Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

DIPLOMARBEIT
MASTER'S THESIS

Decke für Installationen - Traglastversuche und Berechnungen

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

unter der Leitung von
o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Johann Kollegger, M.Eng.
und
Universitätsassistent Dipl.-Ing. Andreas Ernst Kainz

Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau / E212
der Technischen Universität Wien

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ariana Gómez Tabanera
Matr.-Nr.: 0827682
Princesa de Éboli, 70, 4 C
28050 Madrid
Spanien

Wien, im Juni 2009 . . . . . .

DANKSAGUNG

Me gustaría dedicar este proyecto en primer lugar a mi familia y más concretamente a mis padres y a mi novio, porque siempre han estado junto a mí en estos meses, animándome, apoyándome y dándome fuerzas.

Pero también me gustaríia dar las gracias a todas las personas del Instituto de Tragkonstruktionen- Betonbau de la Universidad Técnica de Viena, que me han ayudado en la ejecución y realización de este Proyecto de Fin de Carrera.
A Herr o.Univ.Prof. Dipl.- Ing. Dr.-Ing. Johann Kollegger por haberme ofrecido desde el principio un proyecto que poder realizar en este instituto y haberme suministrado un tema muy interesante en el cual dedicarme; a Herr Universitätsassistent Dipl.-Ing. Andreas Kainz, por haber estado ayudándome en cada momento, todos los días en estos meses, por su gran paciencia, trabajo y dedicación conmigo.

Y una mencion especial se la dedico a la ciudad de Viena porque durante este año ha sido mi hogar, donde me he sentido acogida y donde he encontrado nuevos amigos y compañeros de universidad que espero no perder nunca.

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG.....3

RESUMEN DEL PROYECTO…….....4

SUMMARY…….....5

1.-HERSTELLUNG.....6

2.- VERSUCHSKÖRPER.....8

2.1.- Versuchskörper A.....8

2.1.1.- Beschreibung.....8
2.1.2.- Fachwerkmodell.....13
2.1.3.- Atena Berechnung.....16
2.1.4.- Durchbiegung in Feldmitte VK A 18
2.1.5.- Dehnungen.....20
2.1.6.- Die Risse.....21

2.2.- Versuchskörper B.....25

2.2.1.- Beschreibung.....25
2.2.2.- Fachwerkmodell.....28
2.2.3.- Atena Berechnung.....30
2.2.4.- Durchbiegung in Feldmitte VK B 32
2.2.5.- Dehnungen.....34
2.2.6.- Die Risse.....36

2.3.- Versuchskörper C.....39

2.3.1.- Beschreibung.....39
2.3.2.- Fachwerkmodell.....42
2.3.3.- Durchbiegung in Feldmitte VK C 43
2.3.4.- Dehnungen.....45
2.3.5.- Die Risse.....46

2.4.- Versuchskörper D.....51

2.4.1.- Beschreibung.....51
2.4.2.- Fachwerkmodell.....54
2.4.3.- Durchbiegung in Feldmitte VK D 56
2.4.4.- Dehnungen.....58
2.4.5.- Die Risse.....59

2.5.- Versuchskörper E.....65

2.5.1.- Beschreibung und Atena Ergebnisse.....65
2.5.1.1.- Variante E 01.....68
2.5.1.2.- Variante E 02.....70
2.4.2.- Versuchskörper E im Labor.....73

2.6.- Versuchskörper F.....77

2.6.1.- Beschreibung und Atena Ergebnisse.....77
2.6.1.1.- Variante F 03.....80
2.6.2.- Versuchskörper F im Labor.....83

3.- SCHLUSSFOLGERUNG.....88

4.- LITERATURVERZEICHNIS.....89

ZUSAMMENFASSUNG

Das Institut für Tragkonstruktionen der Technischen Universität Wien entwickelt ein neues Deckensystem:

Die Decke für Installationen.

Vor diesen Untersuchungen wurden bereits zwei Großversuche gemeinsam mit der Fertigteilfirma Katzenberger Beton und Fertigteilwerke GmbH realisiert [2].

Die Großversuche haben gezeigt, dass das Design der Fugen eine entscheidende Rolle bei der Tragfähigkeit der Struktur spielt. Deshalb wurden bei den weiteren Versuchen die Verbindungen der Fertigteile getestet.

Auf der Grundlage der Erkenntnisse ans dem Großversuch, hat man einen geeigneten Prototyp entwickelt, welcher zur Massenproduktion geeignet ist. Die Abmessungen wurden für den Straßentransport von Fertigteilen optimiert.

Gemeinsam mit der Firma Franz Oberndorfer GmbH wurde an der Entwicklung des „Massenprodukts Decke für Installationen“ gearbeitet.

Die für die Tragfähigkeit verantwortlichen Rippen wurden so herstellt, wie im fertigen Produkt. Die Tragfähigkeit und das Tragverhalten wurde anhand von Vierpunkt – Biegeversuchen getestet.

Anhand der Versuche kann gezeigt werden dass die geeignete Bewehrungsführung das gewünschte Tragverhalten ergibt. Um das Tragverhalten abzuschätzen, wurden zusätzlich nichtlineare Berechnungen durchgeführt.

Mit der aus den Versuchen erhaltenen Bewehrungsführung, erhält man ein sehr trägfähiges System, das dem Architekten große Freiräume gibt und dem Bauherrn ein flexibles und resourcenschondes Gebäude.

RESUMEN DEL PROYECTO

El instituto de Tragkonstruktion de la Universidad Tecnica de Viena ha llevado a cabo un nuevo sistema de construccion de techos:

Die Decke für Installationen (el techo para instalaciones).

Antes de estos ensayos para modelar esta estructura se realizaron otros dos ensayos a mayor escala en los laboratorios de la universidad en colaboracion con la empresa de construciones prefabricadas de hormigon Katzenberger und Fertigteilwerk GmbH.

Dichas estructuras demostraron que el diseno de las juntas jugo un papel decisivo para la capacidad portante de la estructura y que las losa de compresion superior in situ de 5 cm de grosor y el hormigonado de las juntas fue suficiente para la creacion de una estructura portante monolitica. De hecho, la capacidad portante en el area de las perforaciones pudo duplicarse con el diseno de juntas. Con los nuevos ensayos se probara la capacidad de union entre las partes prefabricadas.

A partir de los conocimientos obtenidos en estos ensayos, se ha desarrollado un prototipo adecuado para la produccion en serie, incluso se han optimizando las dimensiones para el transporte por carretera de las partes prefabricadas, haciendo la estructura flexible a las peticiones especificas de luz y altura necesarias para el edificio y sus instalaciones.

Junto con la empresa Franz Oberdorfer GmbH se ha trabajado en el desarrollo de "Massenprodukts Decke für Installationen" (productos en serie para techos para instalaciones).
Al igual que los productos prefabricados, se ha construido una estructura con huecos que no por ello disminuye la resistencia mecanica, pero si contribuye a aligerar la estructura.
El comportamiento mecanico de la estructura y su resistencia han sido seguidos por cuatro estructuras cargas en cuatro puntos a flexion.
La base de los ensayos puede mostrar que el adecuado estudio y ejecucion de la armadura en la estructura puede obtener el comportamiento mecanico deseado.Para evaluar este comportamiento, ademas se han utilizado modelos no lineales.

Con la obtencion de diversos modelos de armadura, han resultado sistemas optimos para carga muy elevada, que ademas ofrece a los arquitectos y a los propietarios edificios flexibles y con recursos.

SUMMARY

The institute of Tragkonstruktionen at Technical University of Vienna developed a new system for ceiling construction:

Die Decke für Installationen (The slab for installations).

Before the tests, which are described in this thesis two large experiments, together with the Fertigteilcompany Katzenberger and Fertigteilwerk GmbH have been carried out [2].

The big tests have shown that the design of the joints play a crucial role in the load carrying capacity of the slab. Therefore, we have tested the prefabricated parts and their joints with further test.

On the basis of the obtained findings to the large-scale test, there is a prototype for mass production which is suitable. The dimensions have been developed for road transport of the components.

The optimization of these prefabricated elements provides a fast and simple structure and large savings in materials. The negative effect from the calculation of the structure is minimized because it is not necessary to use the support during the installation.
You can also get great advantages by minimizing the amount of designs for installations and by reducing the weight of the structure.

In this way, to create the ground for installations and facilities, the high value is placed on the flexibility of the architecture, manufacturing and use the building.

1.- HERSTELLUNG

Das Ziel dieses Projekts ist, aus zwei vorgefertigten und symmetrischen Strukturen mit 8,5 m Länge, 1 m Höhe und gemeinsam 40 cm Breite eine tragfähige Fachwerkstruktur zu erstellen. Diese Versuchskörper haben drei trapezförmige Öffnungen für die Installationen, mit einer Breite von 1,90 m und einer Höhe von 24 cm - 82 cm. Sie sind in Längsrichtung mit Ortbetonverguss verbunden. Teilweise gibt es auch eine Fuge in Längsrichtung.

Zur Optimierung und Verbesserung ihrer Funktionsweise in verschiedenen Beanspruchungen, wurden sechs Versuchskörper mit den gleichen Abmessungen belastet. Man hat jeweils Änderung in der Bewehrung gemacht, so dass man verschiedene Arten des Versagens erhalten hat. Diese Belastung besteht aus zwei punktuellen Kräften, die 3,25 m von den Enden des Trägers liegen, und sie sind symmetrisch in Bezug auf die Mitte der Struktur. Die Belastung wird mittels vier hydraulischen Pressen aufgebracht.
Gemessen werden die Durchbiegung der Rippe und die Verzerrungen der Fachwerstäbe.

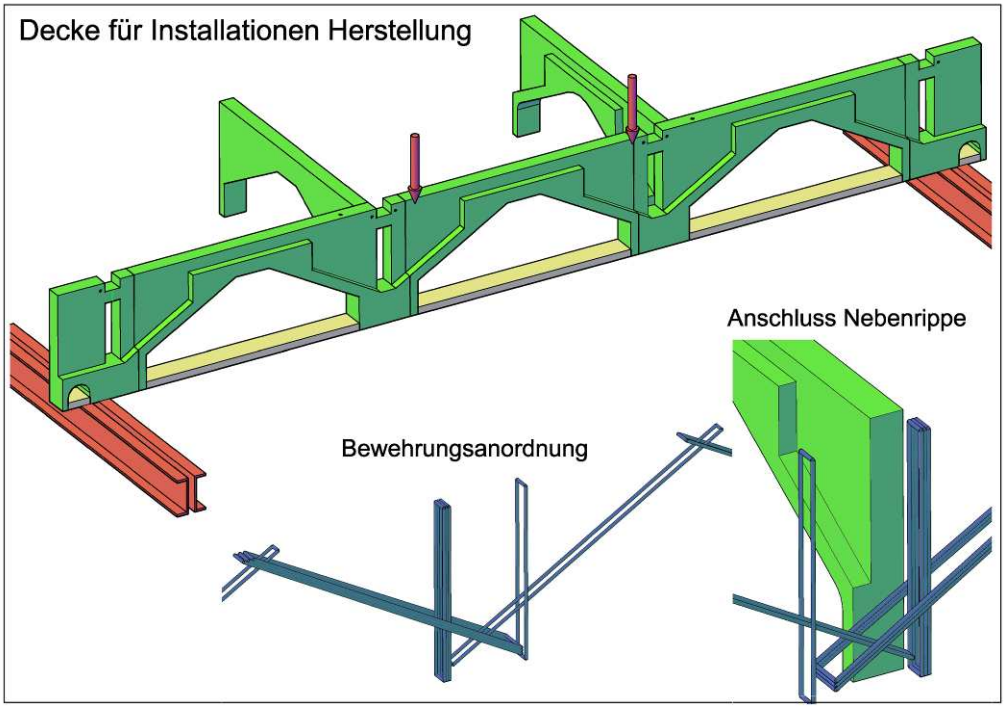


Abbildung 1: Bilder von der Decke für Installationen

Zur Herstellung der Struktur hat man folgendes getan:

- Erstens stellt man jeden Halbrippenfertigteil her. Jeder Fertigteil besteht aus fünf unterschiedlichen Schalungselementen, wie man in Abbildung 2 sehen kann, wo zwei von ihnen eine Länge von 2,50 m haben, das Kernstück hat 2,10 m und die Endteile haben 70 cm Länge. Die zwei Halbrippen wurden mit Ortbeton ausbetoniert. Eine Fuge wird in Längsrichtung hergestellt und zwar bei VK B, VK C, VK D, VK E und VK F.

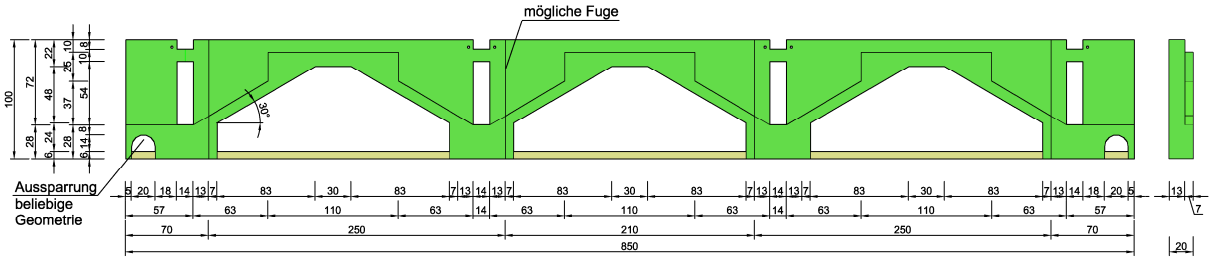


Abbildung 2: Ein Halbrippenfertigteil

Abbildung 3: Zwei Fotos von der Struktur mit Teilen aus Ortbeton und Fertigbeton

2.- VERSUCHSKÖRPER

2.1.- VERSUCHSKÖRPER A

2.1.1.- BESCHREIBUNG

Geometrie des Versuchskörpers: 8,5 m lang, 1,00 m hoch und 0,40 m breit (Abbildung 4).
Für die Versuche, nimmt man zwei Fertigteile welche mit Ortbeton vergossen werden.
Die Struktur hat drei gleichförmig trapezoidförmige Öffnungen, (1,90 m lang, 0,24 m - 0,82 m hoch).

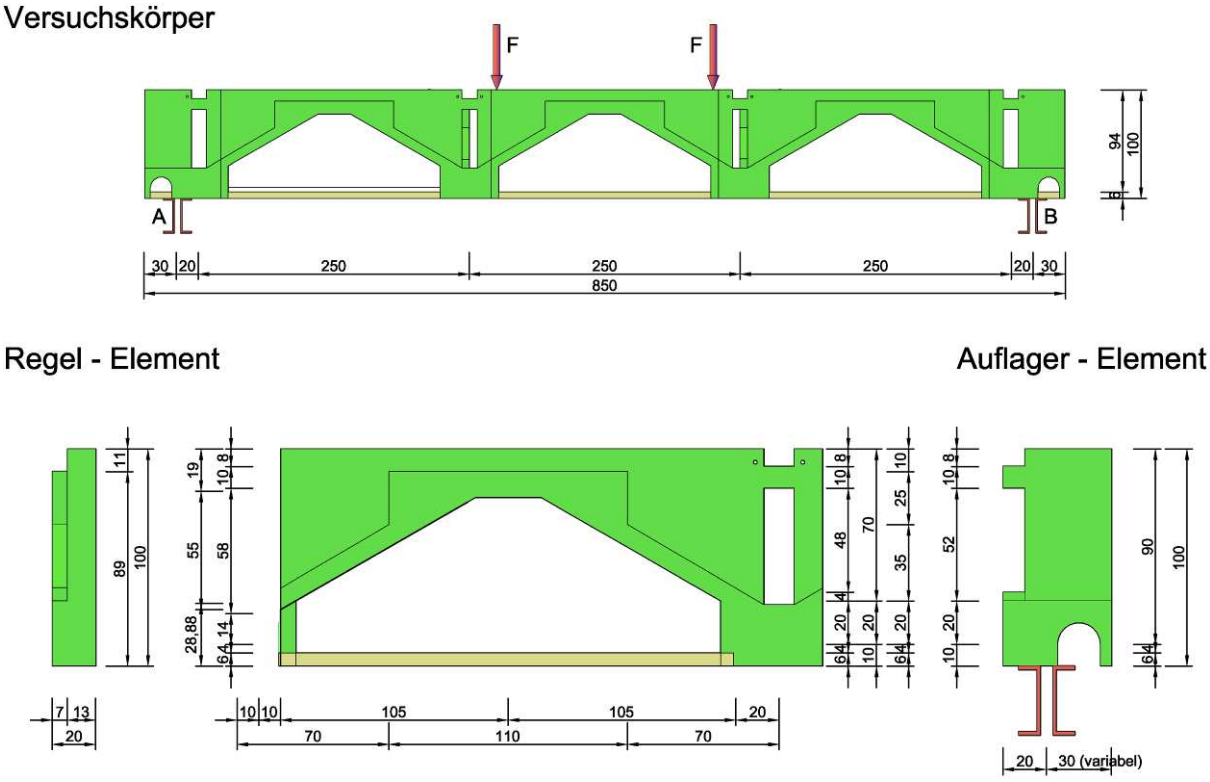


Abbildung 4: Versuchkörper A

Wie man sehen kann, gibt es drei gleichförmige Elemente pro Fertigteilhalbrippe:
ein zentrales Element und zwei seitliche Elemente, welche aus Fertigbeton sind.
Im Labor, macht man den Anschluss des Obergurts, Untergurts und zwischen den beiden Fertigteilhalbrippen mit Ortbetonverguss.
Der Versuchkörper A weißt keine Fertigfuge in Längsrichtung auf.

Die Bewehrungsführung wurde so gemacht, dass es Zonen gibt, wo die Zug- und Druckbügelbewehrung sich überschneiden. Diese Zonen sind die unteren Stummelbereiche und die oberen Obergurtanschlüsse (Abbildung 5).

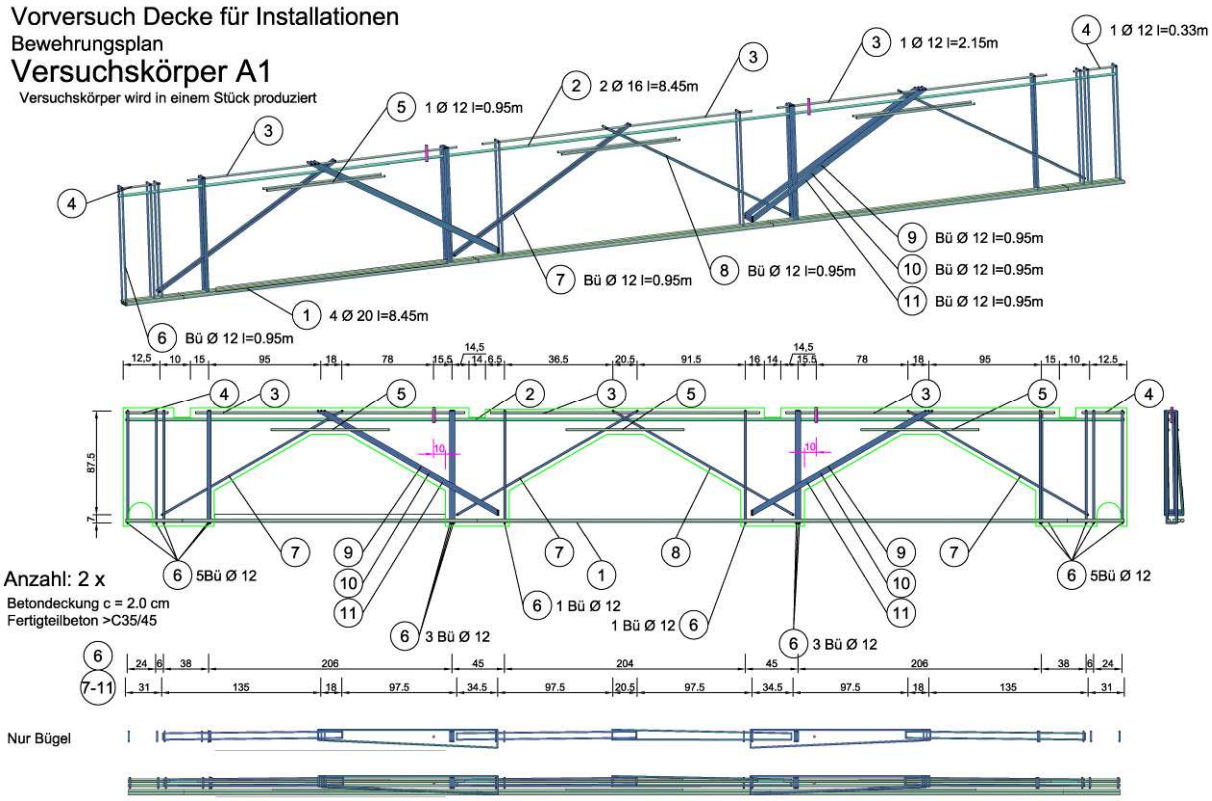


Abbildung 5: Bewehrungen

Durch vier hydraulische Pressen (P_1, P_2, P_3 und P_4), nimmt der Träger die Belastung in zwei Punkten auf. Die Belastung von zwei Pressen wird über einen Querträger auf den Versuchskörper aufgebracht (Abbildung 10 und Abbildung 9).
Die Auflager, worauf die Struktur rastet, befinden sich an den Enden des Trägers. Das Auflager von der linken Seite ist fix und das von der rechten ist beweglich. In der Abbildung 6 ist das feste Lager dargestellt und das Bewegliche (Abbildung 6) wird durch Rollen ausgeführt.

Die Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigt die vier Pressen.
Es wurden Hydro- Hohlkolbenzylinder der Firma Eberspächer vom Typ ZD 9039 E verwendet:

Druckkraft:	593 kN
Druck:	700 bar
Hub:	257 mm
Länge eingefahren:	459 mm
Bohrung:	54 mm
Außendurchmesser:	159 mm

Die durch die Pressen aufgebrachte Kraft, konnte mit Hilfe des Öldruckes in den Zylindern nicht präzise genug gemessen werden, da das Ergebnis durch die nicht exakt bestimmbare Reibung der Kolben verfälscht wird. Aus diesem Grund, wurde die Belastung an den Auflagern mittels Druckzylinder gemessen.

Abbildung 6:Fixer Auflager (Links) **Abbildung 7: Mobiler Auflager (Rechts)**

Abbildung 8:Die Struktur im Labor

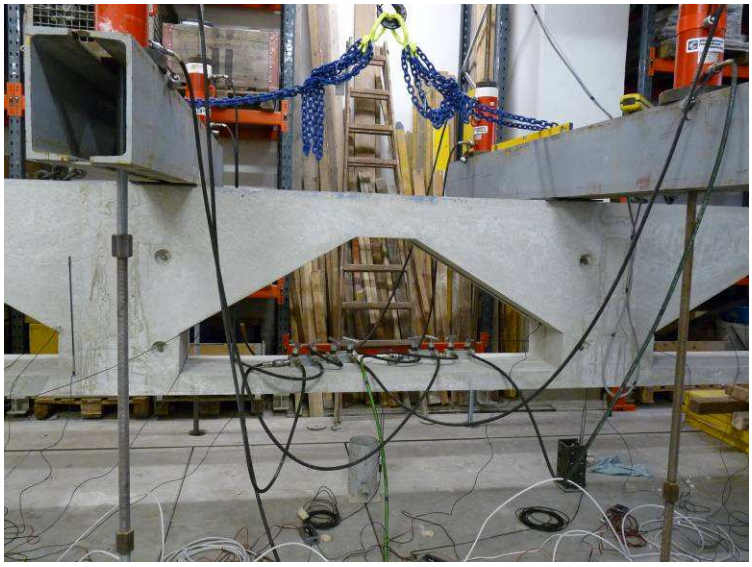


Abbildung 9: Die vier Pressen

Bei der Durchführung des Versuches im Labor und zur Messung der Verformungen wurden vor dem Versuchsbeginn Wegaufnehmer mittels einer Heißklebepistole am Versuchskörper befestigt.
Die Wegaufnehmer D (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14 und D15) wurden zur Messung der Stauchungen und Dehnungen der Struktur herangezogen. Prinzipiell wurde jeder Stab mit einem Wegaufnehmer versehen. Die Anordnung der Wegaufnehmer wird in der Abbildung 10 dargestellt.
Die restlichen Wegaufnehmer (Wege 1 bis 5) dienten zum Erfassung der Durchbiegung, wobei jeweils ein Wegaufnehmer direkt unter einem Pressenpaar (Krafteinleitung) angeordnet wurde. Ein Wegaufnehmer in Feldmitte und einer jeweils am Auflager wurde im unteren Bereich der Struktur angeordnet und es gibt 5 Wegaufnehmer um höhere Präzision zu bekommen.
Der reale Wert der Durchbiegung in Feldmitte ist gleich:

Durchbiegung in der Feldmitte = Weg 3 – 0.5 * (Weg 1 + Weg 5).

Die Anordnung der Aufnehmer wird in Abbildung 10 gezeigt, dabei kann man zwei Arten von Aufnehmern unterscheiden: die den Buchstabe W am Anfang haben, sind jene, die verwendet wurden um die Daten von den Durchbiegungen am unteren Bereich aufzunehmen und der Rest, mit dem Buchstaben D am Anfang, wurden an der gesamten Struktur verteilt. Damit erhält man für die Informationen über die Verformungen der Struktur.
Alle Aufnehmer haben in Klammern ihre Messlänge in Millimeter, für die Umrechnung der Messergebnisse (mm) in Verzerrungen.

$$\varepsilon = \Delta l[mm] / l[mm]$$

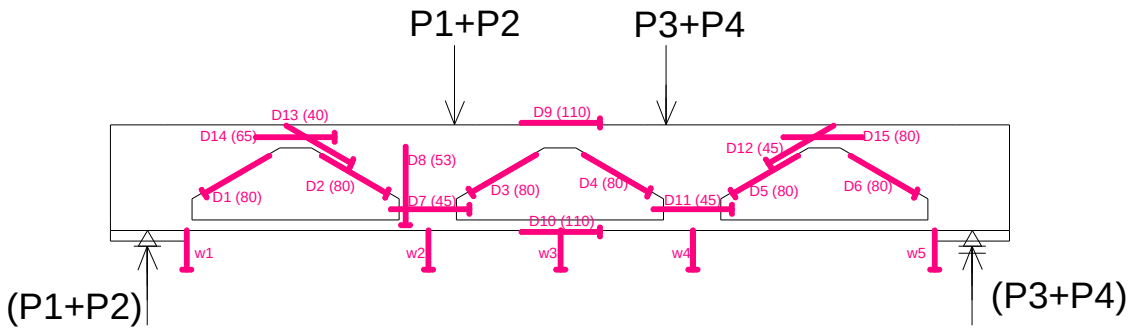


Abbildung 10:Anordnung der Aufnehmer in VK A1

Abbildung 11: Anordnung der Wegnehmer.

Die Wegaufnehmer werden in der gesamten Struktur verteilt, einige der Wegnehmer an der vorderen Fläche und einige an der Rückseite. Deshalb, treten in Abbildung 11 nicht alle Wegaufnehmer auf.
Somit gibt es kein Kreuzen von Wegaufnehmern, das sonst in den Bereichen der Anschlüsse der seitlichen Öffnungen auftreten würde.

2.1.2.- FACHWERKMODELL

Das ist das statische System. Es besteht aus einem Einfeldträger mit zwei Auflagern und zwei Punktkräften, wo die Pressen sind: die Länge zwischen **A** und der ersten Kraft ist 2,75m, und die Länge zwischen **A** und der zweiten Kraft ist 4,75m.

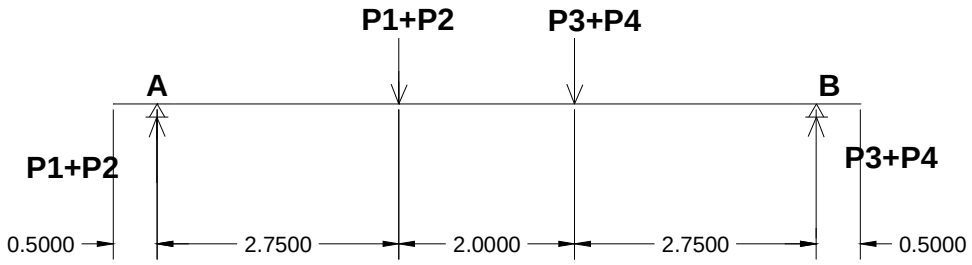


Abbildung 12: Die Skizze des Trägers

Das System ist einfach zu berechnen, denn es ist symmetrisch und man braucht nur die Gleichung von Summe der vertikalen Kräfte gleich null.
Der Versuchskörper wurde auf eine Einzelkraft von jeweils P_1+P_2 und P_3+P_4 ausgelegt.

$\Sigma V = 0;$ $V_A + V_B = (P_1 + P_2) + (P_3 + P_4)$;
$P_1 + P_2 = P_3 + P_4 = P$;
$V_A = V_B$;
$V_A = V_B = P$.

Wenn die Struktur unter erheblicher Beanspruchung wegen einer ausreichend hohen Belastung P unterworfen wird, kann man die Arbeit der Stäbe und der Mitwirkung des Betons in der Struktur prüfen.

Mit Hilfe eines Fachwerkmodells erhält man die Beanspruchung in den Ober- und Untergurten sowie in den Diagonalen.

Die schematische Struktur des Trägers kann man als Fachwerk modellieren (Abbildung 12):

- Für die theoretische Analyse des Trägers, wurde es für die Bemessung der Diagonalen und Stummel verwendet. Das Modell wird mit den Versuchswerten überprüft.
- Wie man in den beiden folgende Grafiken sehen kann, ist die Anordnung der Bewehrung sehr ähnlich als die Anordnung der Stäbe des Fachwerkmodells. Dies liegt daran, dass das Fachwerkmodell von der Bewehrung inspiriert wurde, um die gewünschten Ergebnisse zu erhalten. Damit wurde die wirkliche Struktur vereinfacht, da das Fachwerkmodell ein theoretisches Modell von Stäbe und Knoten ist, sollte man jedoch durch das Fachwerk den Versuch gut abbilden kann.
- Die Stummel sind die einzigen Teile im Fachwerkmodell, die nicht gleich wie im Versuch sind. Um diese Bereiche zu modellieren, ist zu berücksichtigen, dass die

beiden Stummel nicht wie ein einziger Stab wirken, sondern die Stummel sind ein System von Stäben, die unter Zug und Druck arbeiten unter Mitwirkung der Diagonalen. Eine von diesen Diagonalen arbeitet unter Druckspannung (die zentrale Diagonale) und die anderen Diagonalen unter Zugspannung (die Diagonale der seitlichen Öffnung).

