1987), Heft 12
- [3] Wurzer O.: Zur Tragfähigkeit von Betondübel. Dissertation, Universität der Bundeswehr, München, 1997
- [4] Oguejiofor E.C., Hosain M.U.: Numerical analysis of Push-Out specimens with Perfobond rib connectors. Computers & Structures Vol. 62 (1987), No. 4
- [5] Machacek J., Studnicka J., 1999: Stahlbetonverbundträger mit Perfobond-Leiste. Stahlbau 68, Heft 1
- [6] Zapfe C., 2001: Trag- und Verformungsverhalten von Verbundträgern mit Betondübeln zur Übertragung der Längsschubkräfte. Dissertation, Universität der Bundeswehr, München
- [7] Klaiber F.W., Wipf T.J.: An Alternate Shear Connector for Composite Action. Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings, www.ctre.iastate.edu/pubs/midcon/klaiber.pdf [Stand: 26.10.2007]
- [8] Valente I., Cruz P.J.S., 2004: Experimental analyses of Perfobond shear connection between steel and lightweight concrete. Journal of Constructional Steel Research 60
- [9] Lange J., Song J., 2004: Untersuchung der Anrisslebensdauer von Betondübeln mit Hilfe des Örtlichen Konzepts. Stahlbau 73, Heft 3

- [10] Schmitt V., Seidl G., Hever M., Zapfe C., 2004: Verbundbrücke Pöcking – Innovative VFT-Träger mit Betondübeln. Stahlbau 73, Heft 6
- [11] Jurkiewicz B., Hottier J.M., 2005: Static behavior of a steel-concrete composite beam with an innovative horizontal connection. Journal of Constructional Steel Research 61
- [12] Kim H.Y., Jeong Y.J., 2006: Experimental investigation on behavior of steel-concrete composite bridge decks with perfobond ribs. Journal of Constructional Steel Research 62
- [13] Iwansics, M: Numerische Untersuchungen zu neuartigen Schubverbinderleisten. Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktion – Stahlbau, Technische Universität Wien, April 2007
- [14] ÖNORM EN 1994-1-1: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton; Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau. Österreichisches Normungsinstitut, 1020 Wien, Ausgabe 2005-06-01
- [15] ENTWURF ÖNORM EN 1994-2: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton; Teil 2: Verbundbrücken. Österreichisches Normungsinstitut, 1020 Wien, Ausgabe 1999-10-01
- [17] ÖNORM B 4710-1: Beton; Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis. Österreichisches Normungsinstitut, 1020 Wien, Ausgabe 2002-01-01
- [18] ÖNORM B 3303: Betonprüfung. Österreichisches Normungsinstitut, 1020 Wien, Ausgabe 1983-03-01
- [19] ÖNORM B 4200: Massivbau; Teil 7: Stahleinlagen. Österreichisches Normungsinstitut, 1020 Wien, Ausgabe 1987-04-01
- [20] Kolbitsch A.: Skriptum Baukonstruktionen; Kapitel 3: Sicherheitsbetrachtungen. Technische Universität Wien, Institut für Hochbau und Technologie, Wien, 2005.
- [21] Mang H. und Hofstetter G., 2000: Festigkeitslehre, Springer-Verlag, Wien
- [22] Kreuzer M., 1998: WA-Wegaufnehmer - robust und genau bei kurzer Baulänge. HOTline, Firmenzeitschrift der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
- [23] www.hbm.at: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH,
<http://www.hbm.de/products/SEURLF/ASP/SFS/SUBCAT.18/CATEGORY.3/PRODI D.244/MM.3,33,-1/SFE/ProductDataSheet.htm> [Stand: 26.10.2007]
- [24] Fink J., 2007: Skriptum Stahlbau I, Technische Universität Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Stahlbau
- [25] <http://www.halfen-deha.de>: Halfen-Deha Vertriebsgesellschaft mbH,
http://www.halfen-deha.de/?id=786&id_lc=22 [Stand: 16.08.2008]

- [26] Dilthey U., 2007: Projekt 13.864 N des Instituts für Schweißtechnik und Fügetechnik der Rheinisch - Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
- [27] www.sl-magdeburg.de: Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg, <http://www.sl-magdeburg.de/content/rubrik/17> [Stand 26.10.2007]
- [28] Mangerig, I., Zapfe, C., 1998: Zum Trag- und Verformungsverhalten von Verbundträgern mit obergurtlosen Stahlprofilen und großen Kombidübeln als Verbundmittel, Untersuchungsbericht, Universität der Bundeswehr
- [29] Maydl P., 2006: Skriptum Baustoffkunde, FH Camillo Sitte, Wien
- [30] Petraschek T., 2008: Modelle zur Vorhersage des Tragvermögens eines Kronendübeln als alternativer Schubverbinder, Dissertation, Technische Universität Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Stahlbau
- [31] EN 1992-1-1: Eurocode 3; Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten; Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Europäisches Komitee für Normung, rue de Stassart 36, 1050 Brüssel, Belgien, Ausgabe: Dezember 2004.
- [32] CEB-FIP MODEL CODE 1990: Design Code. Bulletin d'Information No. 213/214. Comité Euro-International du Béton, Case Postale 88, 1015 Lausanne, Schweiz, 1993.