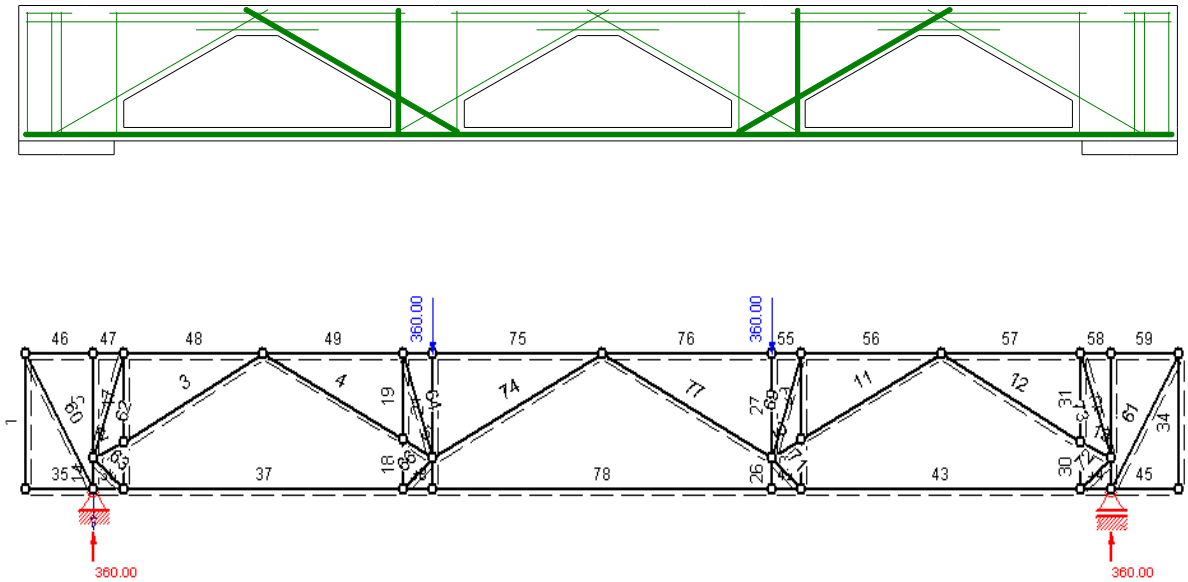


Abbildung 13: Die Skizzen der Bewehrungsanordnung und des Fachwerksmodels

In Abbildung 13 zeigt man das Fachwerkmodell und die zwei Kräfte, die mit 360 kN die Struktur belasten. Dieser Wert wurde nicht willkürlich gewählt, weil bei dieser Belastung die Spannungen jedes Stabes analysiert werden.
Man hat diesen Wert genommen, denn es ist eine ausreichende Belastung, die einen Spannungszustand liefert. Bei diesem Zustand, sind die Stäbe hochbeansprucht aber sie erreichen gerade noch nicht den Fließwert (626 MPa). Wenn dieser Wert erreicht wird, hätte man ideale Ergebnisse des Fachwerks aber der Versuch im Labor hätte sehr verschiedene Ergebnisse und diese zu vergleichen wäre sinnlos.

In der Tabelle 1, sind die Spannung der wichtigsten Stäbe darstellen. Diese werden mit den Ergebnissen von Atena verglichen. Die wichtigsten Stäbe, für die Kontrolle der Berechnungen, sind die Bügelbewehrung der Zug- und Druckdiagonalen (3, 4, 74, 77, 11 und 12), die Stäbe vom Untergurt (37, 78 und 43) und vom Obergurt (48, 49, 75, 76, 56 und 57).

Wie man beobachten kann, stimmen die Spannungen der Zugstäbe im Fachwerkmodell und in der Atena Berechnung sehr gut überein. Die Druckstäbe hingegen stimmen nicht gut überein, was auf die Tragfähigkeit des Betons zurückzuführen ist. Im Fall der Gebiete mit Zugspannung wurde der Beton gebrochen und das einzige Material, ist der Stahl. Aber in den Drucksbereichen ist der Beton, der die meisten Kräfte, und so die Differenz zwischen den Werten des Modells (linear und Ideale) und Athena (Simulation von nichtlinearen Versuch) wird sehr groß.

	Stäbe	Normale Kraft (Fachwerkmodel) [kN]	Fläche/Stäbe [mm2]	Spannungen Fachwerkmodel [MPa]	Spannungen Atena [MPa]	
Diagonale	3	-721,63	4,52E-04	-1,60E+03	-1,03E+02	Druck
Diagonale	*4*	*751,33*	*1,36E-03*	*5,54E+02*	*4,41E+02*	*Zug*
Diagonale	*74*	*0*	*4,52E-04*	*0,00E+00*	*0,00E+00*	*Null*
Diagonale	*77*	*0*	*4,52E-04*	*0,00E+00*	*0,00E+00*	*Null*
Diagonale	*11*	*751,33*	*1,36E-03*	5,54E+02	4,36E+02	*Zug*
Diagonale	12	-721,63	4,52E-04	-1,60E+03	-1,17E+02	Druck
Untergurt	*37*	*500*	*2,51E-03*	*1,99E+02*	*2,40E+02*	*Zug*
Untergurt	*78*	*1000*	*2,51E-03*	*3,98E+02*	*4,55E+02*	*Zug*
Untergurt	*43*	*500*	*2,51E-03*	*1,99E+02*	*2,43E+02*	*Zug*
Obergurt	*48*	*125,42*	*6,28E-04*	*2,00E+02*	*2,17E+02*	*Zug*
Obergurt	49	-1159,47	*6,28E-04*	-1,85E+03	-1,87E+02	Druck
Obergurt	75	-1000	*6,28E-04*	-1,59E+03	-2,12E+02	Druck
Obergurt	76	-1000	*6,28E-04*	-1,59E+03	-2,19E+02	Druck
Obergurt	56	-1159,47	*6,28E-04*	-1,85E+03	-1,87E+02	Druck
Obergurt	*57*	*125,42*	*6,28E-04*	*2,00E+02*	*2,17E+02*	*Zug*

Tabelle 1:Die normale Spannungen in Stäbe des Fachwerksmodels

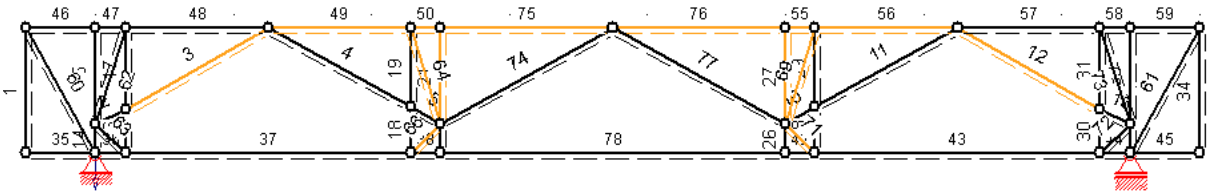


Abbildung 14: Druckstäbe in orange und Zugstäbe in schwarz

Man hat in schwarz die Stäbe, die unter Zugspannung arbeiten, markiert und in orange zeigt man die Druckstäbe. Die letzten Stäbe entsprechen, wie man bereits erwähnt, dem größten Unterschied zwischen Fachwerkmodell und Berechnung Atena.

2.1.3.- ATENA BERECHNUNG

Neben dem Fachwerkmodell wurde auch eine nicht lineare Berechnung mit Atena durchgeführt. In diesem Abschnitt wird dieses Programm beschrieben.
Vor dem Versuch im Labor, hat man die Belastungsgrenze, das Tragverhalten und die Tragfähigkeit berechnt.
Die Berechnung erfolgte mit Atena. Atena ist ein nichtlineares Berechnungsprogramm für die Finiten – Elementen - Simulation von Strukturen aus Beton und Stahlbeton in zwei und drei Dimensionen. Das Programm wird von der Firma Červenka Consulting entwickelt. Die Berechnung der Traglast erfolgte an einem 2D Model mit Atena 2D Version 4.
Als Ergebnis wurde F_{max} = 410 KN für die Belastung vor dem Versagen des Trägers ermittelt.

Die Geometrie, die Lasten und die Punkte, wo die Kräfte angreifen und, die Bewehrungen wurden wie die Größe und Position des realen Modells eingegeben, um die Simulation zu realisieren.

- Die Geometrie.
  Die Struktur in zwei Dimensionen ist 8,5 Meter lang und 1 Meter hoch. Es hat drei Löcher mit der gleichen Geometrie und Abmessungen wie in der Realität. Die Auflager sind 70 cm lang und 10 cm hoch. (
  Abbildung **15**).

- Materialien.
  Es wurde drei Materialien verwendet.
  Das erste Material für den Beton ist das SBeta Material, dass das nichtlineare Verhalten von Beton simulieren kann; das zweite Material, für die Bewehrung ist ein Betonstahl mit bilinearem Verhalten und das dritte Material ist für die Auflager (von Mises Stahl).

  Beton:
  - E-Modul: 34 030 MPa.
  - μ - Beiwert: 0,2.
  - F_t: 3,8 MPa.
  - F_c: -50 MPa.

  Bewehrung:
  - E-Modul: 210 000 MPa.
  - σ_y: 626 MPa.

  Auflager:
  - E-Modul: 210 000 MPa.
  - μ-Beiwert: 0,3.

  Bei der Simulation wurde eine Maschenweite von 10 cm auf die gesamte Struktur aus Beton angewendet und man hat rechteckige und dreieckige Elementen für die Durchführung der Simulation erhalten.

- Bewehrung:
  Die Anordnung der Bewehrungen ist die gleiche wie im Versuch, mit den gleichen Querschnitten für die einzelnen Stäbe und der gleichen Anzahl an Stäben. Dabei wurden auf der gleichen Ebene alle Stäbe der Bewehrung mitgenommen.

- Ergebnisse.
  Die Ergebnisse der Simulation in Atena waren sehr erfolgreich, da sie dem realen Versuch sehr nahe kamen. In einem späteren Abschnitt zeigt man die Ergebnisse, die bei Tests im Labor und im Atena Modell bekommen wurden.
  Einziger Unterschied zwischen Atena Modell und dem Versuch ist die Rissbreite und die Anzahl. Die Rissbreite ist in der Berechnung viel größer als im Versuch. Obwohl die Verteilung der Risse entlang der Struktur völlig richtig ist. Dies kann uns helfen die Art der Rissbildung vorherzusagen und die Bewehrung zu verbessern, um die Lebensdauer zu verlängern.
  In der nächsten Zeichnung (Abbildung 15) zeigt man die Struktur, mit denen man mit Atena gearbeitet hat.

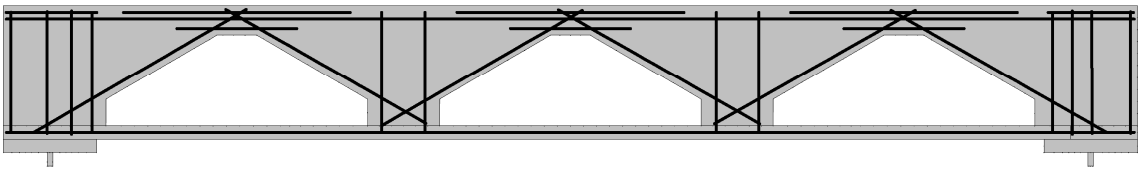


Abbildung 15: Der Träger in Atena Programm

2.1.4.- DURCHBIEGUNG IN FELDMITTE VK A1

Man hat die wichtigsten Laststufen des VK A1 ausgewählt, und in Abbildung 16 die Durchbiegung und die Rissverteilung in den Laststufen dargestellt.

Der Pfeil in orange ist die Durchbiegung vom Versuch und der Pfeil in blau ist die Durchbiegung von der Atena Berechnung.

Wie man bereits kommentiert hat, ist die Durchbiegung in der Mitte der Struktur nicht der Wert, von Weg 3 sondern der Weg 3 verringert um das Mittel von Weg 1 und Weg 5.
Auf diese Weise, erhält man die reale Verschiebung.

Wie man sehen kann, in jedem Abschnitt besteht P aus zwei Zahlen: die erste ist die Kraft von zwei Pressen, und die zweite ist 65kN /2, das Eigengewicht von Beton der Struktur (65 kN) halbe, da man zwei Einzelkräfte hat.

Wie man in der grafischen Abbildung 16 sehen kann, sind die Atena Ergebnisse ziemlich ähnlich mit denen, die im Labor erhalten haben. Die Differenz ist nur ein oder zwei Millimeter.

Das Versagen des Trägers wurde bei einer Kraft von P = 402, 5 kN erreicht, und die resultierende Durchbiegung ist 32, 22 mm.

Im Hinblick auf das Ergebnis von dem Moment unmittelbar vor dem Versagen, hat die Durchbiegung einen Wert von 32,3 mm erreicht. Die Simulation von Atena in diesem Aspekt ist sehr befriedend.

Die Graphik weist die gute Überstimmung zwischen Atena und dem Versuch auf. (Abbildung 17)

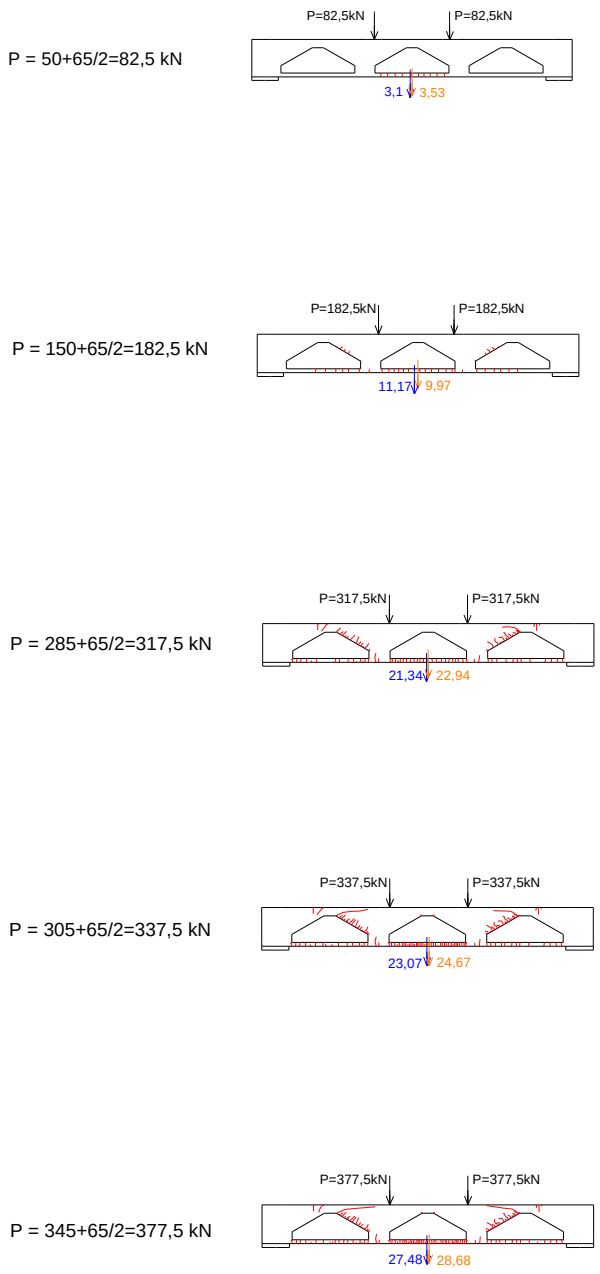


Abbildung 16: Die Darstellung der Durchbiegung VK A1

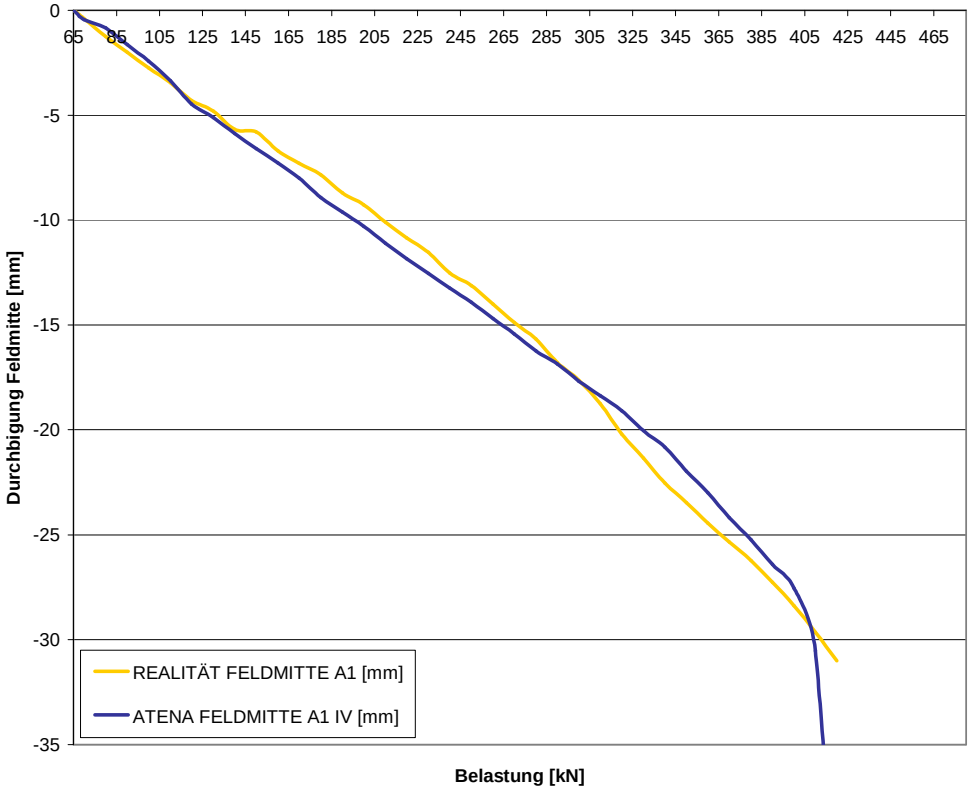


Abbildung 17: Graphik der Durchbiegungen

In der Grafik kann man deutlich sehen, dass die Durchbiegungen im Labor und der Simulation von Athena sehr ähnlich sind. In der blauen Linie von Athena wurde eine konstante Neigung während des Belastungsvorgangs außer der letzten Etappe (nach Versagen) erhalten. Hier ist die Steigung fast vertikal, wegen dem Riss und dem schlagartigen Versagen der Struktur. Im Versuch kann man drei Trends beobachten:

- Im ersten Abschnitt sind die orange Linie und die blaue Linie zusammenfallend, da dieser Abschnitt dem Zustand I entspricht, wo der Beton noch nicht gerissen ist.

- Im zweiten Abschnitt geht die Struktur in den des Zustands II über. Es gibt eine Erhöhung der Steigung der Gerade und die Gerade überwindet leicht die Linie von Atena (von 130 kN bis 300 kN).

- Im letzten Abschnitt, wird die Steigung weiter reduziert. Damit sind die Durchbiegungen des Versuchs höher als die von Atena.

2.1.5.- DIE DEHNUNGEN

In der Abbildung 18, sind die Dehnungen für die maßgebenden Laststufen dargestellt.
Für jede Kraft gibt es zwei Bilder.
Das obere Bild ist vom Versuch, und das untere ist von der Atena Berechnung inklusive Skala.
Die Ergebnisse wurden von den Wegaufnehmern erhalten, die entlang der Struktur aufgestellt wurden.
Die Werte sind nicht in mm ausgedrückt, sondern in ‰ von den gemessenen Werten umgerechnet wurden.

Wie man sehen kann, sind die großen Dehnungen in der Feldmitte, im Untergurt und in den Diagonalen, weil dort die Zugspannung am höchsten ist.
Die Dehnungen in der Feldmitte und in den Diagonalen wachsen schnell, denn sie sind die Zonen, die fast die ganze Spannung aufnehmen.
Der Unterschied zwischen dem ersten Abschnitt und dem Abschnitt vor dem Versagen, beträgt 2,31 ‰, für den Untergurt in Feldmitte und 3,61 ‰, für die Diagonalen.
Diese Zonen mit hohen Werten werden mehr Risse und mit großer Breite haben, da der Beton diese Zugbeanspruchung nicht aufnehmen kann.
Die restlichen Zonen, im Obergurtanschluss und im unteren Stummelbereich, weisen ein langsameres Wachstum auf, weil es mehr Bewehrung in diesen Bereichen gibt, und der Beton und der Stahl dort zusammenwirken.

Auf der Skala kann man sehen, dass die Dehnungen der Zeichnungen von Atena entsprechen den Werten, die man im Labor erhalten hat. Nur diese Werte sind etwas höher in den Diagonalen.
In der Zeit unmittelbar vor dem Versagen sieht man zwei kleine Gebiete auf der Oberseite der Struktur wo die höheren Dehnungen zusammenkommen und in einige dieser Zonen erscheint später das Versagen.

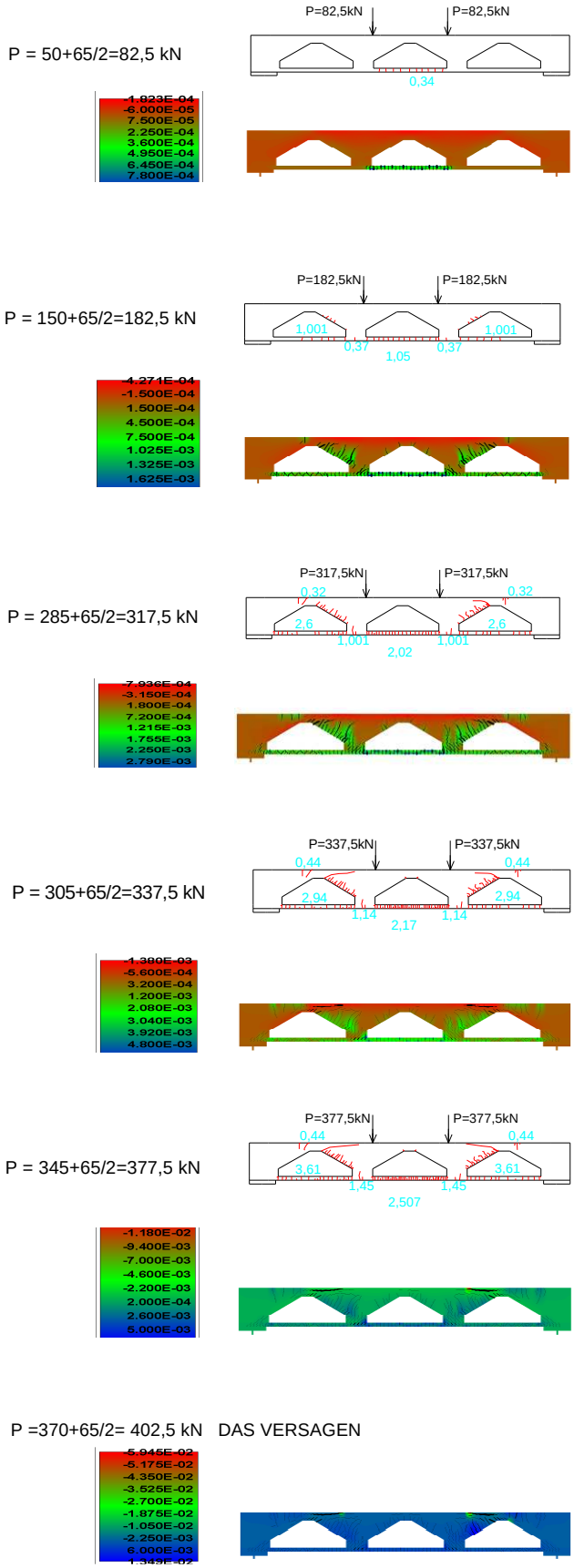


Abbildung 18: Die Dehnung im VK A1

2.1.6.- DIE RISSE

Während des Belastungsprozess und aufgrund der Schwierigkeiten, die der Beton hat um die Zugspannung anzunehmen, treten Rissen in der Struktur auf, und der Bruch wird wegen einiger Risse erzeugt.

Mit der Belastung ***P***, die eine Gruppe von zwei Pressen übertragen (jede Gruppe hat die gleiche Last, so dass nicht nur die Geometrie, sondern auch die Last symmetrisch ist), erhält man die folgende Reihe wichtiger Lastschritte im Prozess der Unterbrechung der Struktur:

- P = 50 + 65/2 = 82,5 kN.
  Die ersten Risse treten in der Mitte der Struktur in der mittleren Platte auf, und die Rissöffnungen sind 0,05 mm breit. Es gibt den gleichen Abstand zwischen den Rissen. In
  Abbildung 19 zeigt man die zentrale Zone und die Risse, die in dieser Laststufe aufgetreten sind.

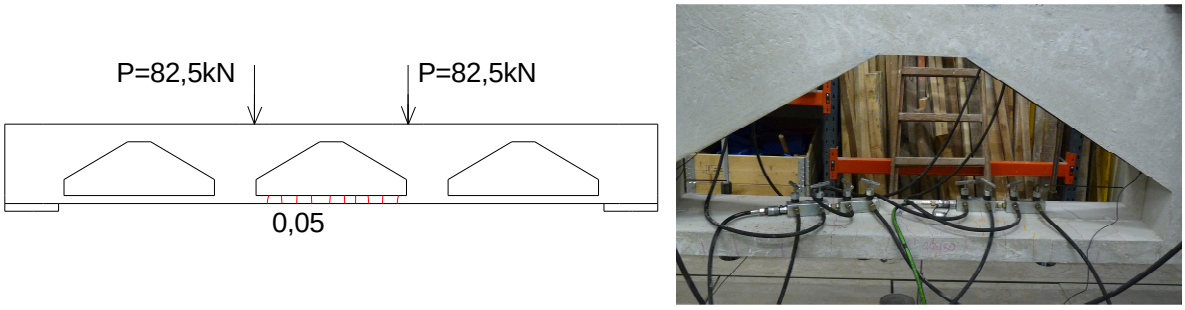


Abbildung 19: Risse im Step P=82,5 kN

- P = 150 + 65/2 = 182,5 kN.
  Kommen auch Risse in den anderen Platten, in den Diagonale (Abbildung 20) und in der unteren Seite der Stummel auf. Aufgrund der zunehmenden Belastung, steigt die Breite der Risse in der zentralen Platte Rissbreiten bis zu 0,1 mm und in den Diagonalen 0,05 - 0,1 mm.

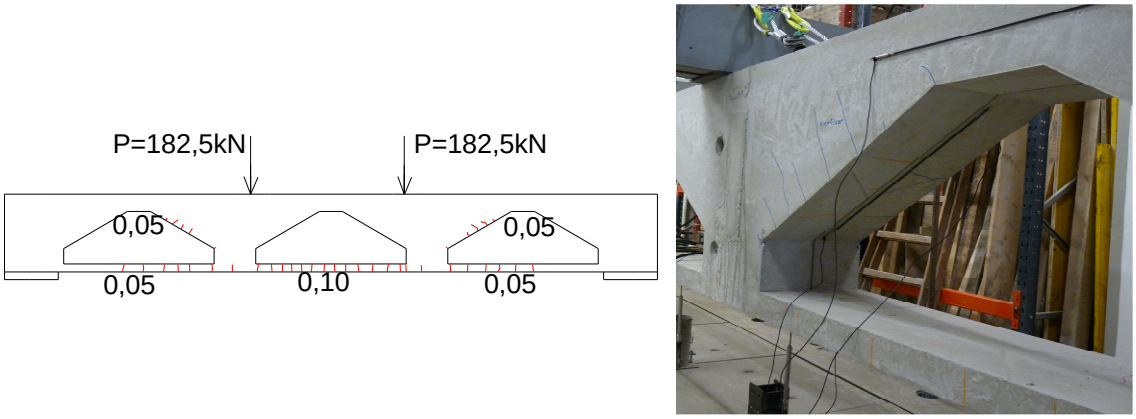


Abbildung 20:Risse im Step P= 182,5 kN

- P = 200 + 65/2 = 232,5 kN.
  Mehr Risse in der Platte und in den Diagonalen treten auf. In den letztgenannten Bereichen kommt es zu feinen Haarrissen parallel zu der Diagonale. Das ist eine ungewöhnliche Rissbildung, da alle Risse, die bisher erschienen waren, senkrecht zur Diagonale sind.

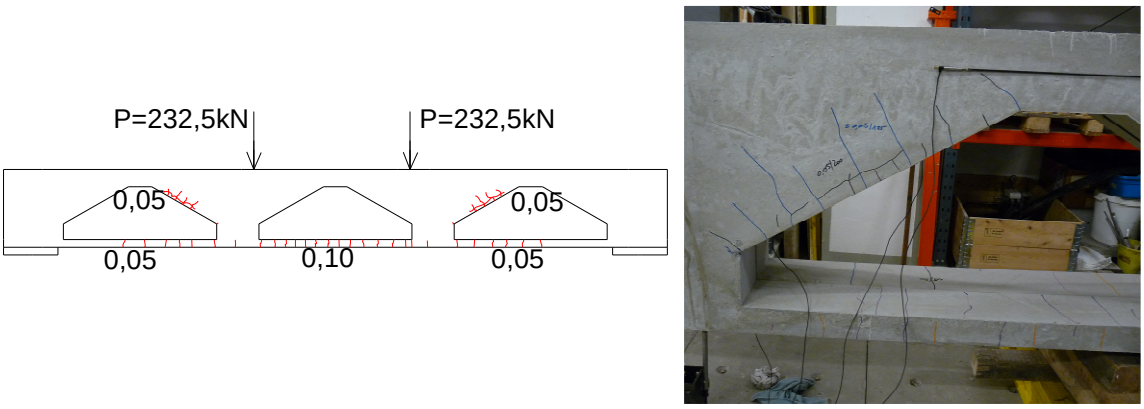


Abbildung 21: Risse im Step P= 232, 5 kN

- P = 220 + 65/2 = 252,5 kN.
  Die ersten Risse im Stummelbereich. Diese Risse sind kurz und wachsen normalerweise nach oben oder sie wachsen horizontal wenn es zu einer Verzweigung kommt.

Abbildung 22: Risse im Step P=252,5 kN, im Stummel

- P = 260 + 65/2 = 292,5 kN.
  Die Risse haben Werte von 0,25 mm bis 0,30 mm in der Platte und 0,1mm bis 0,2 mm in den Diagonalen. Während dieser Laststufe kommt es zum Auftreten eines großen Risses in der oberen Ecke der Zugdiagonale (0,6 mm).

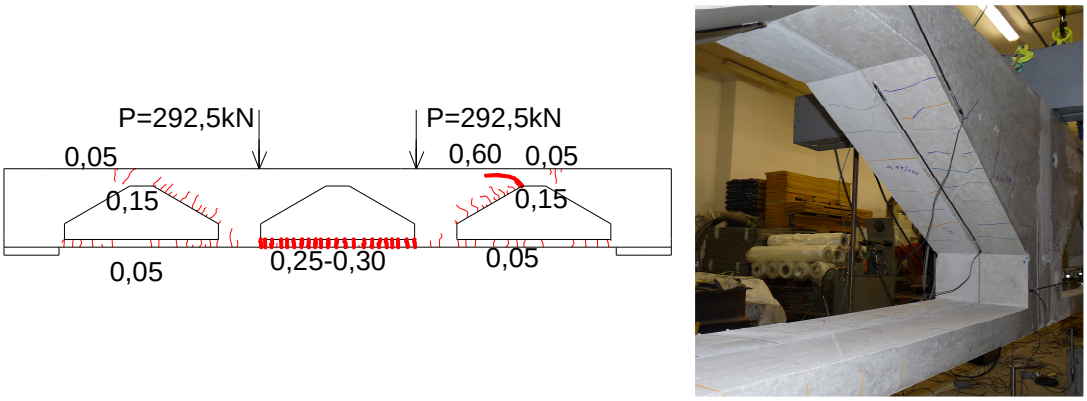


Abbildung 23: Risse im Step P=292,5 kN

- P = 285 + 65/2 = 317,5 kN.

Auf der linken Seite erscheint auch ein Riss, wie in der letzten Stufe an der rechten Seite, mit einer Breite von bis zu 0,4 mm.

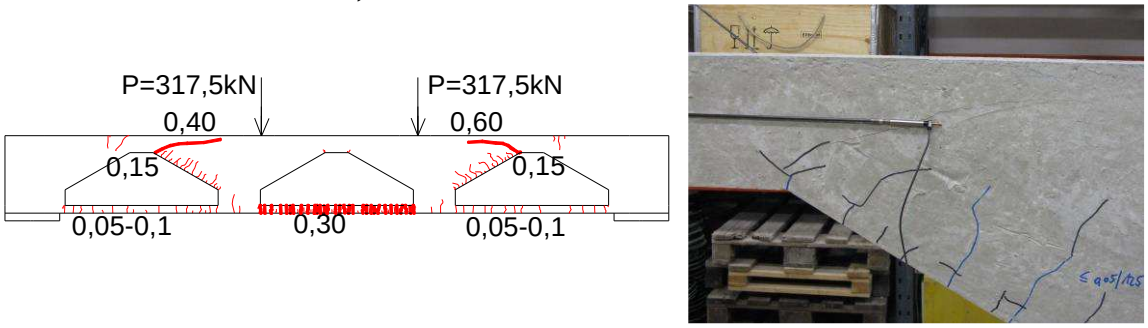


Abbildung 24:Risse im Step P=317,5 kN

- P = 345 + 65/2 = 377,5 kN.
  Das Versagen tritt auf der linken Seite auf (Abbildung 25).

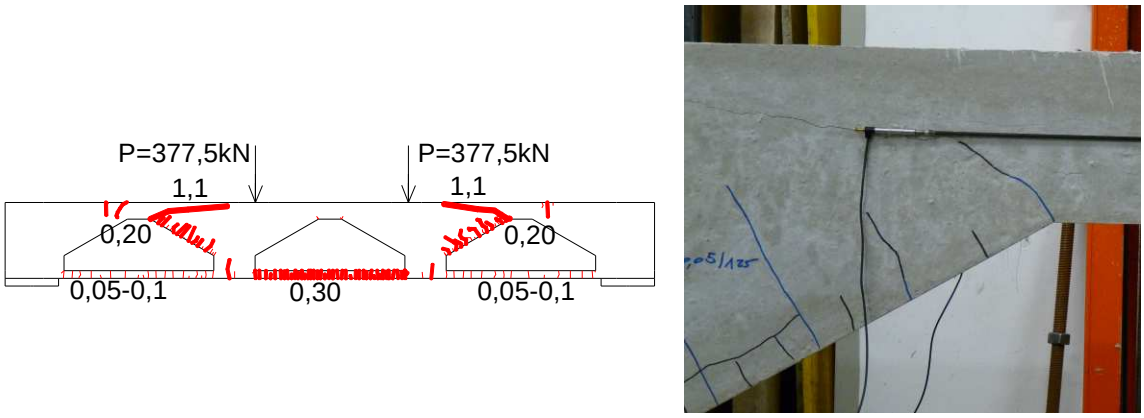


Abbildung 25: Risse im Step P=377,5 kN,

- P = 370 + 65/2 = 402,5 kN.
  Das Versagen:
  Der Riss, der in einer früherer Laststufe aufgetreten ist, ist länger und breiter geworden bis zu dem Obergurt der Struktur. Wie man sehen kann, handelt es sich um ein Knoten Versagen. Dieser Knoten sollte auch auf diese Tragfähigkeit bemessen werden.

Abbildung 26: Zoom des Versagen und Bild von der ganzen Struktur

2.2.- VERSUCHSKÖRPER B

2.2.1.- BESCHREIBUNG DES VERSUCHES

Die Geometrie des Versuchskörpers B ist identisch wie die Geometrie des Versuchskörpers A, das heißt, dessen Abmessungen sind 8,5 m Länge, 1 m Höhe und 0,4 m Breite. Zusätzlich, wie man in der Abbildung 27 in dieser Struktur sehen kann, sind die beiden Fertigteilhalbrippen jeweils in Längsrichtung durch eine durchgehende Fuge getrennt. Die Fuge wurde zwischen dem zweiten und dritten Fertigteil aufgebaut.

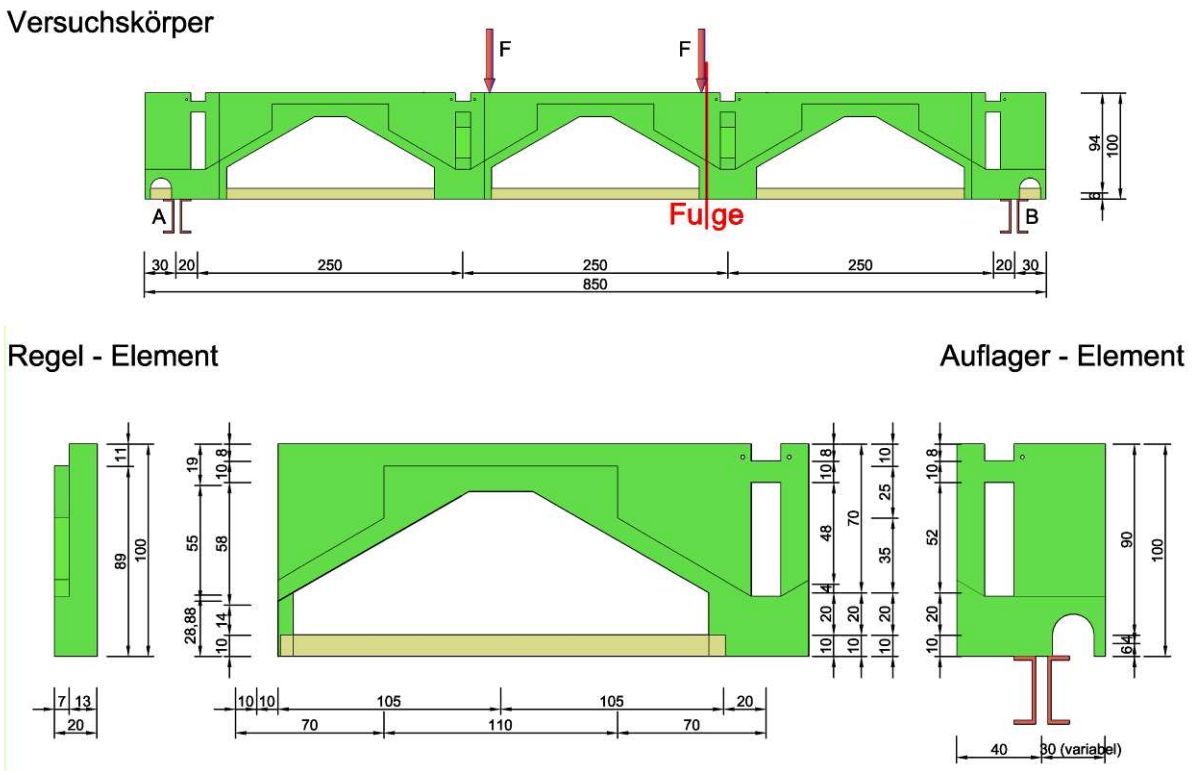


Abbildung 27: Skizze des Versuchskörper B

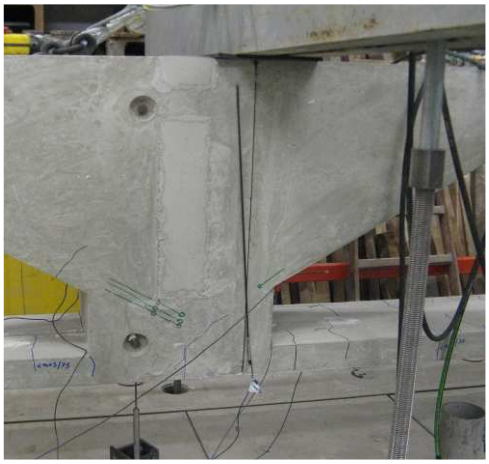


Abbildung 28: Bild von der Fuge in der Struktur B

Im Bezug auf die Bewehrungen vom VK B wurde die Größe und die Anordnung an einigen Bereichen verändert, um die optimale Struktur zu finden, da das der Zweck der Versuche ist. Beim Versuchskörper B wurde die Bewehrungsführung im Bereich des Betonstummels so gewählt, dass die Zug- und Druckdiagonale sich genau in einem Punkt nicht treffen.

- Es kommt zu keiner Überschneidung zwischen den Bügeln im Stummel. Die Zugbügel werden lediglich bis zur Mitte des Stummels geführt (Bü 9, Bü 10 und Bü 11) (Abbildung 29).

- Eine zusätzliche Vorortbewehrung wurde nicht vorgesehen.

- Durch die Längsfuge kann beobachtet werden, wie die Fertigteillängsverbindung mittels des Ortbetonsverguss es funktioniert.

In der Abbildung 29 , stellt man die Bewehrungsführung dar.

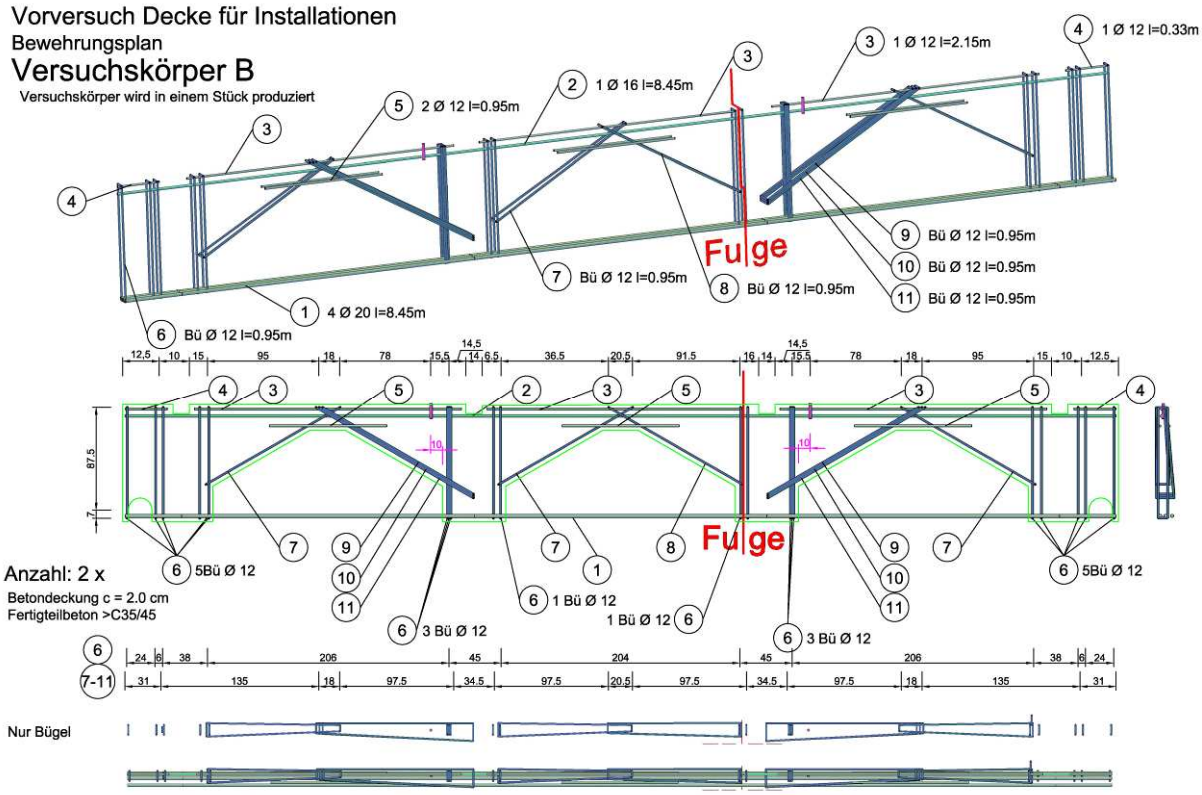


Abbildung 29: Bewehrungsplan vom VK B

Die Aufstellung der Auflager und ihre Ausgestaltung ist identisch wie bei Versuchskörper A: Das linke Auflager ist fix und das rechte Auflager beweglich.
Die vier hydraulischen Pressen sind die gleichen, die in dem vorangegangenen Versuch. Ebenso, wurden die Pressen in Paaren angeordnet und jedes Paar drückt auf einen Stahlträger, und dieser Träger drückt wieder auf der Struktur.

Bei der Durchführung des Versuches im Labor und zur Messung der Verformungen wurden die Wegaufnehmer vor dem Versuchsbeginn am Versuchskörper befestigt.
Die Wegaufnehmer (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11 und D12) wurden zur Messung der Stauchungen und Dehnungen der Struktur herangezogen.
Die Wege 1 bis 5 dienten zur Erfassung der Durchbiegung, wobei jeweils ein Wegaufnehmer direkt unter einem Pressenpaar (Krafteinleitung) angeordnet wurde.

Die Wegnehmer wurden an den sechs Diagonalen, in Feldmitte (Obergurt und Untergurt) und in jedem Stummel angeordnet. Außerdem wurde einer vertikale oberhalb der Fuge befestigt, um das Verhalten der Fuge zu kontrollieren.

Die Aufstellung der Aufnehmer an der Struktur wird in Abbildung 30 dargestellt, wo man zwei Sorten von Wegaufnehmern unterscheiden kann: die Wegaufnehmer, die den Buchstabe W am Anfang haben, wurden verwendet, um die Daten von den Durchbiegungen am unteren Bereich aufzunehmen. Der Rest, mit dem Buchstaben D am Anfang, wurden in der gesamten Struktur verteilt, um die Informationen über die Verformungen zu bekommen.
Alle Aufnehmer haben in Klammern ihre Länge in Millimeter, die die Messlänge darstellt.

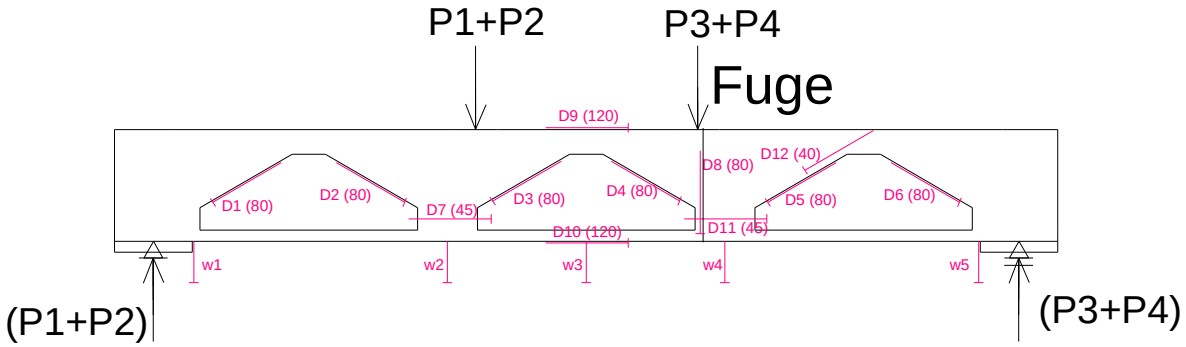


Abbildung 30: Anordnung der Wegaufnehmern in VK B

2.2.2.- FACHWERKMODELL

Das ist das statische System. Es besteht aus einem Einfeldträger, mit zwei Auflagern und zwei punktuellen Kräfte, wo die Pressen sind: die Länge zwischen **A** und der ersten Kraft ist 2,75 m, und die Länge zwischen **A** und der zweiten Kraft ist 4,75 m.

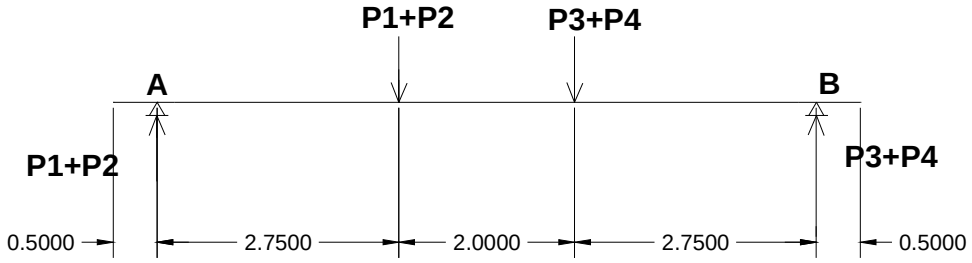


Abbildung 31: Die Skizze des Trägers

Obwohl man einige Änderungen in der Bewehrung der Struktur gemacht hat, verändert die Analyse des Fachwerkmodels nicht und man kann das Fachwerk für die Versuchskörper B anwenden.
Der Unterschied zwischen VK A und VK B besteht in der Analyse der Spannungen mit Atena in jedem Bereich der Struktur.
In Abbildung 32 zeigt man die Bewehrungsführung der Struktur VK B, und mit der Farbe hellgrünen ragen die neue Stäbe heraus.
Sie können in Tabelle 2 für dieses Bauwerk nachprüfen, dass das theoretische Modell bei dieser Struktur gültig ist. Man kann die neuen Werte von Fachwerkmodell und von Atena grafisch und auch analytisch vergleichen.

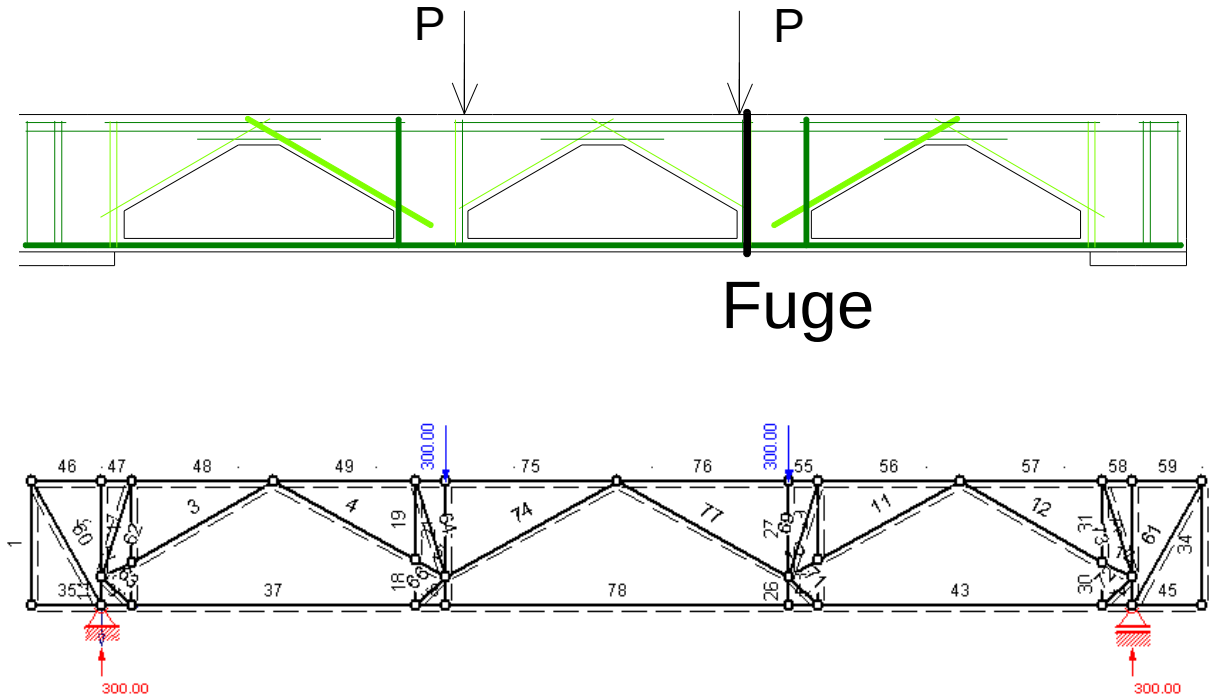


Abbildung 32: Die Skizzen der Bewehrungsanordnung und des Fachwerksmodels

Durch die Tabelle 2: Die normalen Spannungen in Stäbe des Fachwerksmodels wurden die Spannung der wichtigsten Stäbe dargestellt, um danach die Ergebnisse der Spannungen von Atena und vom Fachwerkmodell zu vergleichen.

In diesem Fall, benutzt man nicht 360 kN, weil der VK B diesen Wert nicht erreichen konnte. Der maximale Kraft ist F_{max}= 332,5 kN. Daher, nimmt man einer Zwischenkraft von 300 kN.

Ebenso, wie man beobachten kann, sind die Stäbe, die auf Zug beansprucht werden, die Spannungen von dem Fachwerkmodel und von den Atena Berechnung sehr ähnlich. Obwohl die Druckstäbe nicht ähnliche Ergebnisse zwischen Fachwerkmodell und Atena zeigen. Dies liegt daran, der Beton sehr gut in Druckbereich arbeitet, und in diesen Zonen müssen die Bewehrungen nur wenig Kraft aufnehmen.
Das Fachwerkmodell analysiert nur die Stäbe, deshalb ist es eine Annäherung von der Realität.

	Stäbe	Normale Kraft (Fachwerkmodel) [kN]	Fläche/Stäbe [mm2]	Spannungen Fachwerkmodel [MPa]	Spannungen Atena [MPa]	
Diagonale	3	-601,36	4,52E-04	-1,33E+03	-8,83E+01	Druck
Diagonale	*4*	*626,11*	*1,36E-03*	4,60E+02	*3,51E+02*	*Zug*
Diagonale	*74*	*0*	*4,52E-04*	0,00E+00	*0,00E+00*	*Null*
Diagonale	*77*	*0*	*4,52E-04*	0,00E+00	*0,00E+00*	*Null*
Diagonale	*11*	*626,11*	*1,36E-03*	4,60E+02	*3,49E+02*	*Zug*
Diagonale	12	-601,36	4,52E-04	-1,33E+03	-1,14E+02	Druck
Untergurt	*37*	*416,67*	*2,51E-03*	1,66E+02	*2,05E+02*	*Zug*
Untergurt	*78*	*833,34*	*2,51E-03*	3,32E+02	*3,74E+02*	*Zug*
Untergurt	*43*	*416,67*	*2,51E-03*	1,66E+02	*2,05E+02*	*Zug*
Obergurt	*48*	*104,52*	*6,28E-04*	1,66E+02	*1,76E+02*	*Zug*
Obergurt	49	-966,22	*6,28E-04*	-1,54E+03	-1,68E+02	Druck
Obergurt	75	*833,34*	*6,28E-04*	1,33E+03	-1,60E+02	Druck
Obergurt	76	*833,34*	*6,28E-04*	1,33E+03	-1,68E+02	Druck
Obergurt	56	-966,22	*6,28E-04*	-1,54E+03	-1,65E+02	Druck
Obergurt	*57*	*104,52*	*6,28E-04*	1,66E+02	*1,84E+02*	*Zug*

Tabelle 2: Die normalen Spannungen in Stäbe des Fachwerksmodels

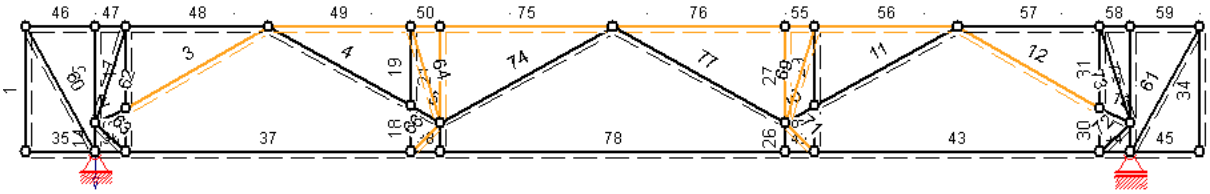


Abbildung 33: Druckstäbe in orange und Zudstäbe in schwarz

2.2.3.- ATENA BERECHNUNG

Um diesen Versuchkörper B zu modellieren, wurden einige Aspekte beachtet.
Die Geometrie, die Linie und die Punkten, wo die Kräfte belasten, die Größe und die Position der Bewehrungen entsprechen dem realen Modell, wie auch im Versuchskörper A.

- Die Geometrie.
  Die Struktur in zwei Dimensionen ist 8,5 Meter lang und 1 Meter hoch. Es hat drei Löcher mit der gleichen Geometrie und Abmessungen als in der Realität. Es wurden zwei Auflager aufgestellt mit 70 cm lang und 10 cm hoch (Abbildung 34).

- Materialien.
  Es wurde drei Materialien verwendeten wie die im VK A.
  Die Eigenschaften von jedem Material sind:

  Beton:
  - E-Modul:34030 MPa.
  - μ- Beiwert: 0,2.
  - F_t: 3,8 MPa.
  - F_c: -50 MPa.

  Bewehrung:
  - E-Modul:210 000 MPa.
  - σ_y: 626 MPa.

  Auflager:
  - E-Modul: 210 000 MPa.
  - μ-Beiwert: 0,3.

- Bewehrung:
  Die Anordnung der Bewehrungen ist die gleiche wie in der Realität, mit den gleichen Querschnitten für die einzelnen Stäbe und der gleichen Anzahl von Stäben. Man hat als Ausgangspunkt die Datei des VK A genommen, und dann die Bewehrungen und ihre Geometrie modifiziert.

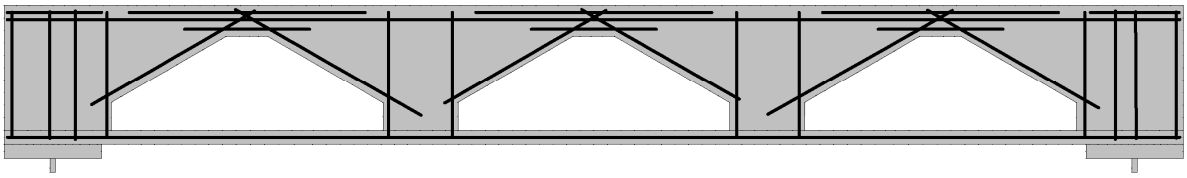


Abbildung 34: Der Träger in Atena Programm

- Ergebnisse.
  Die Ergebnisse der Simulation in Atena waren nicht befriedigend.
  Im Allgemeinen, sind die Daten, im Vergleich mit dem realen Modell, ganz richtig gewesen. Aber, in der Simulation war die Bruchlast höher als im Versuch.

In Atena, ist die Struktur im Schritt 42 zusammengebrochen: d.h., mit einer Belastung von 420 kN; aber im Labor konnte die Last nicht mehr als 333 kN erreichen.

Der andere Aspekt, wo das Modell sich von der Realität unterscheidet, sind die Risse des Betons, es sind viel mehr Risse aufgetreten und die Breite ist viel höher als die reale Rissbreite, obwohl die Verteilung der Risse entlang der Struktur völlig richtig ist.
Die Bilder und Illustrationen wurden bei einer Belastung von 300 kN, die Verteilung der Risse stimmt in der Berechnung und im Versuch überein.
Die Fotos wurden negativiert, um eine bessere Unterscheidung der Risse in der Struktur zu machen.

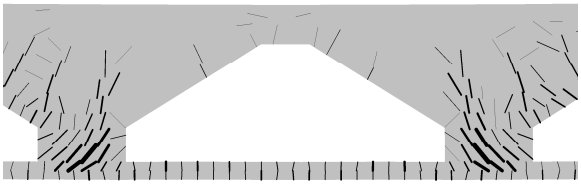
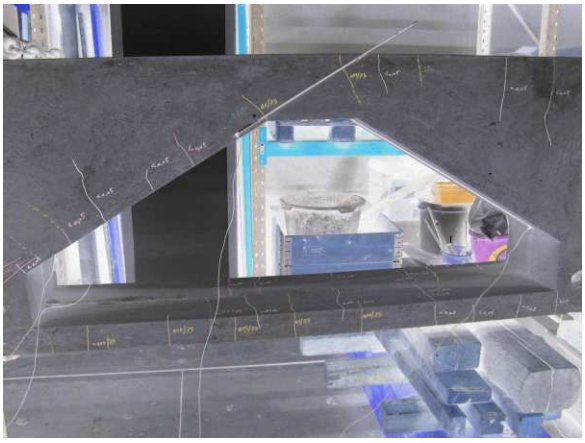


Abbildung 35: Risse in der Feldmitte, P = 300 kN



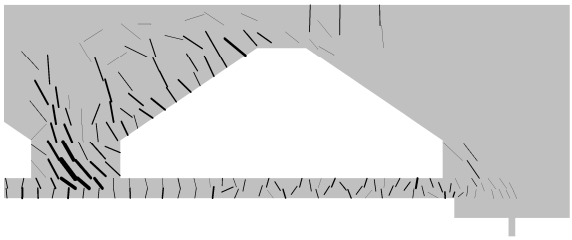
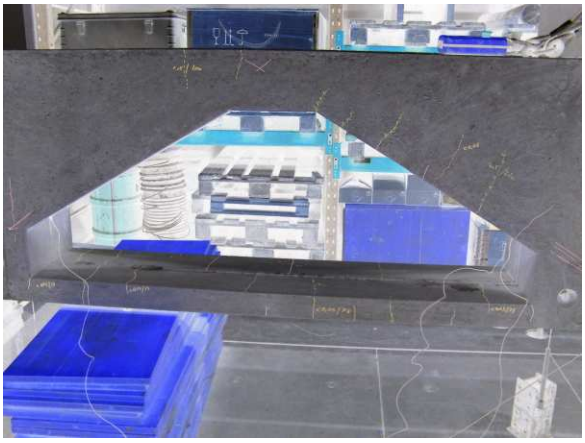


Abbildung 36:Risse im rechten Auflager, P = 300 kN



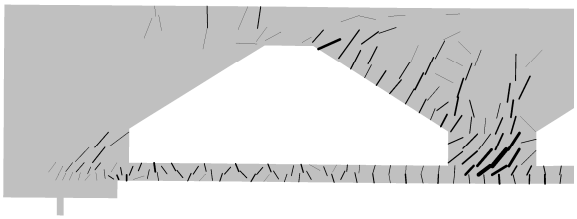


Abbildung 37:Risse im linken Auflager, P = 300 kN

2.2.4.- DURCHBIEGUNG IN FELDMITTE VK B

Man hat die wichtigsten Abschnitte der VK B ausgewählt, und man hat in der Abbildung 38 die Durchbiegung dargestellt für jene Phase und die entsprechende Belastung.

Die orangefarbenen Pfeile sind die Durchbiegungen vom Versuch und die Pfeile in blau sind die Durchbiegungen von der Atena Berechnung.

Wie man beobachten kann, in jedem Abschnitt besteht **P** aus zwei Zahlen: die erste ist die Kraft von jeder Pressengruppe, und die zweite ist das Gewicht vom Beton der Struktur (65 kN) halbe, da man zwei Einzelkräfte hat.

Das Versagen des Trägers wurde bei einer Kraft von P = 332,5 kN und einer Durchbiegung von 25,3 mm.

Die ersten Ergebnisse sind sehr ähnlich, aber die letzten Durchbiegungen weichen von Atena leicht, weil der Belastungsprozess in Atena bis 420 kN fortgesetzt wird, so dass die Durchbiegung kleiner als in Realität ist.

Trotzdem, die Durchbiegung im letzten Schritt vor dem Versagen ist in Atena 33 mm. Dieser Wert ist ziemlich entfernt von 25,3 mm vom Versuch im Labor.

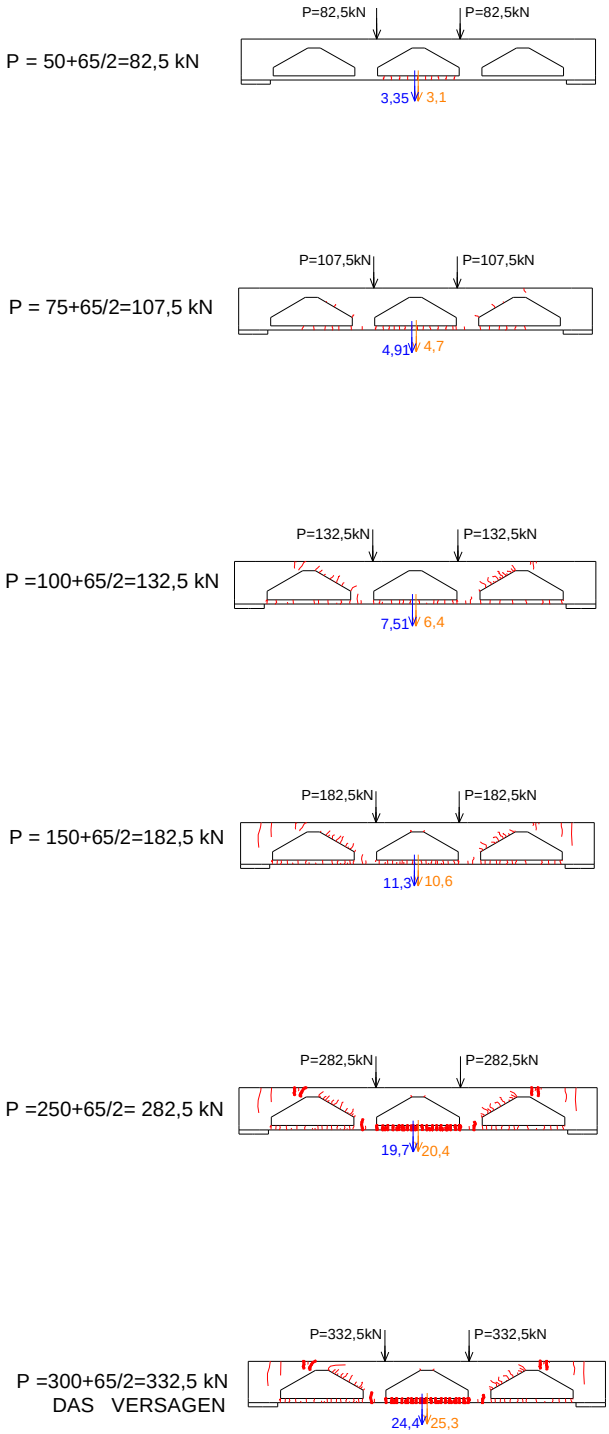


Abbildung 38:Die Darstellung der Durchbiegung VK B

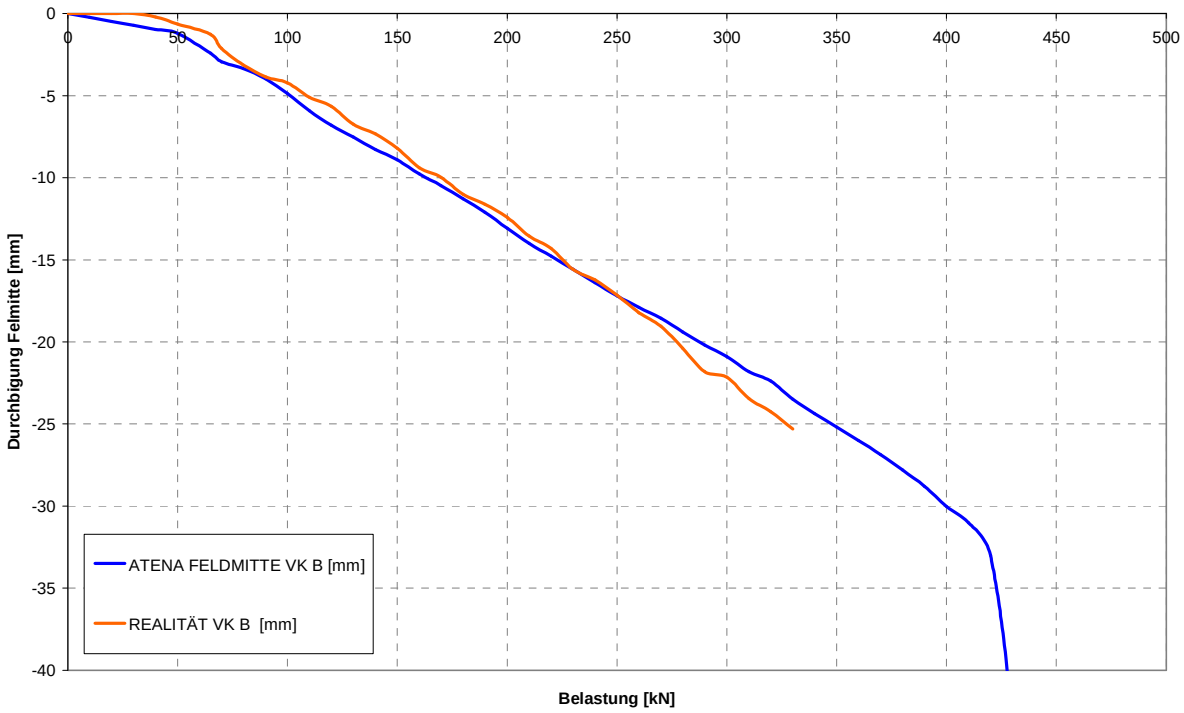


Abbildung 39: Graphik der Durchbiegungen VK B

Wie man in der Grafik (Abbildung 39) sehen kann, wird die entsprechende Linie von der Simulation mit Athena bis 420 kN fortgesetzt, aber die Linie im Versuch wird bei 332 kN gestoppt.
Hier kann man besser die Durchbiegungswerte veranschaulichen. Die Linien sind zusammenfallend bis die Belastung zu 260 kN erreicht. Ab diesem Wert sinkt die Durchbiegung der Realität schneller, während der Durchbiegung von Athena bleibt einen stetigen Abstieg.

2.2.5.- DIE DEHNUNGEN

In der Abbildung 40, man sieht die Dehnungen für jene Schnitte.
Für jede Kraft, gibt es zwei Bildern:
Das obere Bild ist eine Skizze von Realität, und das Untere ist die Darstellung der Struktur von Atena inklusive Skala.

Wie man sehen kann, sind die großen Dehnungen in der Feldmitte, im Untergurt und in den Diagonalen, weil dort die Zugspannung am höchsten ist.

Die Ergebnisse wurden von den Wegaufnehmern erhalten, die entlang der Struktur aufgestellt wurden.
Die Werte sind nicht in mm ausgedrückt, sondern in ‰. Die gemessenen Werte von den Wegaufnehmern in mm, werden sie durch ihre Länge dividiert, um ‰ zu erhalten.

Die Dehnungen in den Diagonalen und in den Stummeln wachsen schneller als die Dehnungen in der Feldmitte.
Im Gegensatz zum VK A, erhält man große Verformungen im Obergurtanschluss, oberhalb der seitlichen Öffnung, wo große Risse in diesen Bereichen aufgehen.

Die Zonen mit hohen Werten haben mehr Risse und mit großer Breite, da der Beton die Zugkräfte nicht aufnehmen kann.

In den erhaltenden Bildern von Athena werden die höheren Verformungen in den Stummeln angesammelt, so dass die Dehnungen in Feldmitte reduziert werden und die Dehnungen in den anderen Bereichen, wie Obergurtanschluss und Stummel, zunehmen.

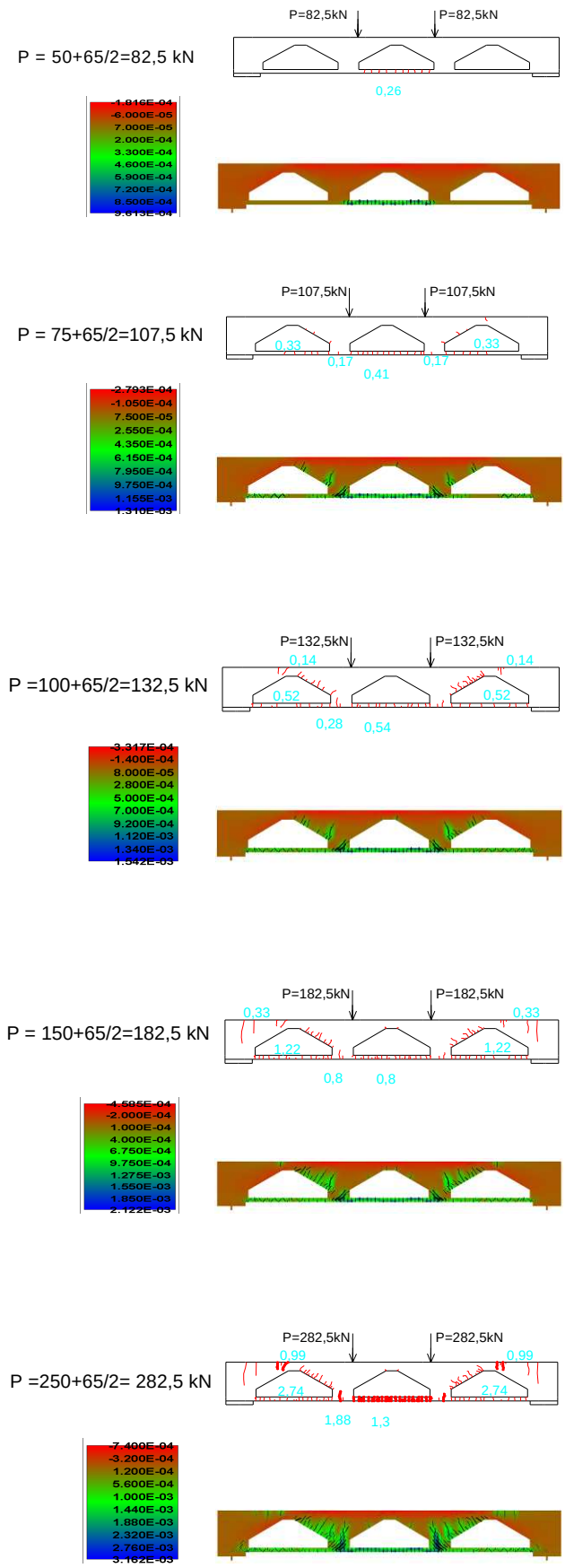


Abbildung 40: Die Dehnung im VK B

Das letzte Bild entspricht nicht dem Versagen, da das Versagen in Atena, wenn die Last 420 kN ist, auftritt. In diesem Fall hat die Tragstruktur in Atena weniger ausgehalten, als im Versuch. Der Unterschied zwischen der Bruchlast von Atena und der vom Versuch im Labor beträgt ΔF = 100 kN pro Presse (200 kN insgesamt).

Der Prozess des Versagens ist richtig und die Weise, wie es sich entwickelt hat, stimmt mit dem Belastungsvorgang im Labor überein.
Die Risse, die dem endgültigen Bruch vorausgehen, treten im Obergurtanschluss auf in Anschluss Diagonalen-Obergurt ist.
Die Abbildung 41 entspricht dem Versagen bei 420 kN.

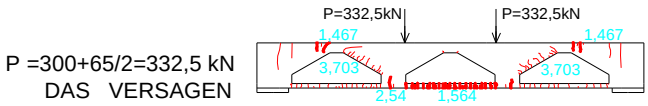


Abbildung 41:Die Dehnung des Versagens im VK B

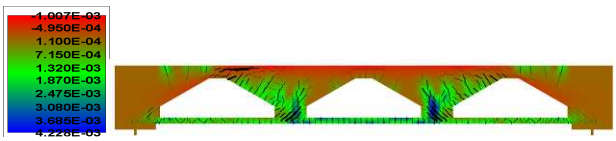


Abbildung 42: Atenas Bild, P = 332,5 kN

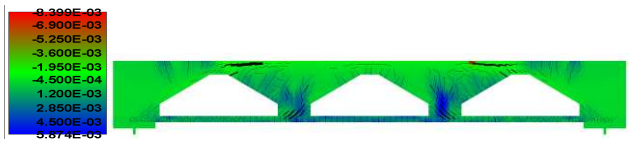


Abbildung 43: Atenas Bild, P = 420 kN

2.2.6.- DIE RISSE

- P = 50 + 65/2 = 82,5 kN.
  Die ersten Risse treten in der Mitte der Struktur in der Platte auf. Sie haben Rissbreite weniger als 0,05 mm. Jedoch ist die Anzahl gering und der Rissabstand groß.

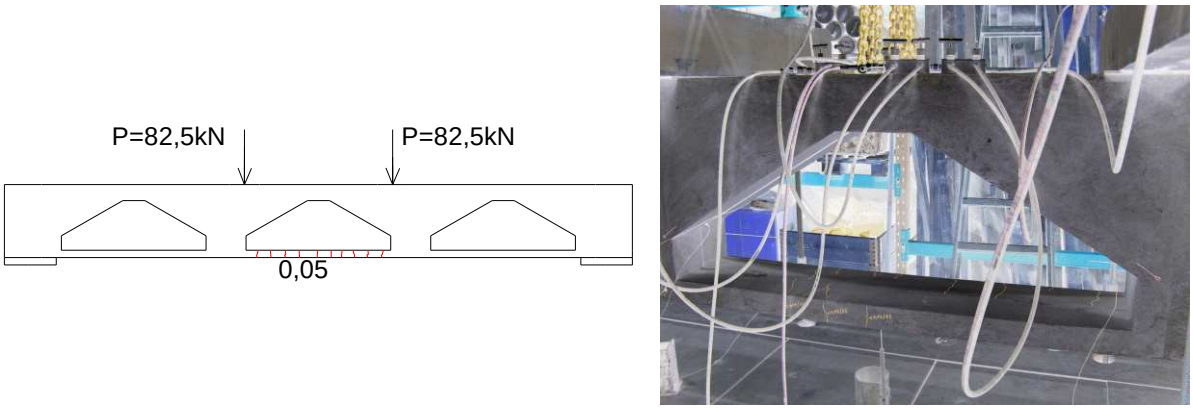


Abbildung 44: Risse im Step P=82,5 kN (in der Mitte)

- P = 75 + 65/2 = 107,5 kN.
  Kommen es auch Risse in den seitlichen Platten und an der unteren Seite der Stummel zu kleinen Rissen. Zusätzlich kommen einige Risse im rechten Obergurtanschluss, wie man in Abbildung 45 sehen kann. Die Rissbreite beträgt von 0,05mm. In der Platte erhält man Rissbreite von 0,05 mm bis 0,10 mm.

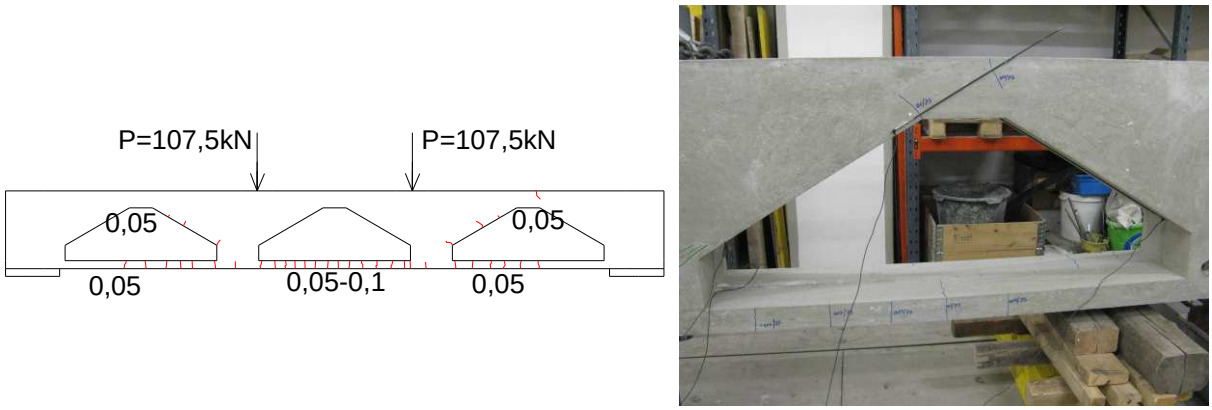
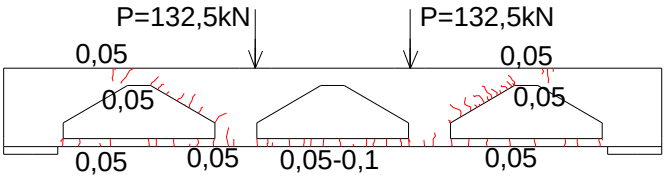


Abbildung 45:Risse im Step P= 107,5 kN (die rechte Seite)

- P = 100 + 65/2 = 132,5 kN.
  Es kommt zu Rissen (Haarrisse) im gesamten Untergurt, auch in den Diagonalen und im Obergurt treten vermehrt Risse auf.
  Im VK B, ist der Versuchsablauf gleich wie beim VK A, aber mehr Risse treten im Obergurt und in den Stummeln auf, sodass die Anzahl und die Breite der Risse in Feldmitte und in den Diagonalen erhöht sind.



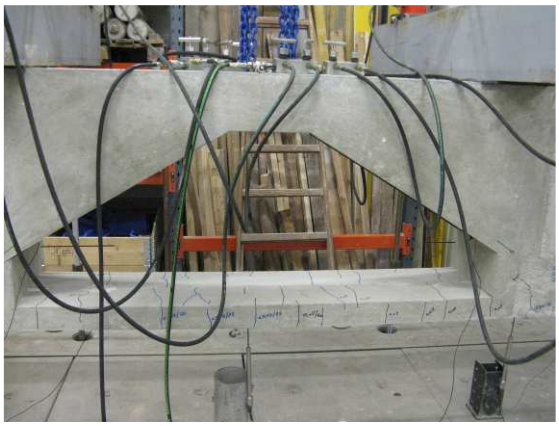
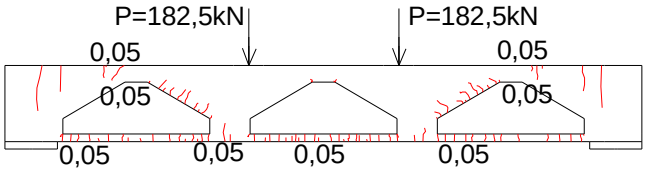


Abbildung 46: Risse im Step P= 132, 5 kN (die Mitte und die rechte Öffnung)

- P = 150 + 65/2 = 182,5 kN.
  Die Risse in der Platte und in den Diagonalen haben noch Breite von 0,05 mm bis 0,10 mm. Während dieser Stufe, treten neue Risse in dem linken Obergurtanschluss und auch im Obergurt auf.
  Diese Risse sind sehr lang und weit entfernt von den anderen Rissen im Obergurt.



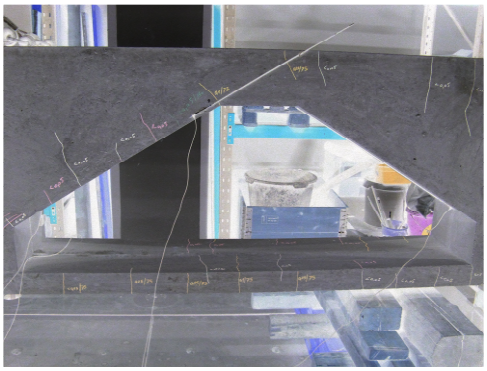


Abbildung 47: Risse im Step P=182,5 kN (die rechte Seite)

- P = 250 + 65/2 = 282,5 kN.
  Die Risse in Feldmitte in den Stummeln und in Obergurtanschluss wachsen.
  Die Breite der neuen Risse haben noch Werte zwischen 0,05 mm und 0,10 mm.

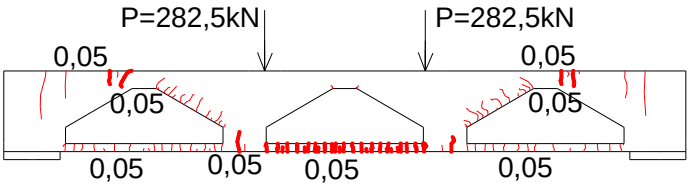


Abbildung 48: Risse im Step P=282,5 kN (die ganze Struktur)

- P = 300 + 65/2 = 332,5 kN.
  Das Versagen kommt im linken Obergurtanschluss.
  Zum Bruch kommt es sehr plötzlich.
  Im VK A traten zwei große Risse im Anschluss – Obergurt - Diagonalen auf, von denen einer versagte.
  Kurz vor dem Versagen sind horizontale Risse im Obertgurt auftreten, was auf eine Überbeanspruchung hinweist.

Abbildung 49: Zoom des Versagen in der linken Seite

2.3.- VERSUCHSKÖRPER C

2.3.1.- BESCHREIBUNG

Die äußerliche Geometrie des Versuchkörper C ist: 8,5m Länge, 1,00m Höhe und 0,40m Breite (Abbildung 50), wie VK A und VK B. Die Struktur hat auch drei gleichförmige Öffnungen. Ihre Öffnungen sind trapezförmig, wie in der Abbildung 50 gezeigt wird.

Der Versuchskörper C wurde wie B ausgeführt. Auch die Fuge in Fertigteillängsrichtung wurde bei diesem Versuchskörper gleich ausgeführt. Jedoch wurde im Stummelbereich eine Ortbetonbewehrung eingelegt. Wie man sehen kann, besteht die Ortbetonbewehrung aus vier Längsstäben im Obergurt und Zulagebewehrung in den Diagonalen. Jede Bewehrung hat einen Radius von 16 mm. Die Anordnung von den Stäben wird in der Abbildung 51 dargestellt.

Die Verbindung der einzelnen Fertigteile erfolgt über die Zulagebewehrung und den Ortbetonverguss.
Bei den beiden ersten Versuchen wurde ohne Zulagebewehrung das Auslangen gefunden. Bei diesem Versuch soll gezeigt werden, dass die Zulagebewehrung einen Teil der Kraftübertragung übernimmt.

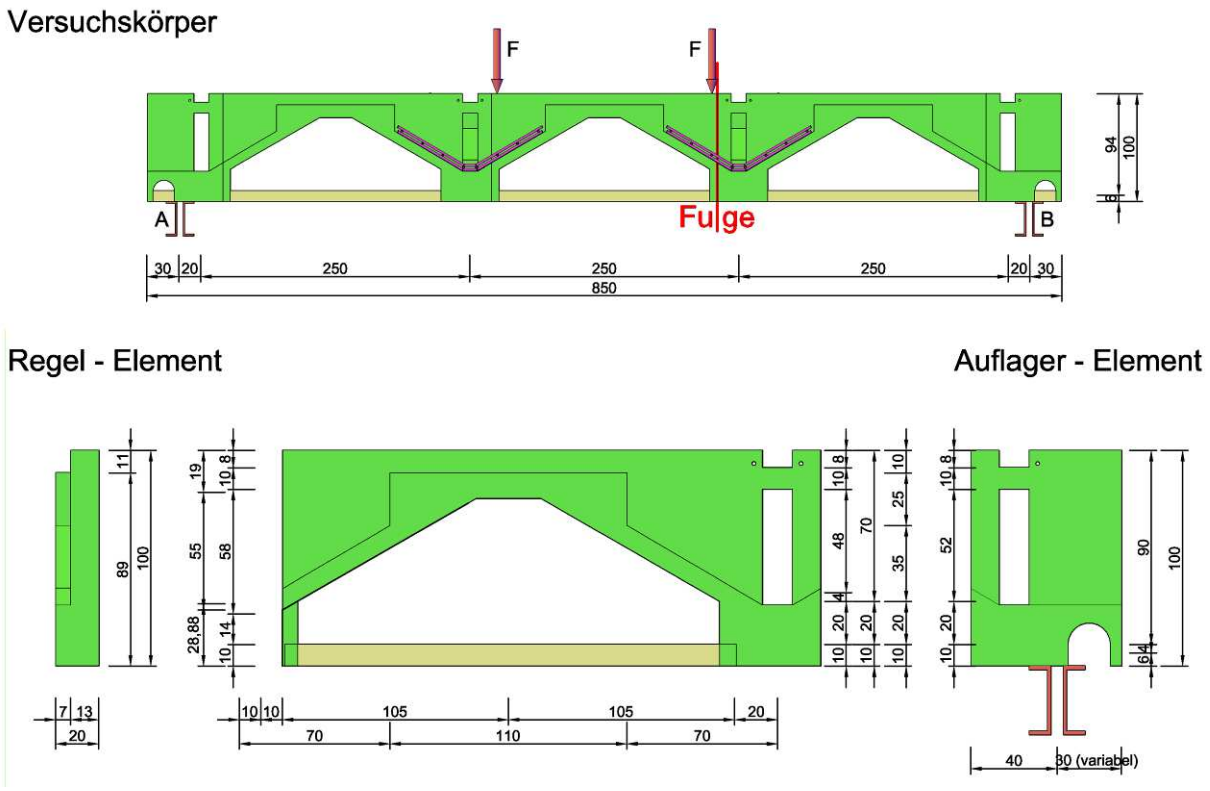


Abbildung 50: Skizze des VK C

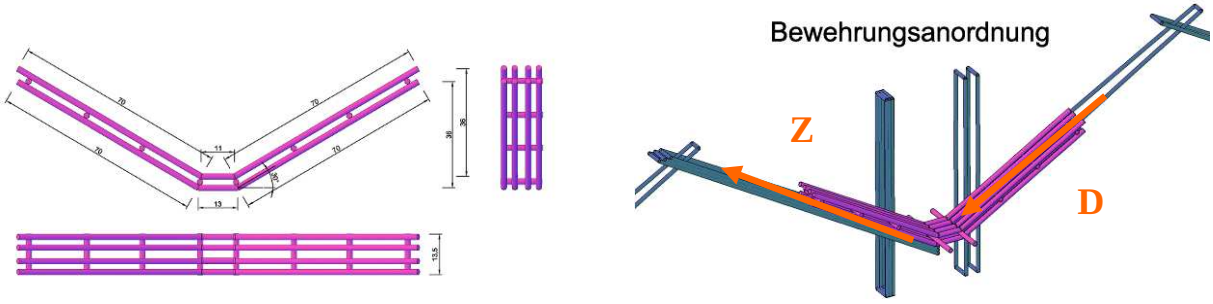


Abbildung 51: Detail von der Ortbetonbewehrung und ihre Anordnung

Bei der Ausführung der Bewehrung, wurde vom VK B ausgegangen.
Die einzige Änderung in der Konfiguration der Bewehrung war die Einführung der Ortbetonbewehrung im Bereich der Stummel. Mit dieser Bewehrung wird die Kraftübertragung von Druck- und Zugstrebe verbessert (Abbildung 51).
In Abbildung 52 ist die Bewehrungsführung eines Fertigteiles dargstellt.

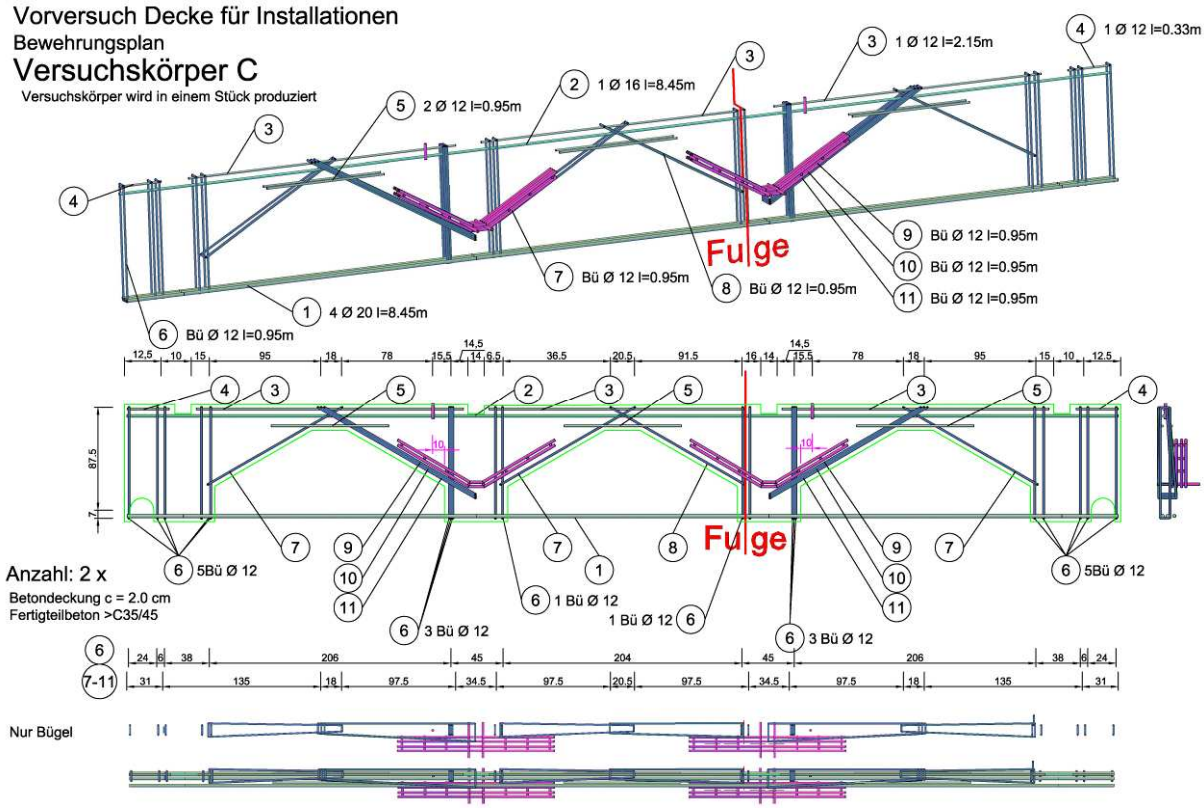


Abbildung 52: Die Anordnung der Bewehrung

Bei diesem Versuch hat man 15 Wegaufnehmer (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15) mit einer ähnlichen Anordnung wie Versuchskörper A benutzt. Die Wegaufnehmer D messen die Verformungen in den Diagonalen der Öffnungen, in der Feldmitte (Obergurt und Untergurt) und drei messen die Verformung im rechten Stummel in der Nähe der Fuge.
Wie bereits in den anderen Versuchen, hat man 5 Wegaufnehmer (W1, W2, W3, W4, W5) zur Messung der Durchbiegung der Struktur angeordnet. Einen in der Nähe der Auflager, zwei unter den Stummeln und einen in der Mitte.
Wie es bereits in den anderen Versuchen beschrieben wurde, ist die Anzahl neben den Wegaufnehmer die Messlänge.

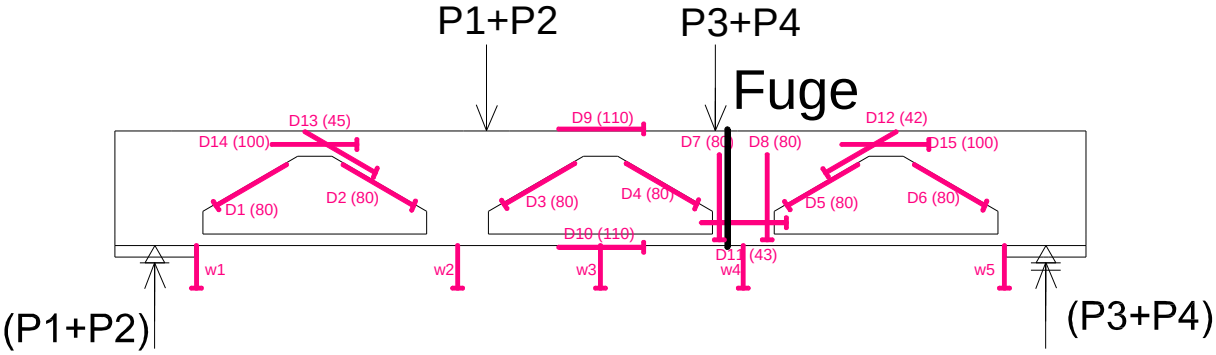


Abbildung 53: Anordnung den Wegaufnehmern in VK C

2.3.2.- FACHWERKMODELL

Das ist das statische System. Es besteht aus einem Einfeldträger, mit zwei Auflagern und zwei punktuellen Kräften, wo die Pressen sind: der Abstand zwischen **A** und der ersten Kraft ist 2,75 m, und der Abstand zwischen **A** und der zweiten Kraft ist 4,75 m.

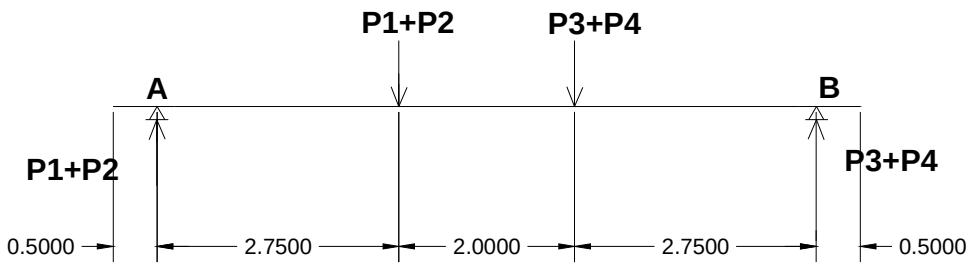


Abbildung 54: Die Skizze des Trägers

Obwohl man einige Änderungen in der Bewehrung der Struktur gemacht hat, andern sich die Fachwerkkräfte nicht.

Diesen Versuch hat man nicht mit Atena nachgerechnet, da die Kraftübertragung von Ortbeton zum Fertigteil nicht abgebildet werden konnte.

Allerdings funktioniert das Fachwerkmodell auch mit diesem Modell, wie man in den Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigt.
Dabei wird angenommen, dass die Kraftübertragung zwischen Ortbetonbewehrung und Fertigteil funktioniert.

Wie man im Fall B angedeutet hat, sind die Stäbe in hellgrün die Variationen in der Bewehrungsführung in Bezug auf die VK A, weil VK A als der Ursprung aller nachfolgenden Tests genommen wurde.

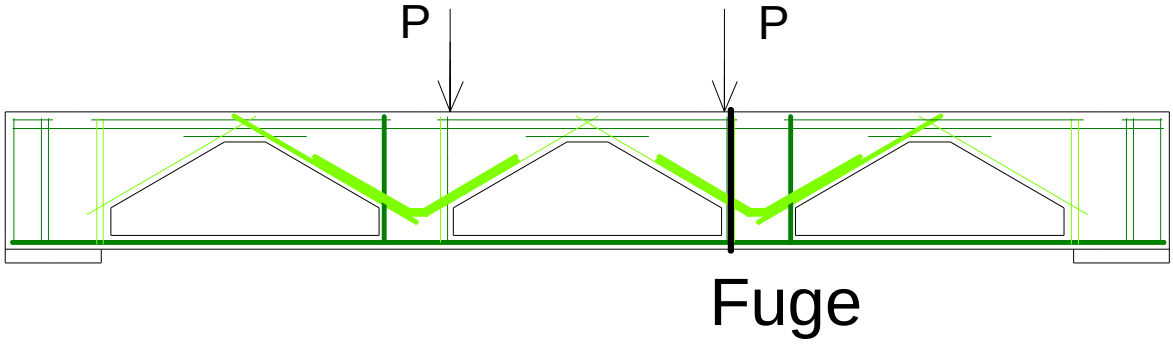


Abbildung 55: Skizze der Bewehrung in VK C

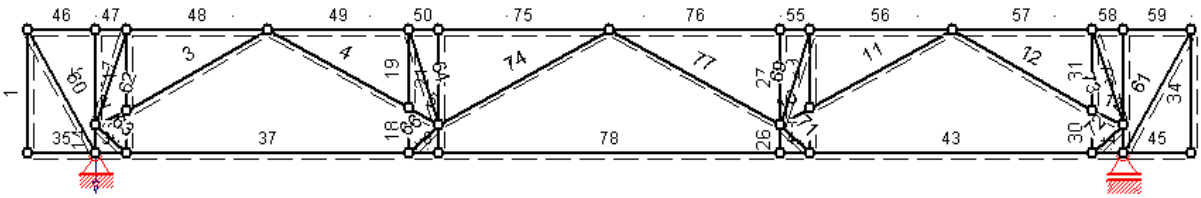


Abbildung 56: Fachwerkmodel für VK C

2.3.3.- DURCHBIEGUNG IN FELDMITTE VK C UND VK B

Man hat die wichtigsten Abschnitte der VK C ausgewählt, und man hat in der Abbildung 57 die Durchbiegung dargestellt für jene Phase und ihre entsprechende Kraft.

Die orangen Pfeile sind die Durchbiegungen vom VK C im Labor und die Pfeile in grün sind die Durchbiegungen von Versuchskörper B.

Auf diese Weise,
erhält man die reale Verschiebung, mittels der Daten von Weg 3 (in der Mitte) und Weg 1 und 5 (von den Auflagern).

Das Versagen des Trägers wurde bei einer Kraft P = 352, 5 kN erreicht, und die resultierende
Durchbiegung war 27,2 mm in vertikaler Richtung nach unten.

In diesem Fall vergleicht man die Ergebnisse der Durchbiegung vom VK B und vom VK C weil sie fast die gleichen Bewehrungen haben und ihr Verhalten ist sehr ähnlich.

Wie man sehen kann (

Abbildung 57), in jedem Schritt ist die Durchbiegung von VK B größer als die VK C. Das ist
weil der Versuchkörper B nicht die zusätzliche Bewehrung, die C hat, besitzt.
Deshalb erreicht der VK C eine Kraft von 352,5 kN.

Zum Zeitpunkt des Versagens von VK B bei P = 332,5 kN, ist die Durchbiegung von B 25,3 mm. Die Durchbiegung von VK C beträgt 24,885 mm bei einer Kraft von P = 352,5 kN ist.

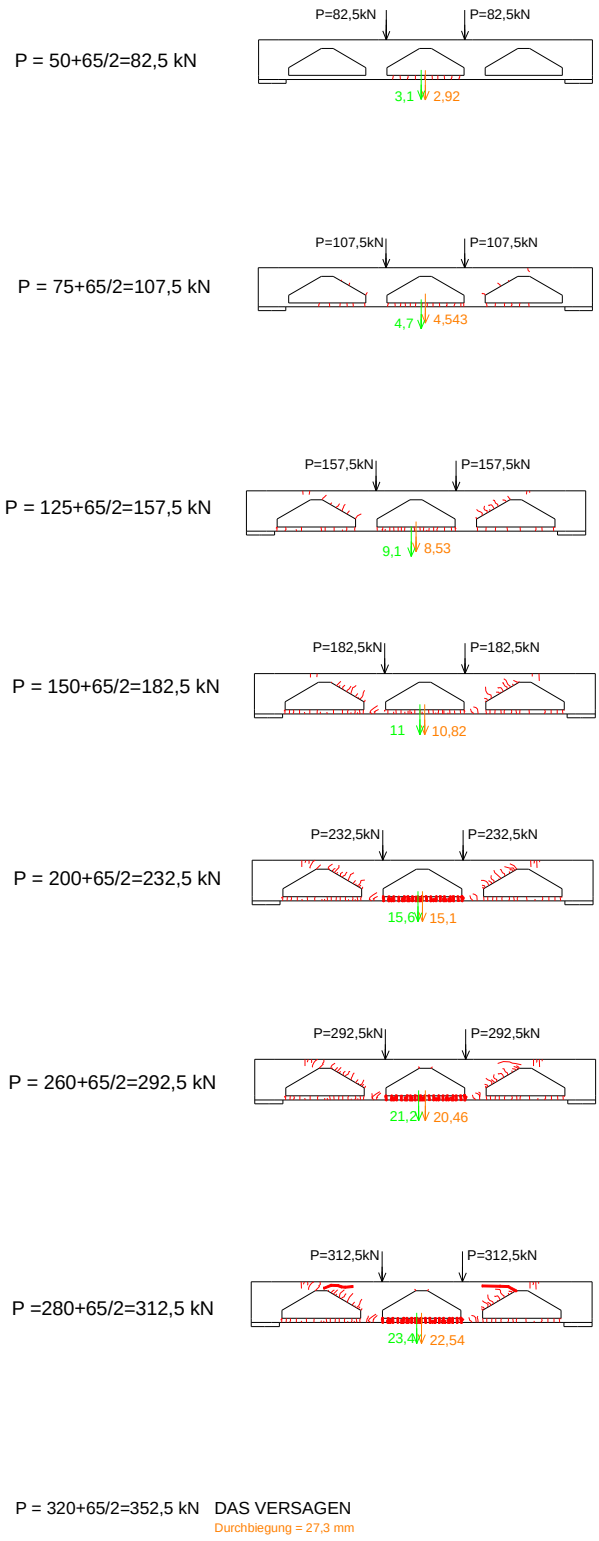


Abbildung 57:Durchbiegung von VKB und VKC

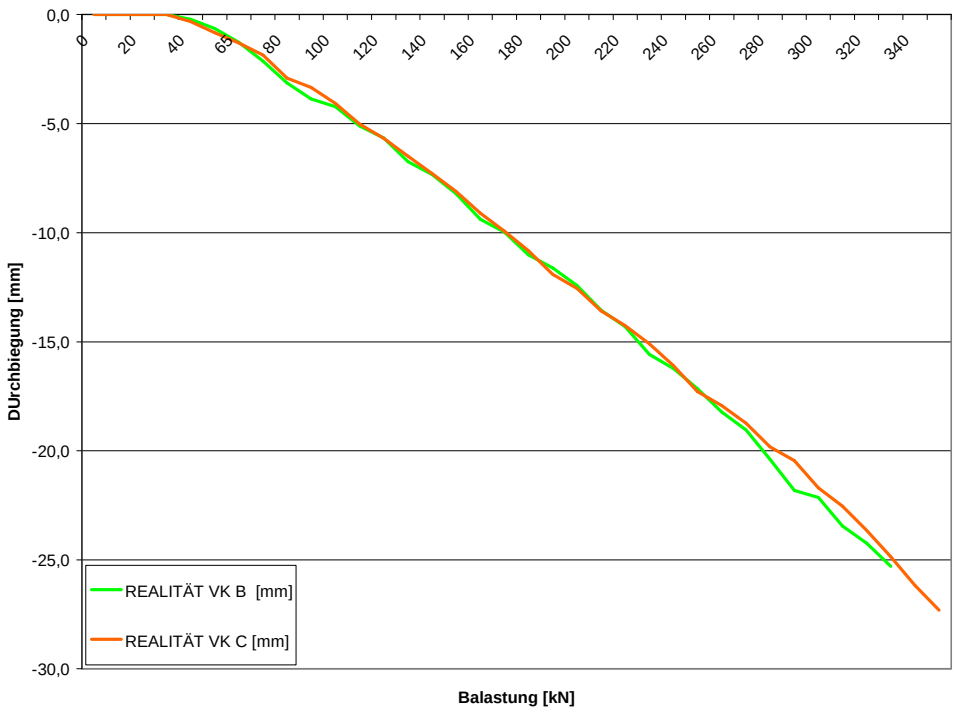


Abbildung 58: Graphik der Durchbiegungen VK C

In der Abbildung 58 kann man die Durchbiegungswerte veranschaulichen. Die Durchbiegungen von B sind immer größer als die Durchbiegungen von C.

Die Steigung der beiden Linien hat die gleiche Neigung, das heißt, die Reaktion der Struktur auf die Belastung der vier Hydraulik-Pressen ist fast gleich, trotz der geänderten Bewehrung.

2.3.5.- DIE DEHNUNGEN

In der Abbildung 59, sind die Dehnungen für Lastschritte dargestellt.

Die Werte in blau wurden von den Wegaufnehmern gesammelt. In diesem Fall wurden die bekommende Verformung von
D2 (80), D10 (110), D11 (43), D14 (100) genommen.

Wie man sehen kann, sind die großen Dehnungen in der Feldmitte-Untergurt, in den Stummeln und in den Diagonalen, weil dort die Zugspannung am höchsten ist.

Die Dehnungen in den Diagonalen steigen viel schneller als in anderen Bereichen. Feldmitte und im Stummel sind die Bereiche, in denen die Dehnung nicht so schnell wachsen. Gegen Ende des Versuchs kommt es auch hier vermehrt zu Rissen.

Im Vergleich mit anderen Versuchen, sieht VK C mehr wie VK A als VK B im Bezug auf Dehnungen aus.
Dies liegt daran, dass im VK A und C das Wachstum von Dehnungen in Feldmitte hoch ist und dieses Wachstum ist auch nicht so hoch wie in der Diagonalen und in den Stummeln.
Der Unterschied zu VK B ist, dass die Dehnungen in Feldmitte vom VK B reduziert werden und es wird die Dehnungen in den Diagonalen, den Stummeln und im Gebiet des Obergurtanschlusses erhöht.

Auf diese Weise kommt man zum Schluss, dass die zusätzliche Bewehrung im VK C das Wachstum der Dehnungen in den Stummeln und Diagonalen verlangsamt und diese Dehnungen werden mit denen der zentralen Zone des Obergurts ausgeglichen.

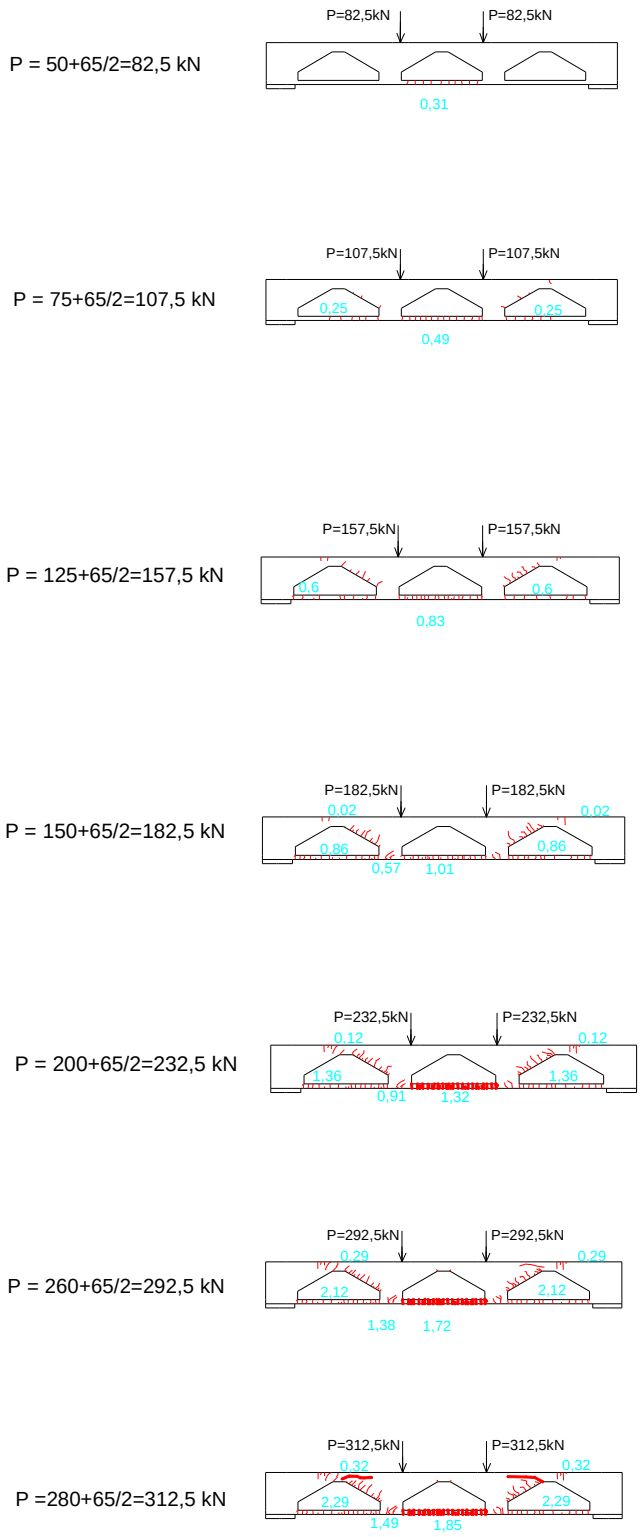


Abbildung 59: Die Dehnung im VK C

2.3.6.- DIE RISSE

Um die Risse zu ermitteln, wurde der Belastungsvorgang bis zum Versagen der Struktur in die folgenden Schritte unterteilt. Die Kraft P ist die Belastung von einer Pressegruppe inklusive Eigengewicht des Versuchskörpers und des Versuchsaufbaus.

- P = 50 + 65/2 = 82,5 kN.
  Bei 82,5 kN, gibt es relativ viele Risse verteilt in der gesamten Platte (seitliche Untergurte und zentrale Untergurt). In
  Abbildung 60 kann man die ersten Risse in schwarz sehen.

  Die Rissbreiten sind weniger als 0,05 mm.

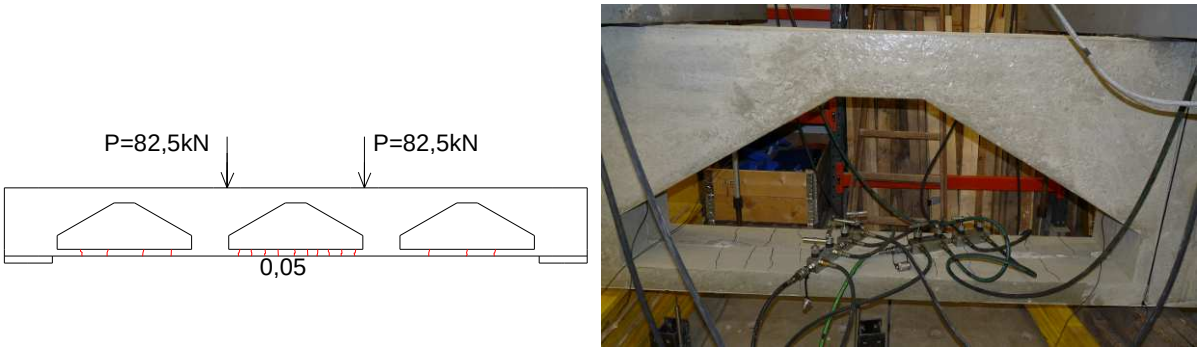


Abbildung 60: Step 82,5 kN, Skizze der Struktur und Foto der Mitte

- P = 75 + 65/2 = 107,5 kN.
  Mehr Risse treten in der Platte entlang der gesamten Struktur und auch in den Diagonalen auf. Einige kleine Risse, die in der vorherigen Phase bereits da waren, sind gewachsen.

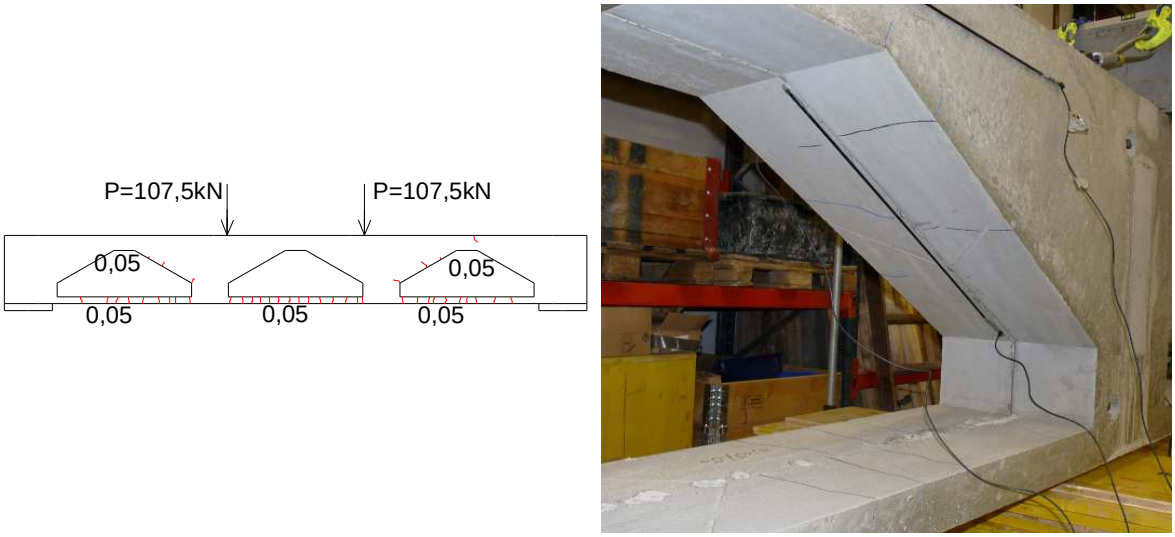


Abbildung 61:Step 107,5 kN, Skizze der Struktur und Foto der linke Seite (Diagonale)

- P = 125 + 65/2 = 157,5 kN.
  Die Platterisse erhöhen in Zahl und Breite und einige von diesen Rissen erreichen eine Rissbreiten von 0,1 mm.
  In den Diagonalen gibt es relativ wenige Risse und sie sind sehr dünn (0,05 mm), aber auf der linken Seite der Struktur treten mehr Risse auf. Auch in dem linken Stummel kommen die ersten Risse auf.

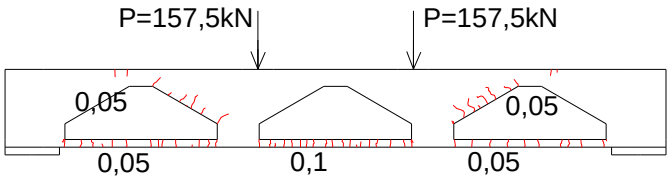


Abbildung 62: Step 157,5 kN

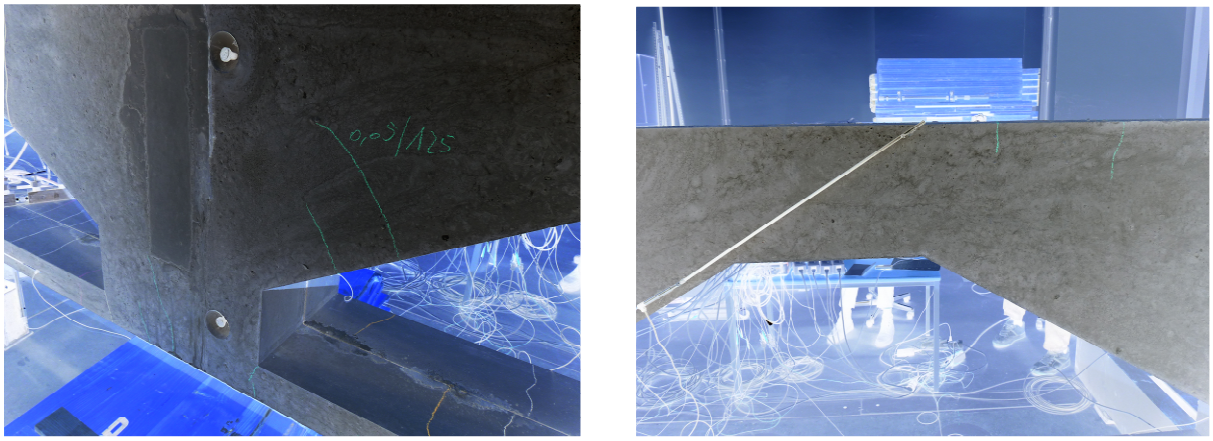


Abbildung 63: Fotos von einem Stummel und Obergurt

- P = 150 + 65/2 = 182,5 kN.
  Kommt es zu Rissen in den Stummeln, welche rasch anwachsen bei dieser Belastung.
  In den Diagonalen werden die Risse immer mehr, aber die Rissbreite überschreiten niemals 0,05 mm.
  In Abbildung 65 sind die Risse von diesen Stufe in gelb dargestellt.

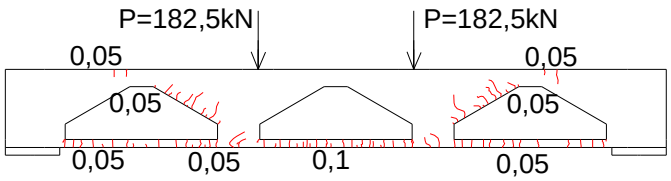


Abbildung 64: Step 182,5 kN

Abbildung 65: Die Risse auf einem Stummel und auf einer Diagonale

- P = 200 + 65/2 = 232,5 kN.
  Einige Risse entwickeln sich im Obergurt der Struktur. Diese sind im vorherigen Schritt erschienen.
  Bei P = 220 kN nimmt der Zahl der Risse in der Platte, in den Stummeln und den Diagonalen noch weiter zu und dies bewirkt den Abfall eines Messgerät (Wegaufnehmer D8). Der Wegnehmer war in vertikaler Position auf dem rechten Stummel befestigt.

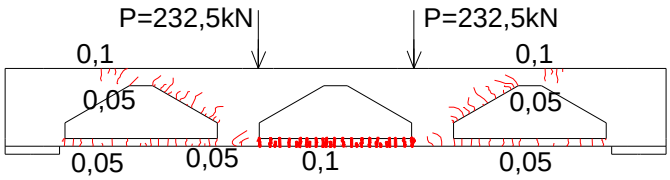


Abbildung 66: Step 232,5 kN

Abbildung 67: Risse auf der rechte Seite und vertikale Risse auf Obergurt

- P = 260 + 65/2 = 292,5 kN.
  Es treten die ersten horizontalen und schrägen Risse im Obergurtanschluss der beiden Seiten der Struktur auf. Außerdem kommt es auf den beiden oberen Ecken vermehrt zu Rissen.

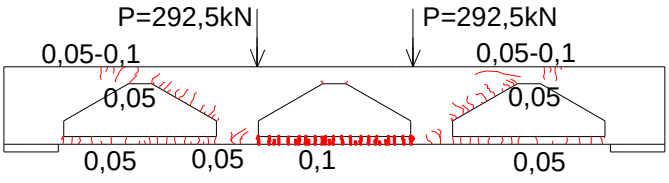


Abbildung 68: Step 292,5 kN

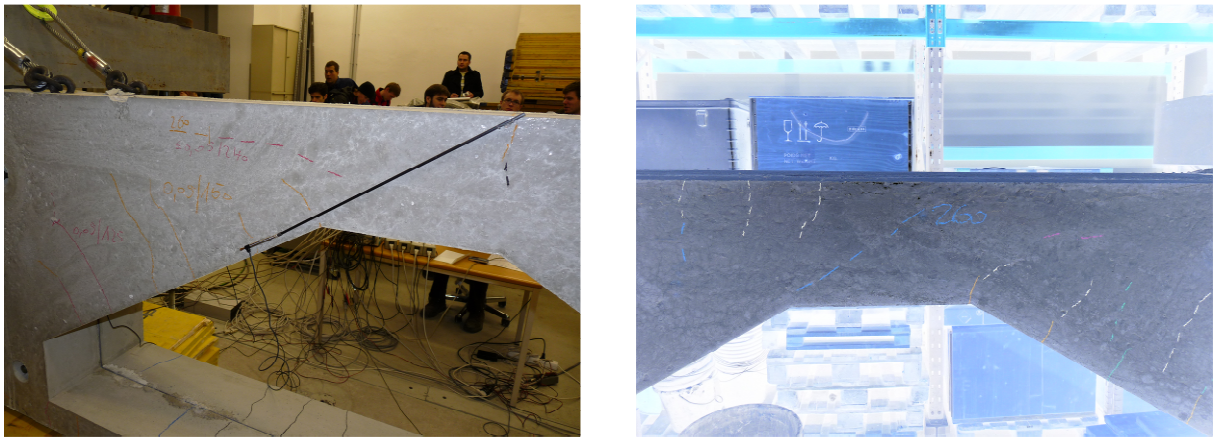


Abbildung 69: Horizontale Risse in linker Seite und in rechter Seite

- P = 280 + 65/2 = 312,5 kN.
  Entlang der gesamten Struktur wachsen die Risse in der Feldmitte, in den Diagonalen und dem Obergurt weiter. Aber die horizontalen Risse sind die wichtigsten, weil sie sehr rasch wachsen. In Abbildung 71 sind zwei Fotos abgebildet: das erste wurde, vor einem horizontalen Riss aufgenommen, und im zweiten Foto gibt es den Riss.

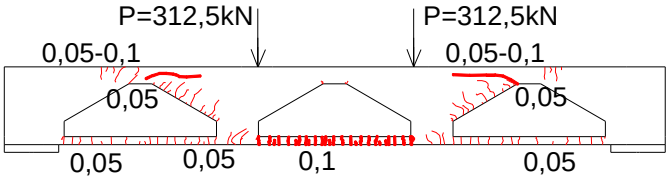


Abbildung 70: Step 312,5 kN

Abbildung 71: Foto ohne horizontaler Riss und kurze Zeit später, mit dem Riss

- P = 320 + 65/2 = 352,5 kN.
  Mit dem Aufgehen des horizontalen Risses auf der rechten Seite, beginnt das Versagen der Struktur (
  Abbildung 72).
  Das Versagen ist bei einer Kraft von 352,5 kN pro Einzelkraft aufgetreten. Der horizontale Riss war Ursache des Versagens. Es kam zum Ausreißen der Zugbügel (Zugdiagonale).

Abbildung 72: Zoom des Versagens

Abbildung 73: Das Versagen in rechter Seite

2.4.- VERSUCHSKÖRPER D

2.4.1.- BESCHREIBUNG

Die äußerliche Geometrie des Versuchkörper C ist: 8,5m Länge, 1,00m Höhe und 0,40m Breite (Abbildung 74), wie auch die Versuchskörper (VK A, VK B, und VK C).
Wie man in Abbildung 74 sehen kann, sind die Öffnungen gleich wie im Versuch C, lediglich die Bewehrung wurde geändert.

Die Zugdiagonalen in den seitlichen Öffnungen wurden verkürzt und diese reichen nur bis nur den vertikalen Bügeln.
In Abbildung 75 ist die Bewehrung der Struktur dargestellt und Abbildung 76 zeigt eine Vergrößerung der Stäbe im Stummelbereich.
Es gibt auch noch andere Veränderungen in der Struktur: Eine Verstärkung, der Bewehrung im Obergurtanschluss.
Die Verstärkung besteht aus 10 vertikalen Bügel (DN 12), fünf in jedem seitlichen Anschluss (in Abbildung 75 sind diese Bügel die Gruppe 13). Sie umfassen die drei Gruppen von Stäben:

- einen langen Stab (8,45 m lang und 1DN16) (Gruppe 2).
- einen Stab, der jedem Loch entspricht , mit 2,34 m Länge und 1DN12 (Gruppe 3).
- der unteren Gruppe aus zwei Stäben (2DN12 und Länge 0,95 m)(Gruppe 5).

In der zentralen Öffnung gibt es keine Verstärkung. Es ist nicht nötig, denn es gab praktisch keine Risse in der zentralen Öffnung und die Obergurtanschlüsse der Seiten wurden in VK A, VK B und VK C gebrochen.

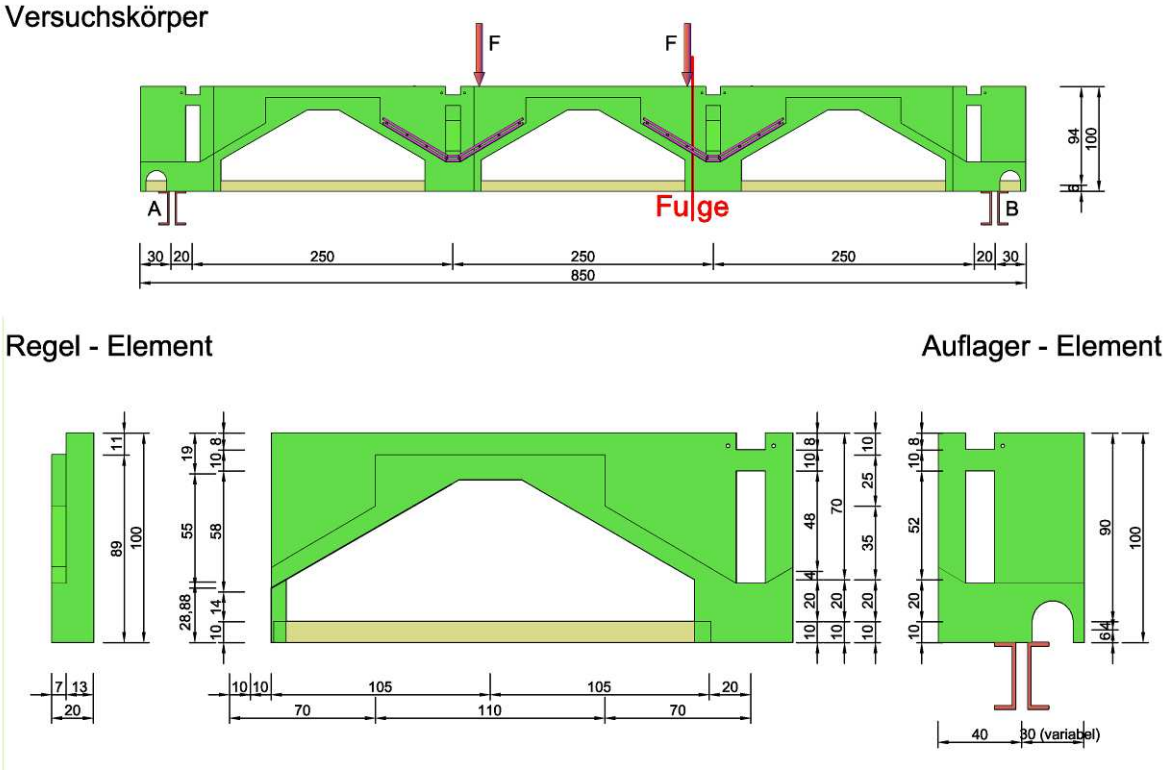


Abbildung 74: Skizze des VK D

Der Versuchskörper D hat wie auch C eine Fuge in Fertigteillängsrichtung.
Außerdem wurde eine Ortbetonbewehrung im Stummelbereich eingelegt. Wie beim Versuchskörper C, besteht die Ortbetonbewehrung aus vier Längsstäben, Durchmesser 20 mm und 8 Bügel Durchmesser 12 mm.
Die Anordnung von den Stäben wird in der Abbildung 75 dargestellt.

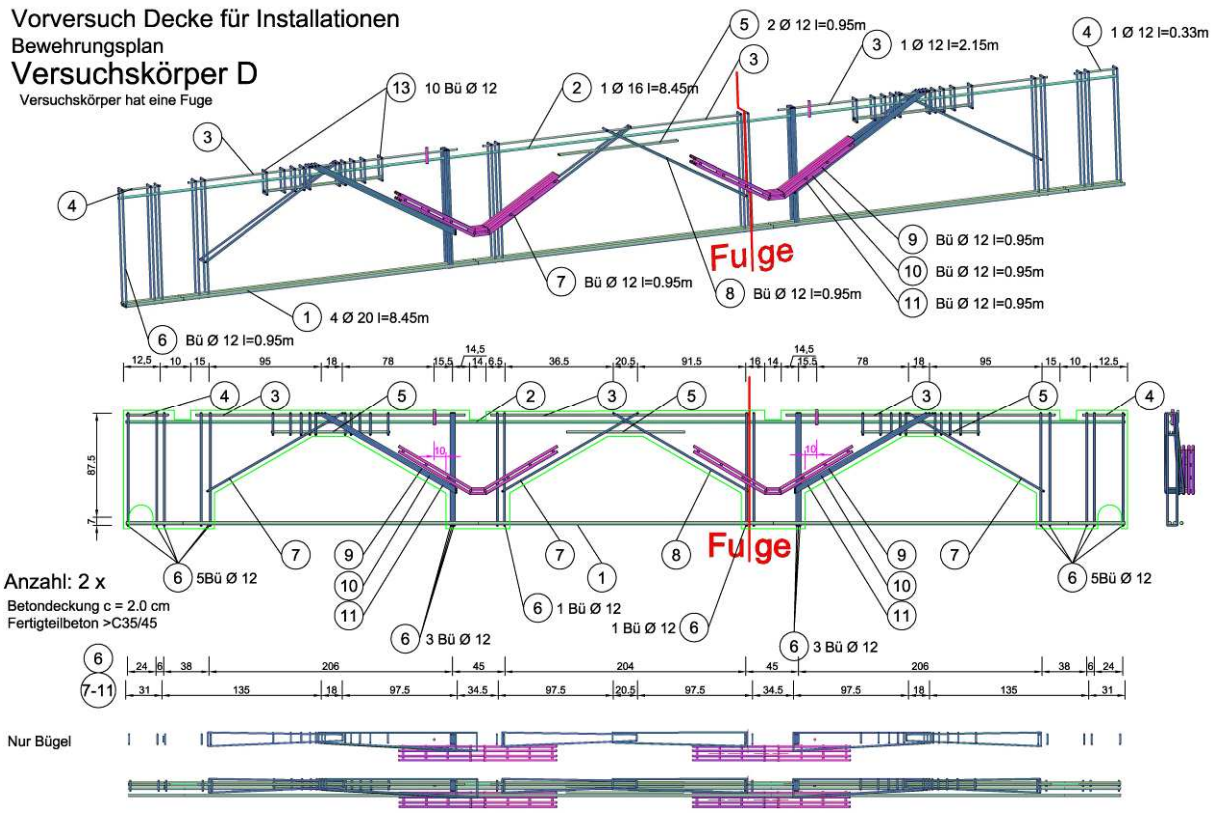


Abbildung 75: Die Anordnung der Bewehrung VK D

Der große Unterschied zu dem vorhergehenden Test (VK C) ist die Länge der Diagonalen und von denen hängt das Versagen der Struktur ab, wie man im Abschnitt Risse erklärt.
Wie man in der folgenden Abbildung 76 beobachten kann, umfassen die Zugdiagonale die vertikalen Bügel, die Zugdiagonalen verlaufen nicht bis zur Mitte des Querträgers, wie es im Versuchskörper C geschieht.
Da sich die Zug- und Druckdiagonalen nicht in der Stummelmitte treffen, kommt es zu keinem Kurzschluss der Kräfte. Entweder die Druckstrebe wird so flach, dass es zum Kurzschluss kommt, oder die Zugkraft wird über die Zulagebewehrung in Ortbeton übertragen.

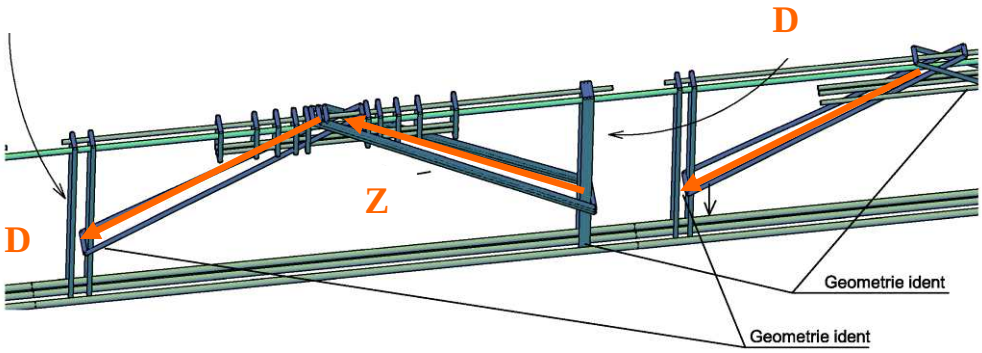


Abbildung 76: Zoom von der Bewehrung

Die Kraftübertragung der Fertigteilbügel und der Zulagebewehrung, muss jedoch über die Fertigteilfuge möglich sein.

Für diesen Versuch hat man 15 Wegaufnehmer (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15) mit einer ähnlichen Anordnung wie im Versuchskörper C benutzt. Die Variation der Anordnung der Wegaufnehmer D wurde in Stummel produziert, da die vertikalen Dehnungen in diesem Fall in beiden Stummeln gemessen wurden und nur einen horizontalen Wegaufnehmer wurde neben der Fuge angeordnet.
Die Wegaufnehmer D messen die Verformungen in den Diagonalen der Öffnungen, im Anschluss Diagonalen - Obergurt (platzierte horizontal und schräg), in Feldmitte (Obergurt und Untergurt) und drei in den Stummeln (zwei horizontale und einer vertikale).
Wie auch bereits in den anderen Versuchen, hat man 5 Wegaufnehmer (W1, W2, W3, W4, W5) zur Messung der Durchbiegung der Struktur angeordnet.

Wie bereits in den anderen Tests beschrieben wurde, ist die Zahl neben den Wegaufnehmer dessen Messlänge. Die Längen sind verschieden für jeden Aufnehmer und auch verschieden im Vergleich zu den anderen Versuchen, obwohl sie in derselben Stelle mit der gleichen Anzahl sind.

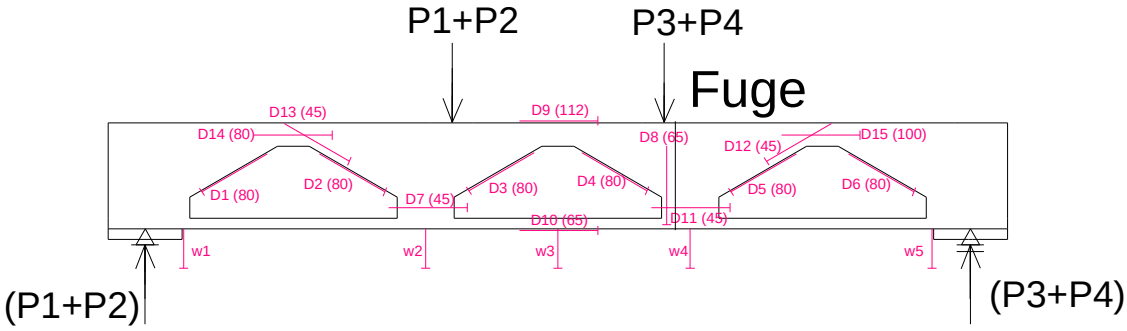


Abbildung 4: Anordnung den Wegaufnehmern in VK D

2.4.2.- FACHWERKMODELL

Das ist das statische System. Es besteht aus einem Einfeldträger mit zwei Auflagern und zwei Einzel-Kräften, wo die Pressen sind: die Länge zwischen **A** und der ersten Kraft ist 2,75 m, und die Länge zwischen **A** und der zweiten Kraft ist 4,75 m.
Wie man prüfen kann, ist es die gleiche Anordnung wie in den vorangegangenen Tests, weil das statische System immer gleich ist.

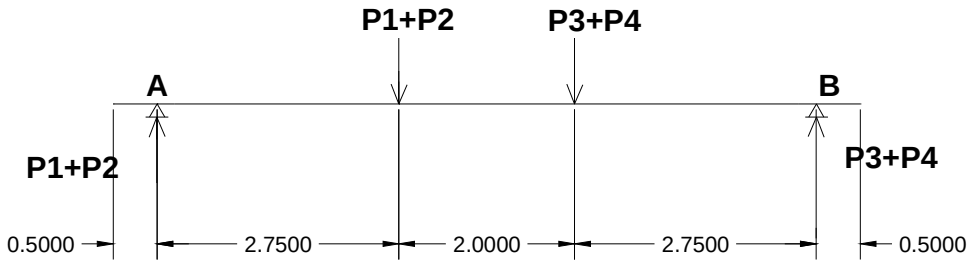


Abbildung 77: Die Skizze des Trägers

Da man einige Änderungen in der Bewehrung der Struktur gemacht hat, modifizieren sie das Verhalten der Struktur und sie verändern auch die Analyse des Fachwerkmodels.

In Abbildung 79 und Abbildung 79, sieht man die beiden Fachwerkmodelle für Versuchskörper C und D. Die Anordnung der Stäbe im Stummel ist verschieden, um das Verhalten an die neue Struktur anzupassen.

Im VK C kommen in den beiden zentralen Stummeln alle Stäbe zu dem Knoten, wo die zentralen Nulldiagonale und einer vertikaler Bügel sich treffen. Obwohl in der Versuchskörper D alle Stäbe zu einem Knoten, wo die Zugdiagonale und ihre Bügel sich treffen, kommen. Das liegt daran, dass die beiden Diagonalen in diesem Fall praktisch unabhängig sind.
Zur Simulation der Wirkung von dem Verband des Betons gibt es einen Stab zwischen den zwei Knoten, da die Bügel nicht wirklich unabhängig sind.
Der Rest der Struktur bleibt wie in den vorangegangenen Studien.
In der Abbildung 78 ist die komplette Struktur des Fachwerkmodells VK D mit den zwei Kräften der vier Pressen auf den Knoten, und die Reaktionen an den Auflagern.

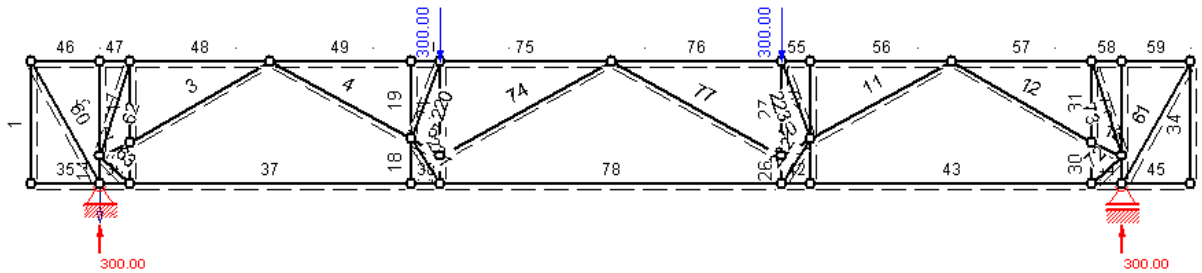


Abbildung 78: Fachwerkmodel vom VK D

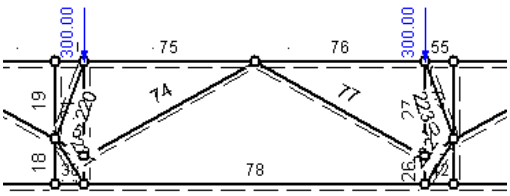


Abbildung 79: Zentrales Detail vom VK D

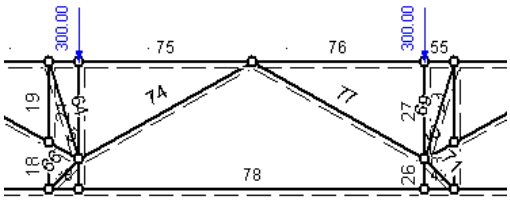


Abbildung 80: Zentrales Detail vom VK C

Auch diesen Versuch hat man nicht mit Atena realisiert, da sie Simulation der Kraftübertragung und zwischen Ortbeton und Fertigteil schwierig ist und man sich keine sinnvollen Ergebnisse erwartet. Der Versuch hat dann auch gezeigt, dass gerade diese Kraftübertragung schwierig ist

Die neuen Stäbe im Hinblick auf VK C sind wie man bereits erwähnt: die Verkürzung der Druck- und Zugdiagonalen und die Verstärkung im Anschluss der seitlichen Öffnungen der Struktur.

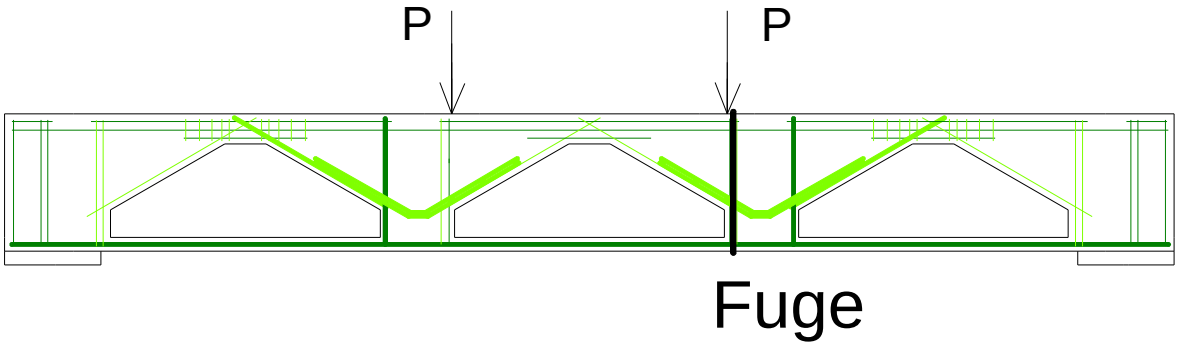


Abbildung 81: Skizze der Bewehrung vom VK D

2.4.3.- DURCHBIEGUNG IN FELDMITTE VK C UND VK D

Man hat die wichtigsten Abschnitte vom VK C ausgewählt, und man hat in der Abbildung 82 die Durchbiegung darstellt.

Die orangen Pfeile sind die Durchbiegungen vom Versuchskörper D und die Pfeile in blau sind die Durchbiegungen von Versuchskörper C.

Auf diese Weise,
erhält man die reale Verschiebung, mittels der Daten von Weg 3 (in der Mitte) und Weg 1 und 5 (von den Auflagern).

Das Versagen des Trägers wurde, bei einer Kraft P = 242, 5 kN erreicht:
Die resultierende Durchbiegung betrug dabei 25,33 mm.

In diesem Fall, vergleicht man die Ergebnisse der Durchbiegung vom VK C und vom VK D, weil der Versuchskörper D eine Mischung zwischen VK B (mit kurzen Diagonalen) und VK C (mit den Ortbeton Bewehrung) ist. Aber wie man sehen kann, sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich.

Wie man in der Abbildung 81 sehen kann, in den frühen Steps der Belastung (vom Anfang bis 85 kN), die Durchbiegung vom VK C größer als vom VK D.
Ab dieser Last steigt die Durchbiegung von D sehr schnell und distanziert sich von den Werten vom Versuchskörper C.
Diese Risse lassen sich durch ein vermehrtes Auftreten von Rissen im Stummel erklären.

Der Wert der Durchbiegung beim Versagen war 25,33 mm. In Verglich mit 20,26 mm beim VK C, bei gleicher Belastung.

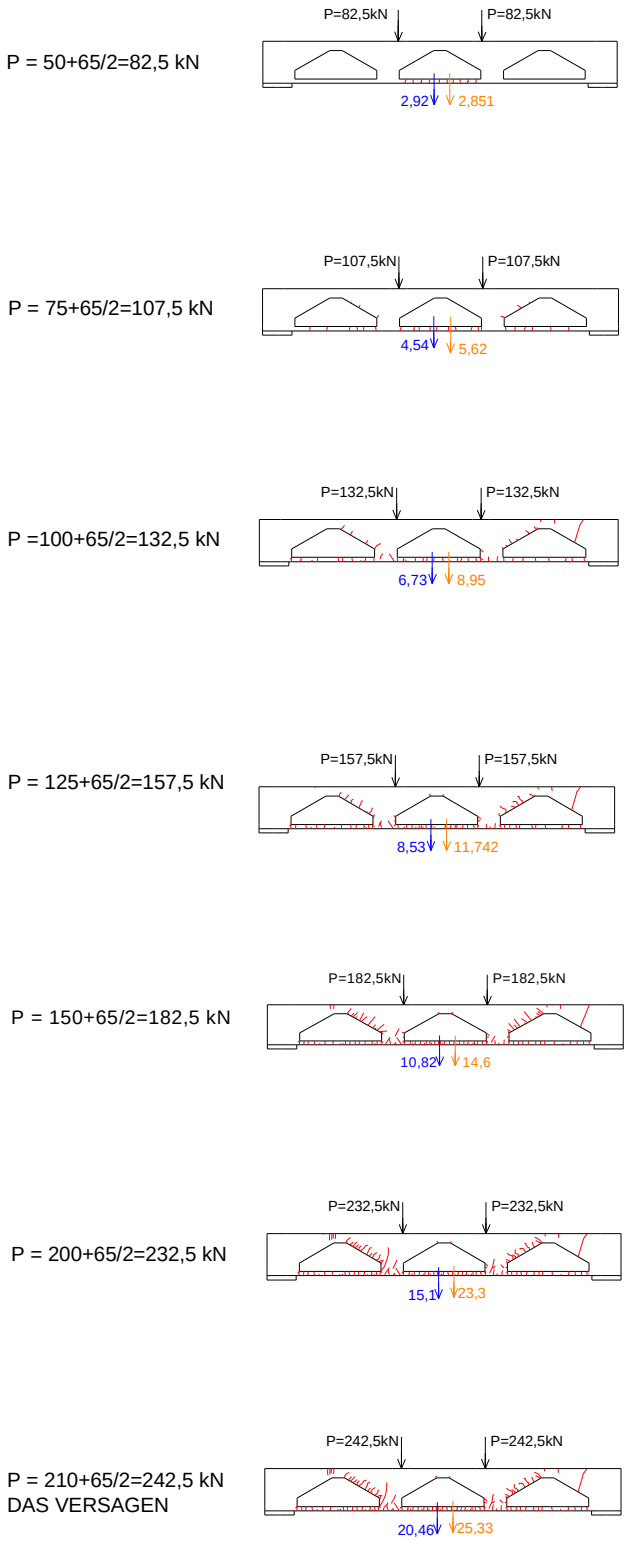


Abbildung 82:Durchbiegung von VKC und VKD

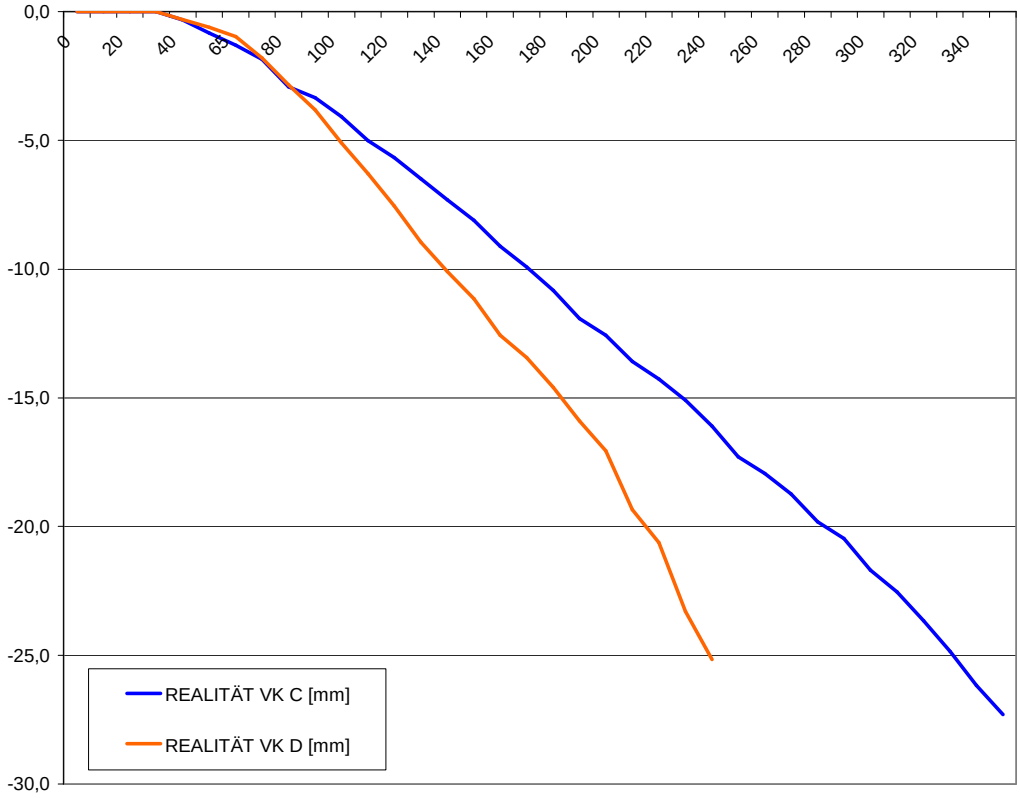


Abbildung 83: Graphik der Durchbiegungen VK C und VK D

Durch den Vergleich mit VK C, sieht man bereits, dass die kürzeren Bügelbewehrungen einen großen Einfluss auf das Tragverhalten haben.

Man kann beobachten, dass der VK D sich anders als frühere Versuchskörper verhält. Auch Versagensmechanismus ist ein anderer.
In der Grafik von der Abbildung 83, zeigt man, dass die Neigung der Durchbiegung des VK D sehr stark ab die Belastung P = 85 kN ist. Man bemerken, dass es zwei Neigungen in der Grafik für VK D gibt:

- Die erste von 85 kN bis 200 kN und

- die zweite (ab 200 kN), die stärker als vorher ist.

Im Gegensatz dazu ist die Neigung vom VK C konstant während dem gesamten Lastvorgang bis zum Versagen, bei P = 352,5 kN.

2.4.5.- DIE DEHNUNGEN

In der Abbildung 84, sind die Dehnungen für die Lastschritte abgebildet.

Die Werte in blau, wurden von den Wegaufnehmern aus dem Versuch erhalten.
In diesem Fall, wurden die Verformung von
D2 (80), D7 (45), D10 (65), D14 (80) genommen. Man wählt die Wegnehmer, die die Information in den wichtigen Bereichen, welchen auch gut kontrollierbar sind eingeholt: Platte, Diagonale, Stummel und Obergurtanschluss.

Wie man sehen kann, ist der VK D ein Einzelfall. Die größeren Dehnungen, die in der Struktur auftreten, sind an der Unterseite der Stummel, mit größeren Dehnungen im rechten Stummel, da die Fuge auf dieser Seite ist.
Die Dehnungen in der Feldmitte und in den Diagonalen sind ziemlich klein, da fast alle Verformungen sich auf den Stummel konzentrieren.
Im Versuchskörper D sind die Dehnungen in den Diagonalen gering und daher weniger Risse vorhanden.
Die Wachstumsrate, sowohl in der Diagonalen wie in Feldmitte, ist ebenfalls recht gering.
In den Bereichen des Obergurts, der seitlichen Öffnungen wachsen die Dehnungen schneller als im Versuchskörper C.

Im Bereich der Stummel, treten die größten Dehnungen auf der rechten Seite auf, weil in dieser Zone die Fuge durchgeführt wurde. Die Fuge begünstigt, dass es große Dehnungen und weniger Risse gibt. Dies liegt daran, dass die Fuge die Verformung aufnimmt und der Beton unter geringern Zugspannungen steht.

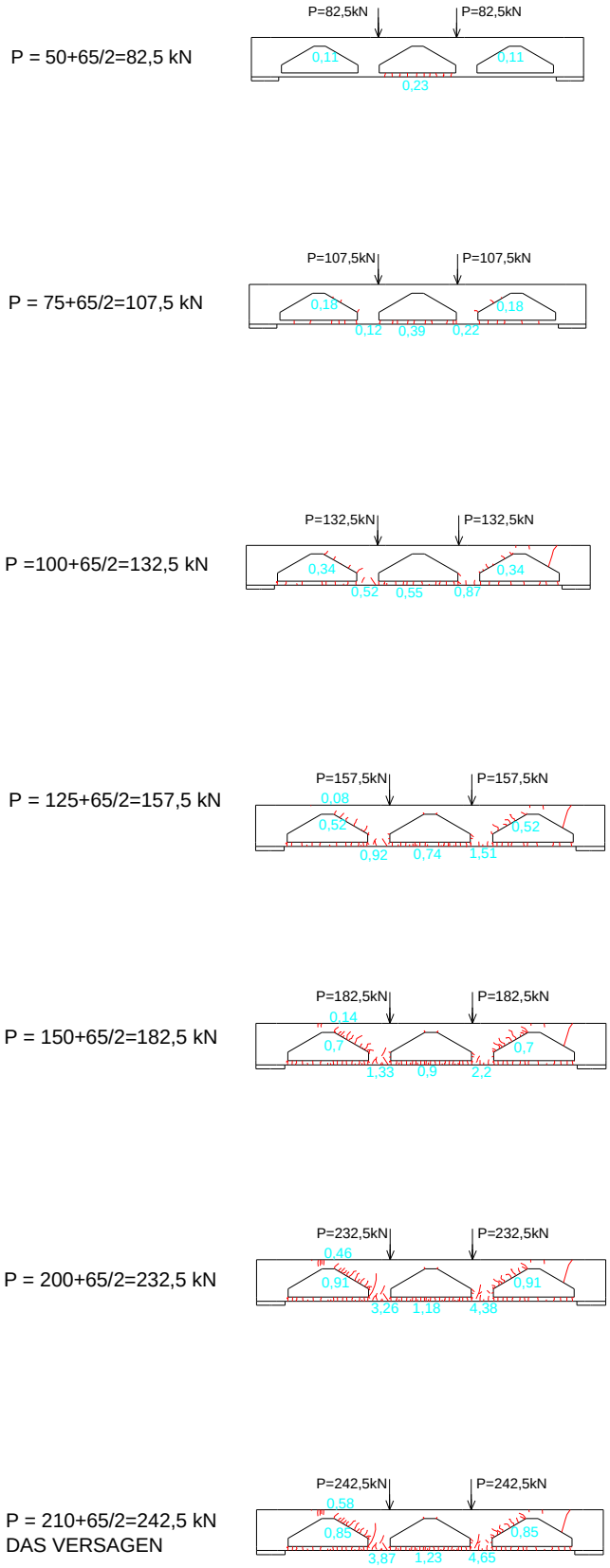
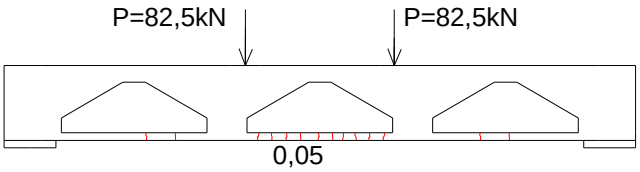


Abbildung 84: Die Dehnung im VK D

2.4.6.- DIE RISSE

In diesem Abschnitt wird es bei jeder Laststufe die Risse anhand von Bildern erklärt.

- P = 50 + 65/2 = 82,5 kN.
  Seit dem Beginn des Prozesses der Belastung erscheinen kleine Risse in der gesamten Platte, nicht nur in der Mitte, sondern auch im Bereich der seitlichen Öffnungen. Diese Risse beginnen an die Oberseite der Platte, und verlaufen quer sich bis zu den Rändern der Platte (Biegerisse).



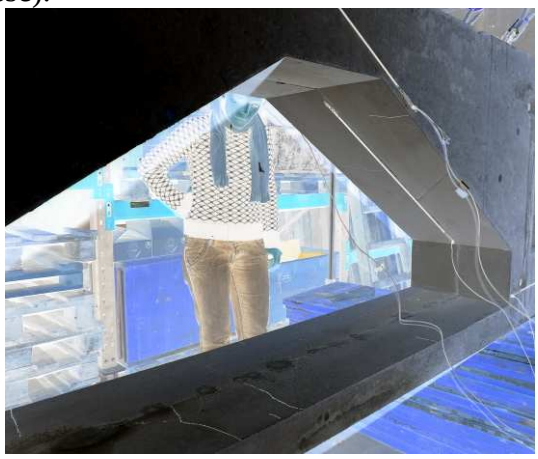
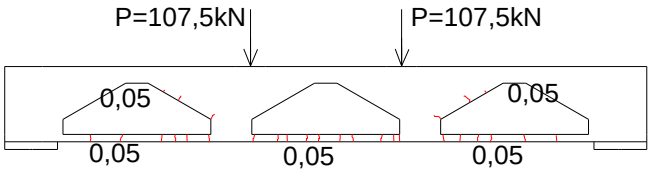


Abbildung 85: Step 82,5 kN, Risse in der linken Seite

- P = 75 + 65/2 = 107,5 kN.
  Die Rissbreite beträgt bis jetzt nur 0,05 mm. Es kommt zu vermehrten Biegerissen, vor allem in der Platte der seitlichen Öffnungen.
  Auch in den beiden Zugdiagonalen sind die ersten Risse erkennbar (Abbildung 85).



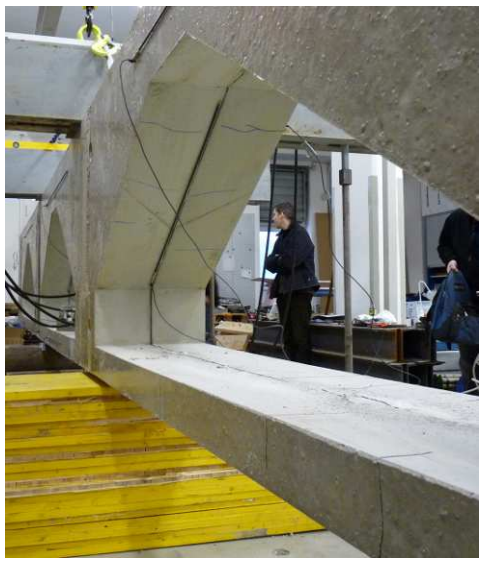


Abbildung 86: Step 107,5 kN, Risse in der Diagonale

- P = 100 + 65/2 = 132,5 kN.
  In diesem Lastschritt treten die ersten Risse an der Unterseite der Stummel auf. In der Abbildung 87 sind die Stummel links und rechts dargestellt, und die Risse in grün markiert.
  Von diesem Zeitpunkt erscheint eine Vielzahl von Rissen in verschiedenen Zonen: Untergurt, Diagonalen, Stummeln. Auch im Obergurt kommt es zu den ersten Biegerissen. Ein Riss geht durch einen Teil der Struktur vom Obergurt bis zu einer Diagonale.

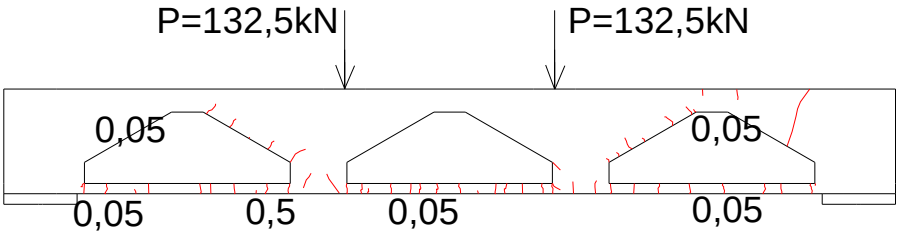


Abbildung 87: Step P = 132,5 kN

Abbildung 88: Fotos der Stummel (links und rechts)

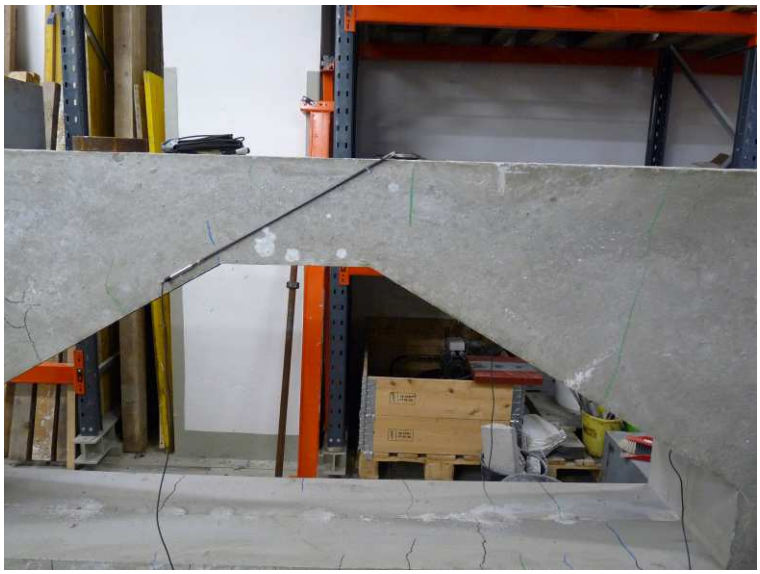


Abbildung 89: Vertikale Risse in grün

- P = 125 + 65/2 = 157,5 kN.
  In Rot wurden die Risse in diesem Lastschritt markiert. Die Risse in der Platte und in den Diagonalen sind etwas mehr geworden. Die Rissbreite beträgt jedoch noch immer 0,05 mm, außer bei den Biegerissen in Feldmitte und in den Stummeln sind die vertikalen Risse bereits 0,8-0,9 mm.

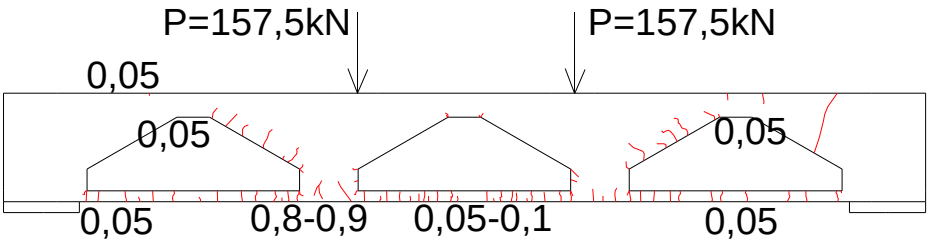


Abbildung 90: Step 157,5 kN

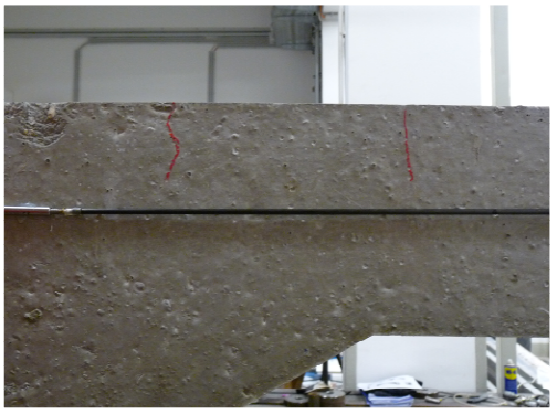


Abbildung 91: Risse im Obergurt und im rechten Stummel (mit der Fuge)

- P = 150 + 65/2 = 182,5 kN.
  Wie man sehen kann, werden die Risse in den Stummeln, immer breiter die Risse selbst sind auf einen nicht vorhandenen Kurzschluss zwischen Zug- und Druckdiagonale zurückzuführen. Damit muss die Zugkraft von Beton aufgenommen werden, deshalb es zu Rissen kommt.

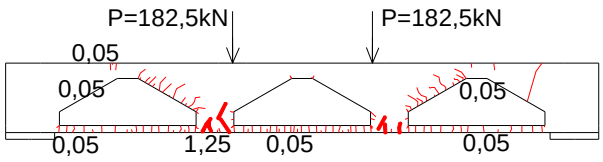


Abbildung 92: Step 182,5 kN

Abbildung 93: Viele Risse im rechten Stummel

- P = 175 + 65/2 = 207,5 kN.
  In den beiden Fotos (Abbildung 94) gibt es einen charakteristischen Riss.
  In den Stummeln fangen diese Risse von der Unterseite der Öffnung (in der Nähe der Verankerung Bügel - Zugdiagonal) an und wachsen schräg nach Oben.
  Einige der Risse haben eine Breite von 2 mm erreicht. Netzrisse in horizontaler Richtung sind 0.35 mm - 0, 50 mm breit.

Abbildung 94: Violette Risse in Stummel und in der Zugdiagonale

- P = 200 + 65/2 = 232,5 kN.
  Im letzten Schritt, wächst der vertikale Riss auf der linken Seite rasch weiter an. Auch treten einige Risse im Obergurt auf der linken Öffnung auf. Die neuen Risse sind in schwarz strichliert am Versuchskörper eingezeichnet (Abbildung 96).

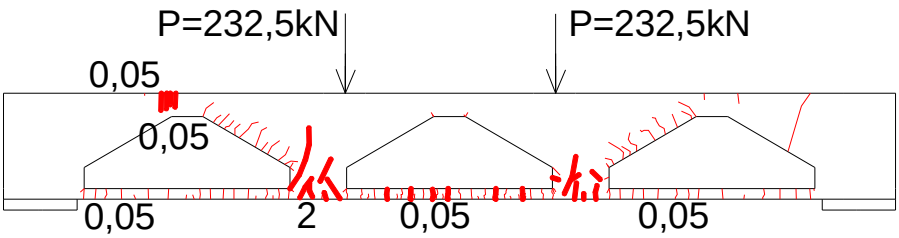


Abbildung 95: Step 232,5 kN

Abbildung 96: Die neuen Risse in schwarz

- P = 210 + 65/2 = 242,5 kN.
  DAS VERSAGEN.
  Der Riss, der das endgültige Versagen erzeugt, ist der vertikale Riss im Stummel. Es kommt zum Aufreißen über den gesamte Träger (Abbildung 101).

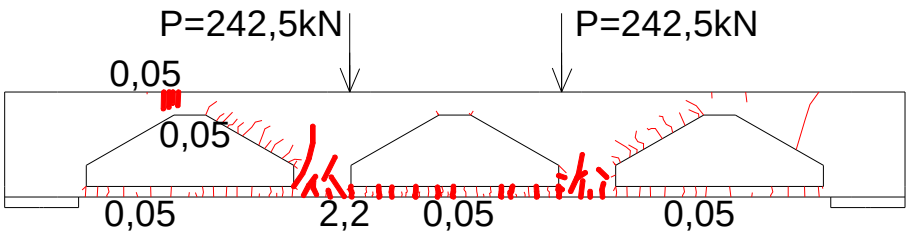


Abbildung 97: Step 242,5 kN

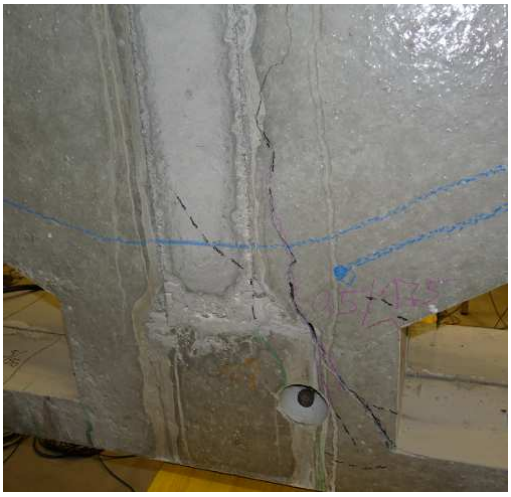


Abbildung 98: Der Riss des Versagen

Nach dem Freilegen der Bewehrung ist das Versagen sehr gut erkennbar. Der Versagensriss ging unmittelbar hinter den Zug Bügeln auf. Ein Kurzschluss von Zug- und Druckdiagonale mittels Bewehrung im Aufbeton konnte nicht erreicht werden. Durch den schlechten Verbund zwischen Ortbeton und Fertigteil kann die Bewehrung im Ortbeton nicht aktiviert werden.

Abbildung 99: Verankerung den Diagonale

Abbildung 100: Die Verformung der Bügel

Abbildung 101: Biegerisse im Obergurt

2.5.- VERSUCHSKÖRPER E

2.5.1.- BESCHREIBUNG UND ATENA ERGEBNISSE

Im fünften Versuch ist man vom VK B ausgegangen, d.h. die Zugdiagonalen reichen bis zur Mitte der Stummel.
Bewehrungsmerkmale:

- Die langen Stäbe, die im Untergurt angeordnet sind (3 Stäbe pro Fertigteilhalbrippe), haben einen Durchmesser von 26 mm (6DN26), in Gegensatz zu VK F, wo 6DN20 eingebaut werden.
- Die Diagonalbügel sind keine geschlossenen Bügeln, sondern Nadeln, welche im Obergurt verankert werden, im Anschlussknoten Diagonalen-Obergurt werden zusätzlich noch vertikale Bügel angeordnet.

In Abbildung 102 ist die Bewehrung des VK E abgebildet.

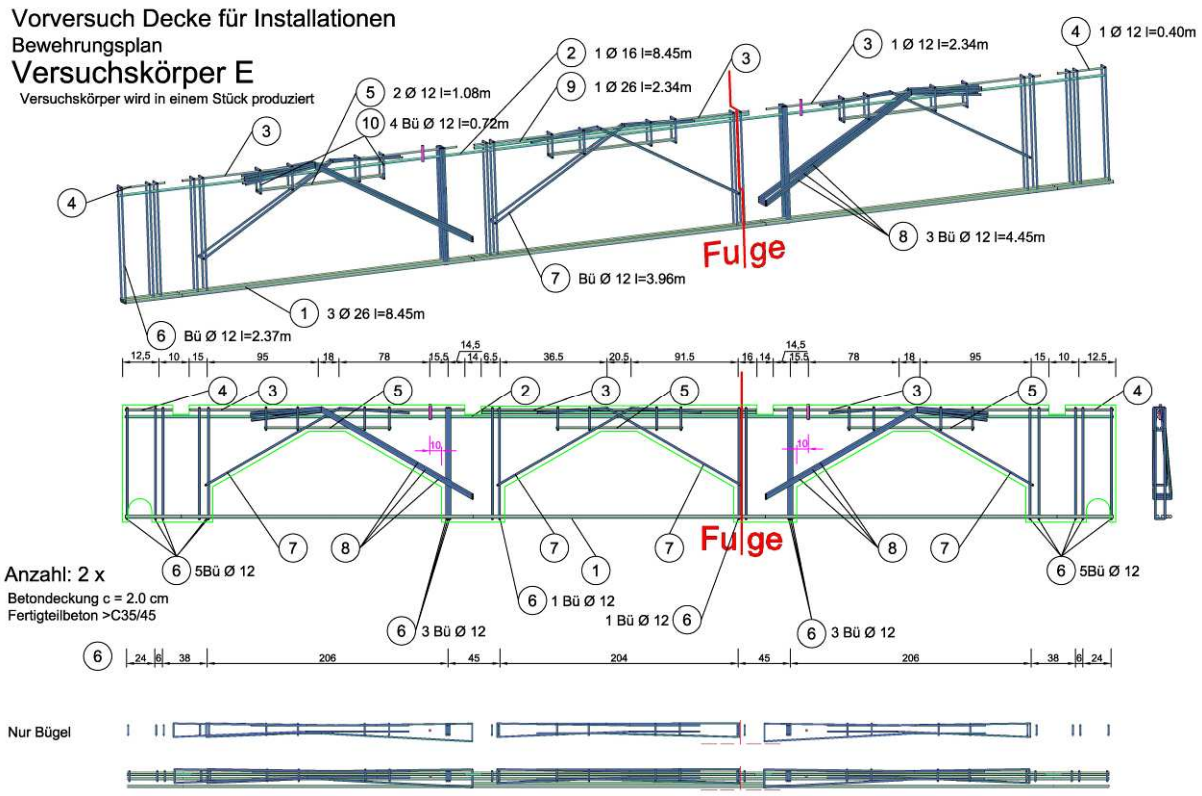


Abbildung 102: Bewehrung VK E

Es wurde mittels Atena unterschiedliche Varianten untersucht:

Durch die Verankerung der Bügel, soll es zu einem besseren Tragerhalten kommen. Die Traglast soll gegenüber der Versuchskörper A, B, C und D erhöht werden.
Um ein Versagen durch einen Biegemechanismus zu verhindern, werden 6DN26 als Längsbewehrung angeordnet.

Um die Tragfähigkeit der Struktur zu optimieren, hat man Varianten vom ersten Versuchskörper realisiert.
Die vier Variante sind die folgende (die Änderung in der Bewehrung ist in orange dargestellt) abgebildet:

- **VARIANTE E 00**, Ausgangssituation.

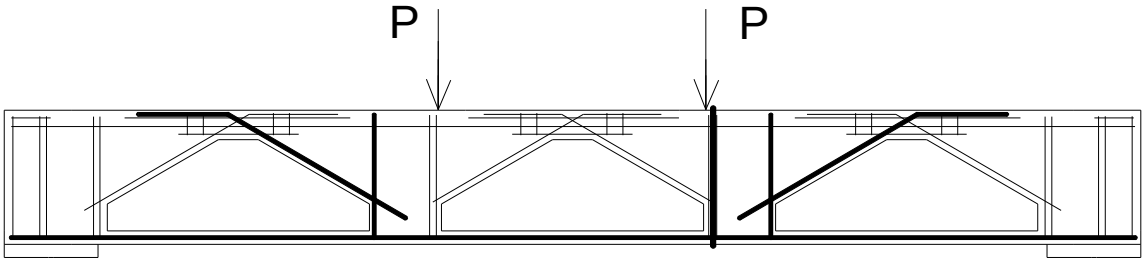


Abbildung 103: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 00

- **VARIANTE E 01**, in den drei Obergurtanschlüsse hat man 2DN26 (L = 2,34 m) angeordnet.

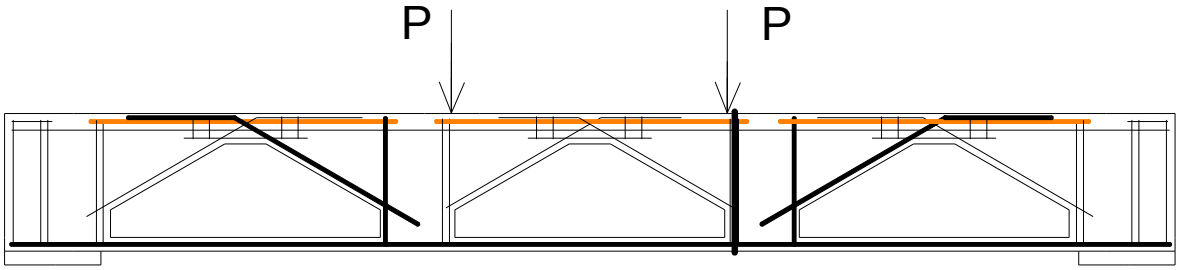


Abbildung 104: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 01

- **VARIANTE E 02** ist wie Variante 01, aber man hat die vertikalen Bügel des seitlichen Obertgurtanschlusses weggenommen.

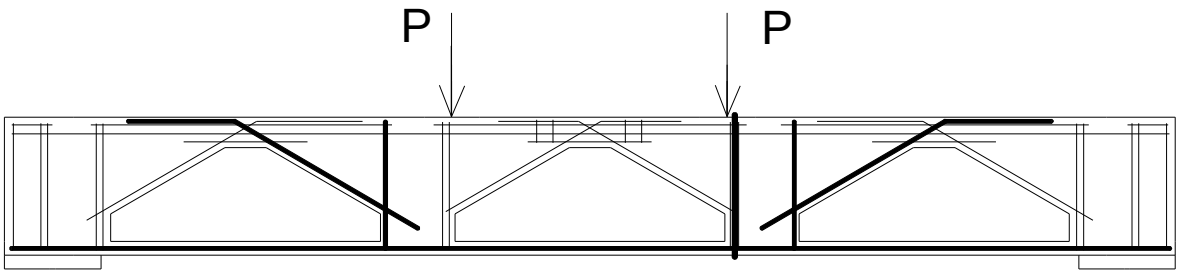


Abbildung 105: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 02

- **VARIANTE E 03**. Im Knotendetail Diagonalen-Obergurt werden zur Verstärkung die vertikalen Bügel und auch ein Stab in zentralen Obergurtanschluss angeordnet. Die neue Längsbewehrung sind zwei Bewehrungen DN16 und haben eine Länge von 2,40 m. Die Bügel sollen einer Rissbildung der Zugdiagonale im oberen Bereich entgegenwirken.

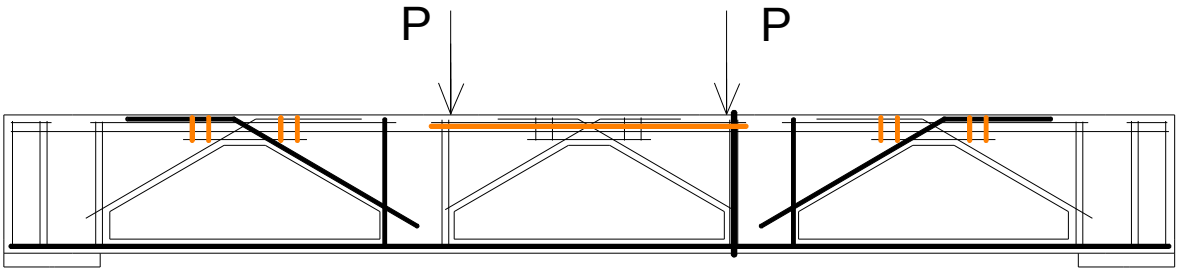


Abbildung 106: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 03

In den folgenden Abbildungen zeigt man die Struktur zu verschiedenen Zeitpunkten des Belastungsvorgangs. Angezeigt werden die Verzerrungen, das Rissbild und einmal die Spannungen in der Bewehrung.
Die Traglastgeschichte wird in vier Zeitpunkte unterteilt:

- Der Belastungsschritt Nummer 22 (P = 220 kN); es sind die Spannungen niedrig und es gibt wenig Risse.
- Der folgende Schritt stellt einen neuen Mechanismus dar. Es gibt zwei Zonen, wo die Dehnungen höher sind: unmittelbar der Verlängerung der Zugdiagonalen in Obergurt und in beiden Stummeln (P = 280 kN).
- Der Schritt, wo die Bewehrung der Zugdiagonalen beginnt zu fließen (P = 570 kN). Die Feldmitte in diesem VK E fließt nicht, da das Versagen kein Biegeversagen ist.
- Und der Schritt des Versagens (P = 580 kN).

Man zeigt in der Folge einige Bilder von Atena Berechnung.
Es werden die Lastschritte vom VK E 01 und VK E 02 gezeigt. Die Varianten 00 und 03 sind wie VK E 01 aber die Variante E 02 ist verschieden, weil es die einzige Variante ist bei der keine vertikalen Bügel im seitlichen Anschluss vorhanden ist. Außerdem, kam es bei der Variante 02 bei einer Kraft von 450 kN zum Versagen, bevor die Bewehrung der Zugdiagonalen fließt.

2.5.1.1.- VARIANTE VK E 01

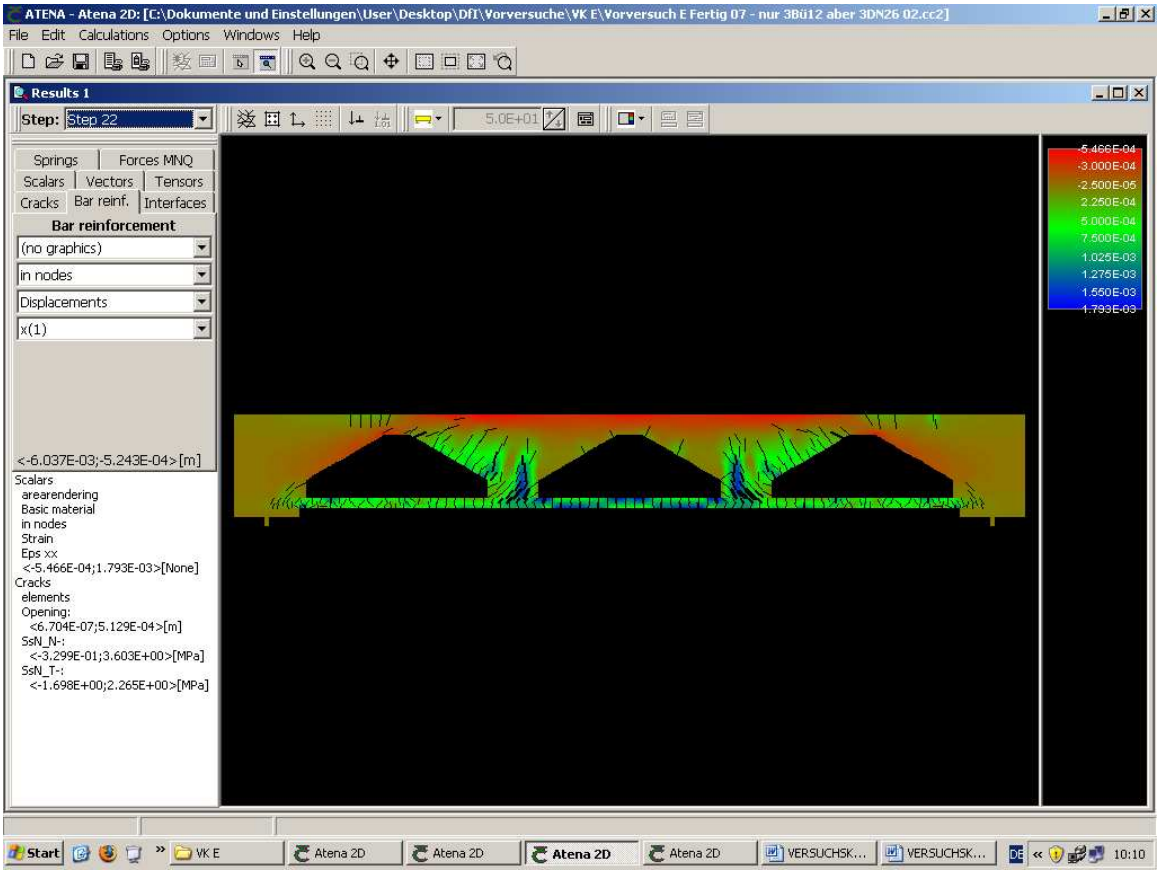


Abbildung 107: Step 22 (VK E 01)

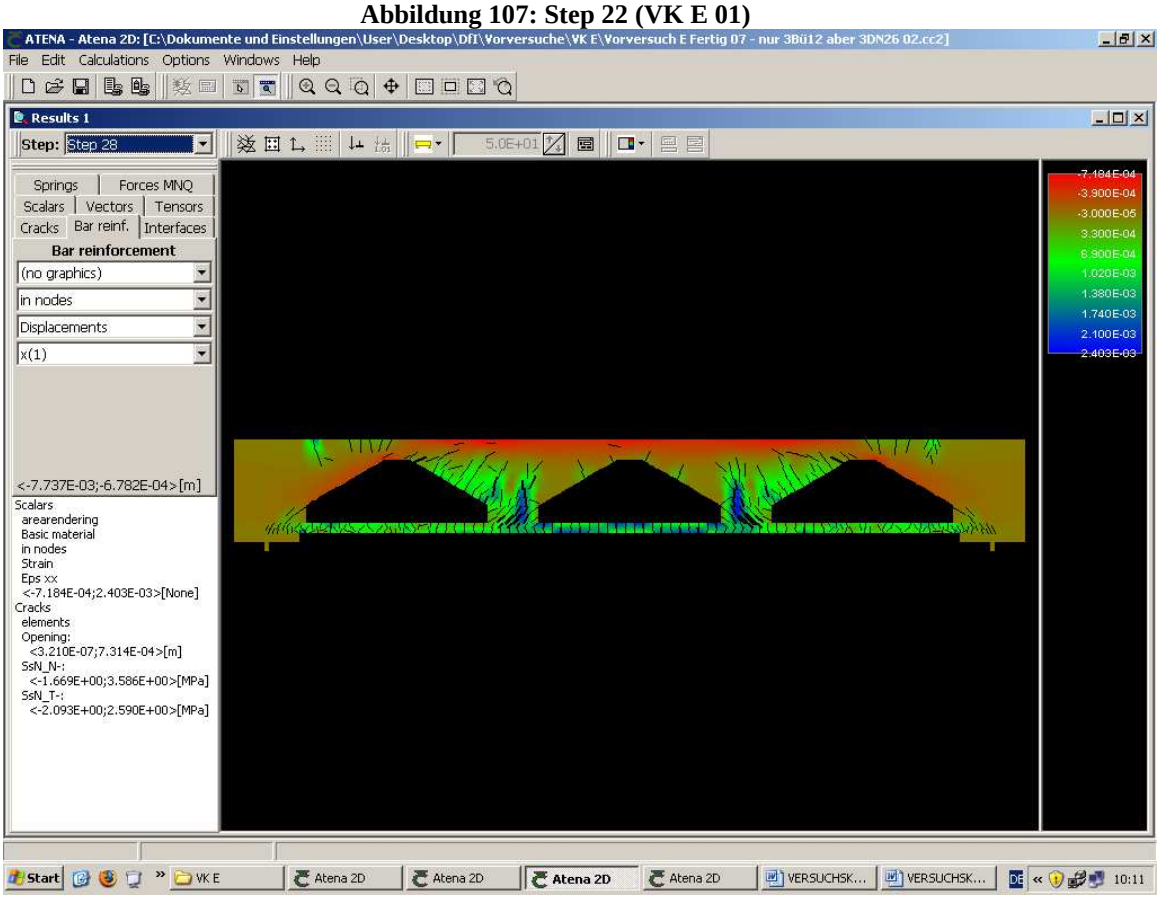


Abbildung 108: Step 28, Die Verlängerung der Diagonalen ziehen an Obergurt (VK E 01)

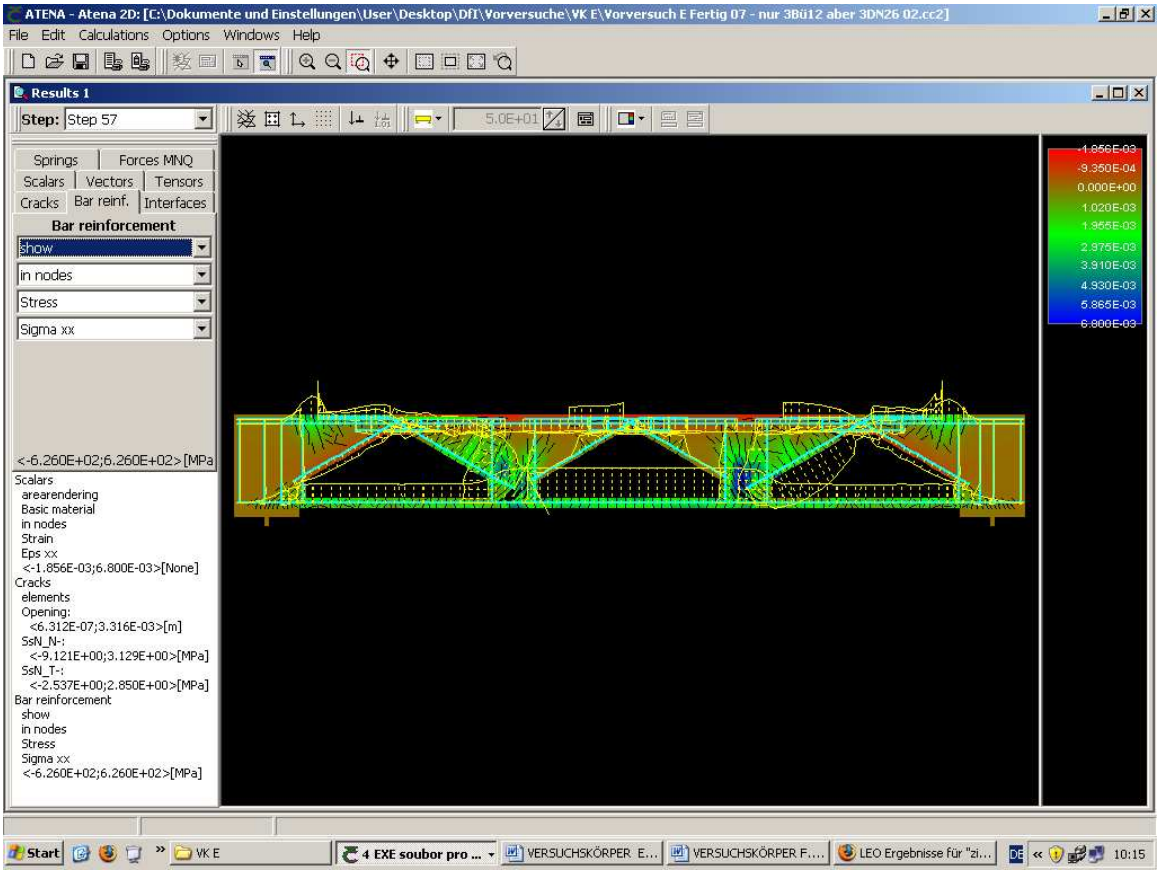


Abbildung 109: Step 57, Die Zugdiagonalen beginnen zu fließen (VK E 01)

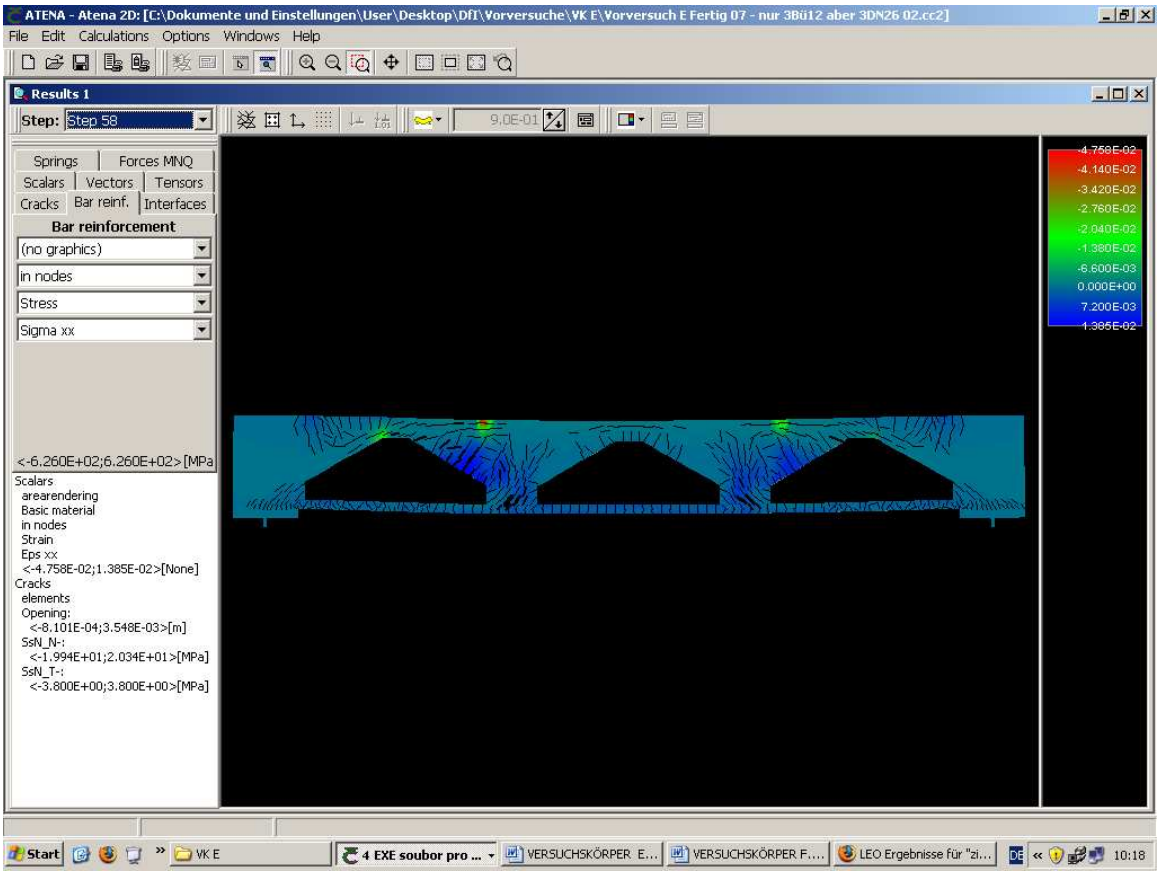


Abbildung 110: Step 58, das Versagen (VK E 01)

2.5.1.2.- VARIANTE VK E 02

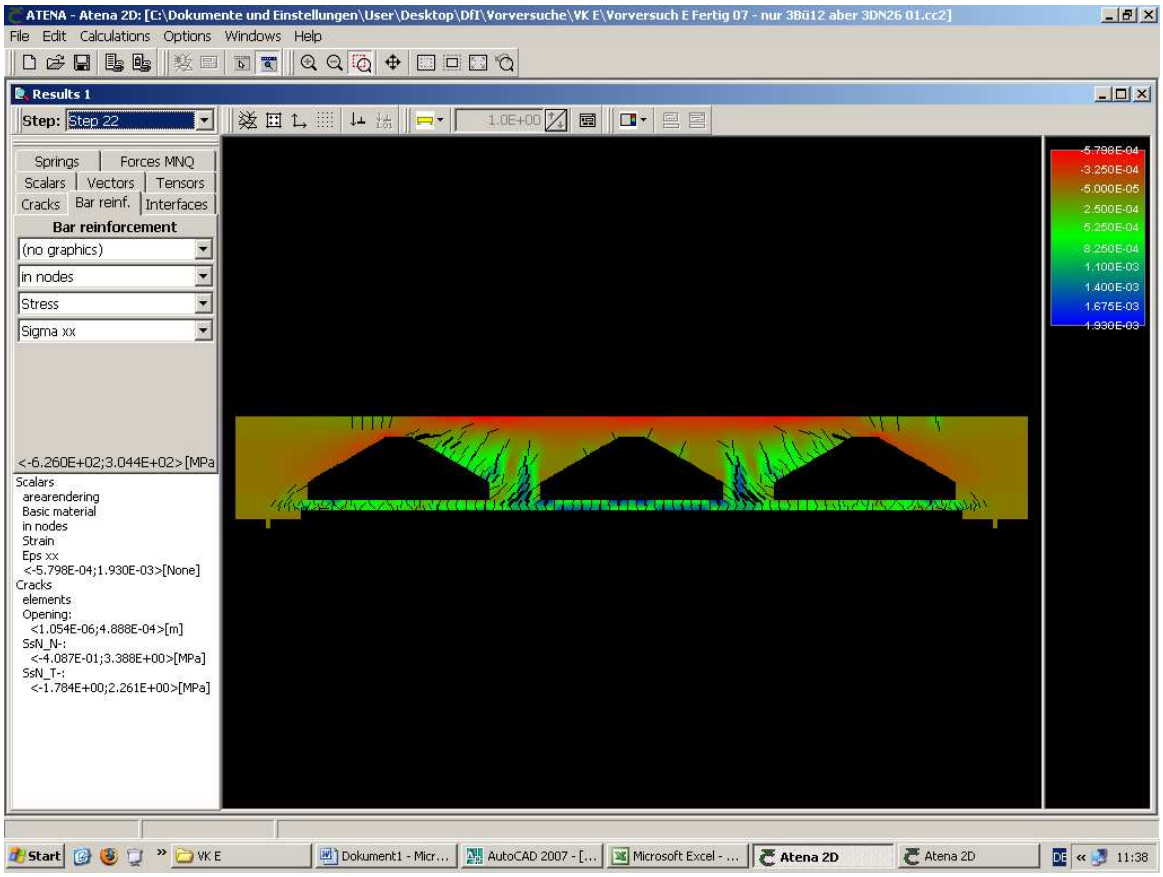


Abbildung 111: Step 22, normale Verteilung der Risse und der Spannungen

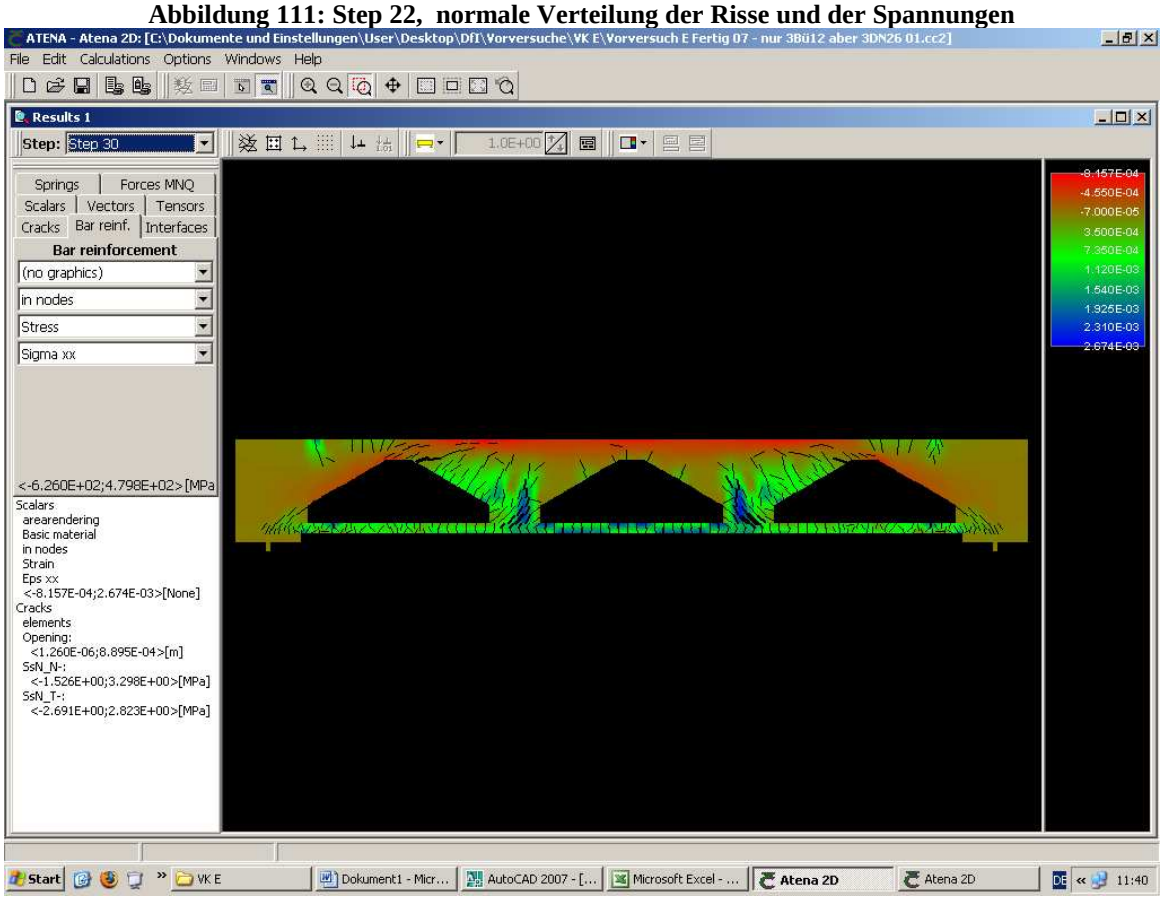


Abbildung 112: Step 30 (300 kN), hohe Dehnungen im Obergurt

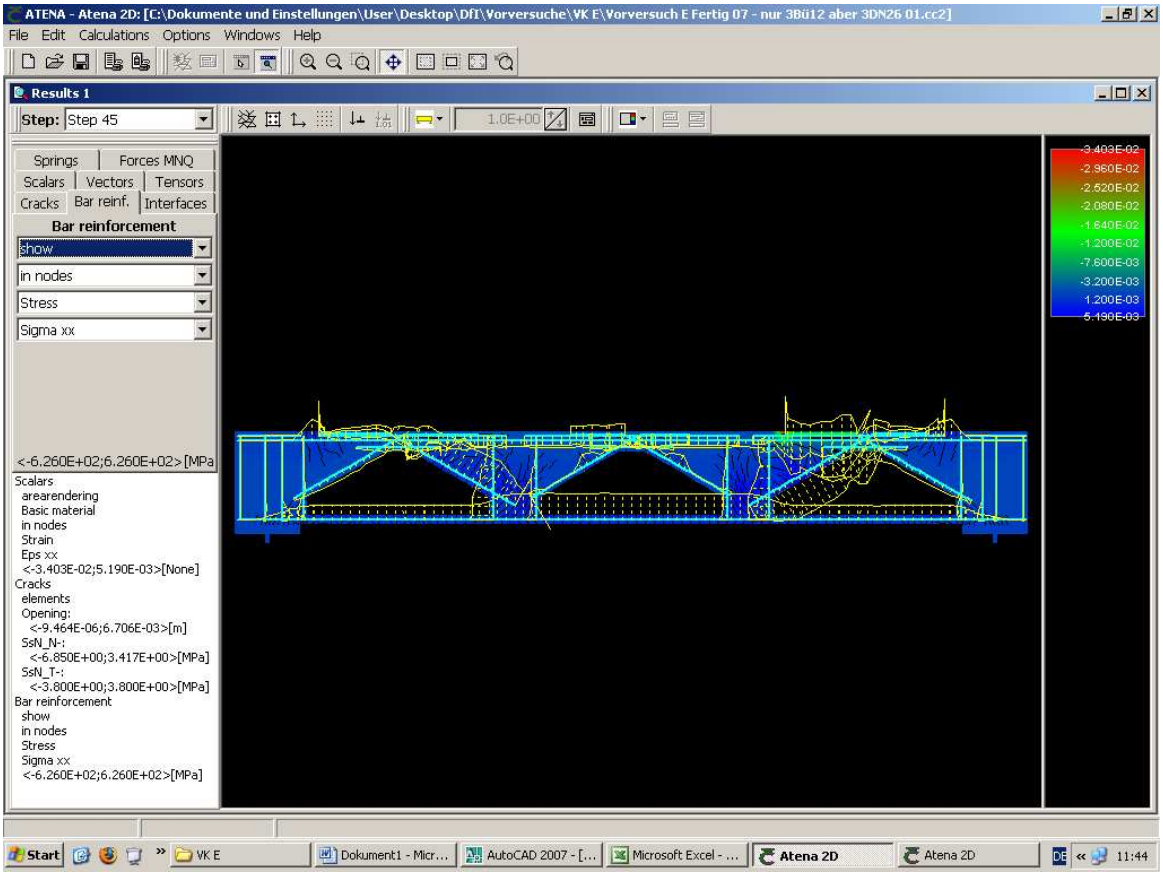


Abbildung 113: Fließen der Zugdiagonalen, Step 45, vor dem Versagen

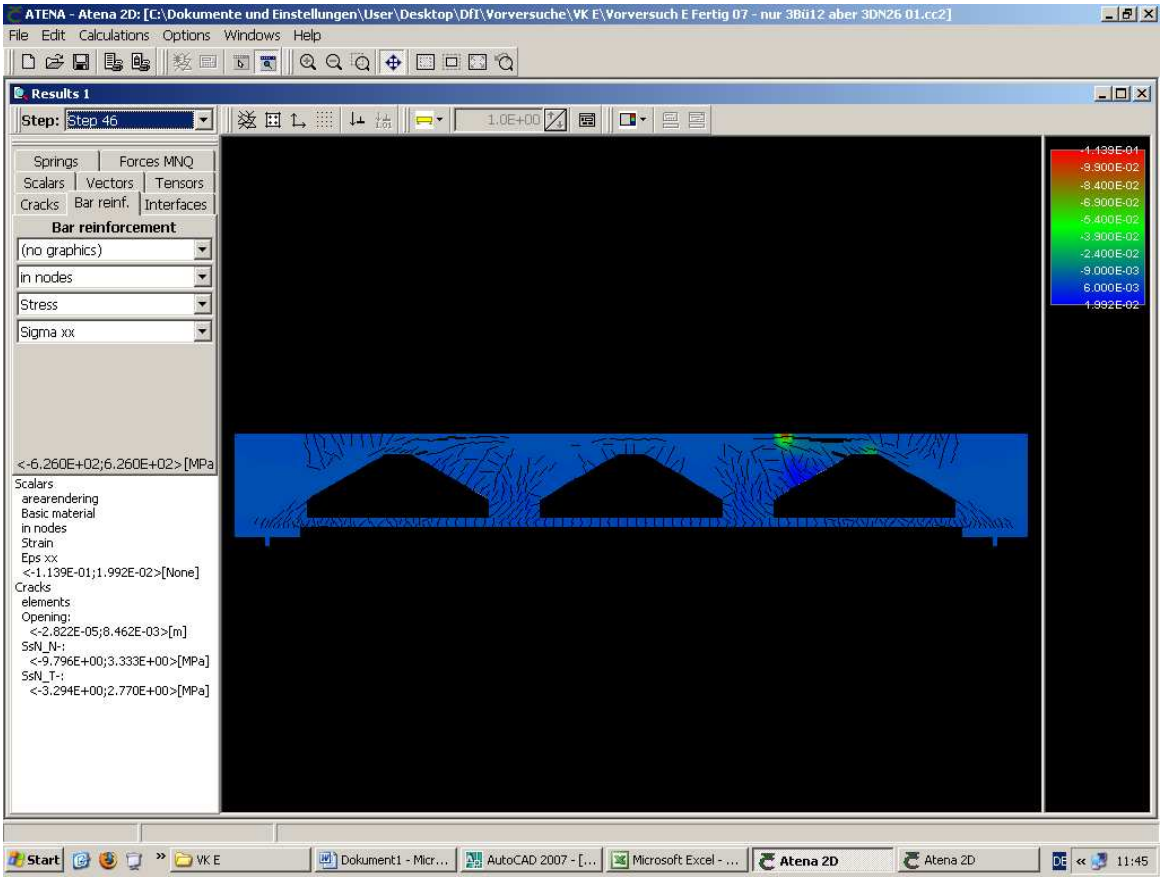


Abbildung 114: Das Versagen (P= 460 kN)

Nachdem die Bilder aus der Simulation mit Atena gezeigt wurden, kann man die folgenden Schlussfolgerungen machen:

- Man kann die verheerenden Auswirkungen prüfen, dass der Verlust der vertikale Bügel in den seitlichen Anschlüssen produziert. Da die Variante VK E 02 nur ca. 460 kN bei dem Versagen erreicht hat, aber die anderen Varianten haben bis zu etwa 560 kN Belastung aufnehmen kommen. Dies ist die wichtigste Veränderung, die mehr Auswirkungen auf die Struktur hat.

- Das Einlegen von Druckstäben im Obergurt (VK E 01) hat keine Auswirkung auf die Traglast. Und die zusätzliche Bewehrung von VK E 03 reduziert die Durchbiegung um einige Millimeter im Bezug auf die anderen Varianten (VK E 00 und VK E 01).

Durch die folgende Graphik kann man sehen, dass die vier Linien den gleichen Weg bis den Step 40 (400 kN) haben, wo die Variante ohne vertikale Bügel nicht mehr Belastung ertragen kann und die Durchbiegung steigt stark an.
Die anderen Vorversuche (Variante 00, 01 und 03) haben das Versagen in Step 56, und die Durchbiegung von 35,8 mm, 36,2 mm und 35,5 mm.

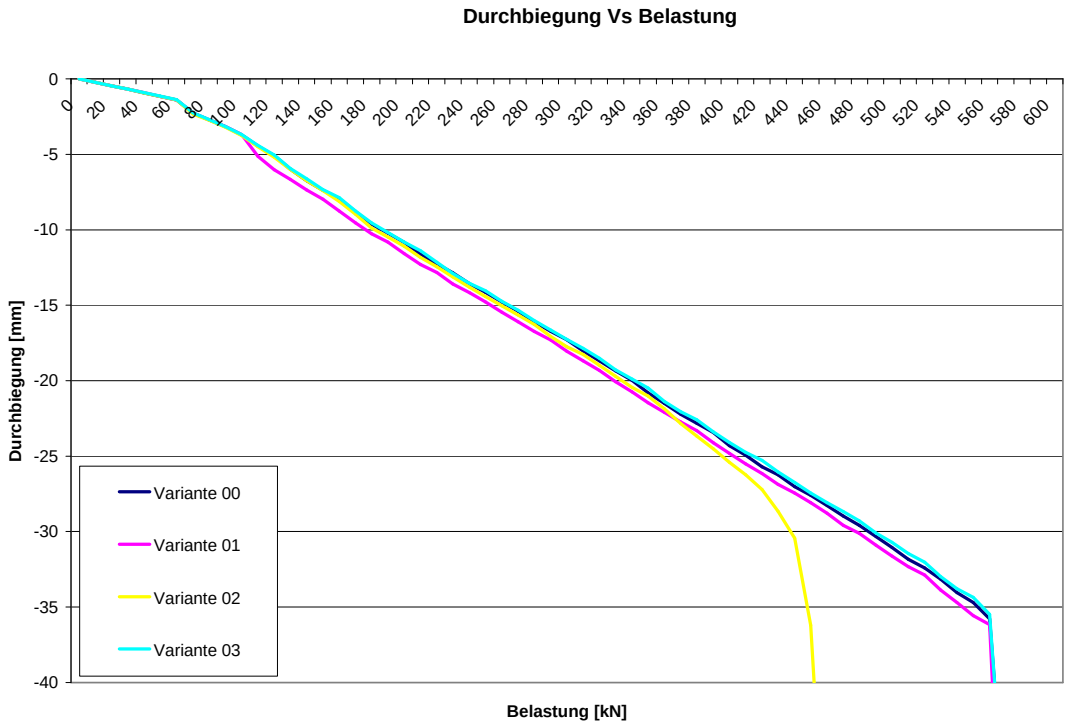


Abbildung 115: Graphik der Durchbiegungen vom VK E

Wie man in der Grafik sehen kann, hat man nur zwei Neigungen:

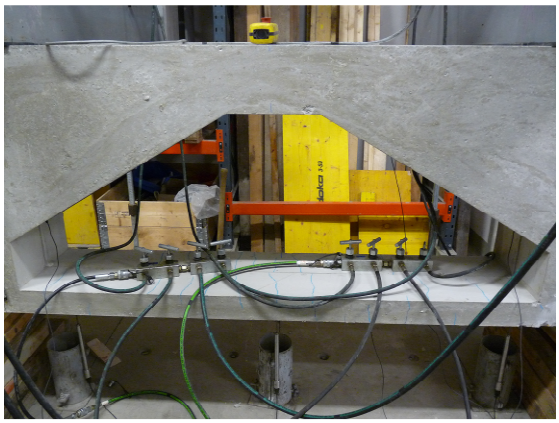
- Die Erste entspricht dem Zustand I, bis zur ersten Laststufe (bis ca. 65 kN).
- die Zweite entspricht dem Zustand II mit einer konstanten Neigung bei allen vier Varianten.

2.5.2.- VERSUCHSKÖRPER E IM LABOR

Am 15. Juni 2009 wurde der VK E im Labor getestet.

Der Versuch wurde in Laststufen durchfahren. Die Stufen betrugen je 25 kN bis 200 kN und nach 200 kN, je 20 kN. Kurz vor dem versagen wurde in 10 kN Laststufen geprüft.

Nachstehend stellt man einige Fotos dar, die die Risse, die in der Struktur bei jedem Lastschritt auftreten, mit einer verschieden Farbe markieren.



Zu Beginn kommt es zu Rissen (wie die anderen Versuche) in der Platte. Es treten vereinzelte kleine auf.

Abbildung 116: Risse in der Platte der Feldmitte

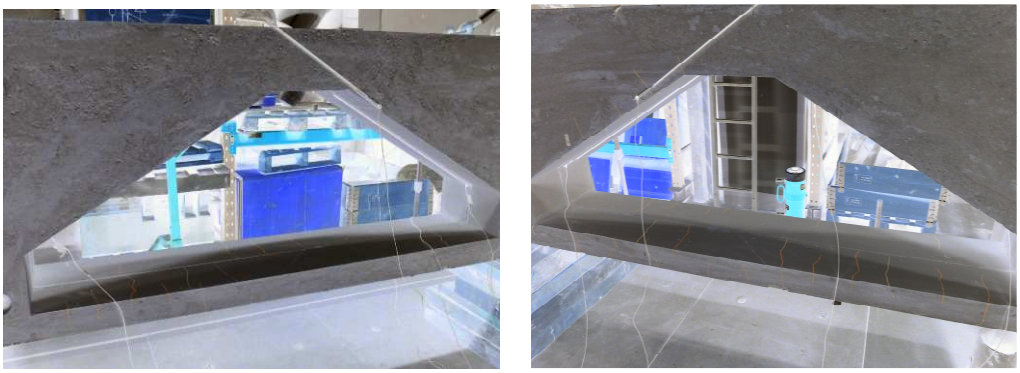


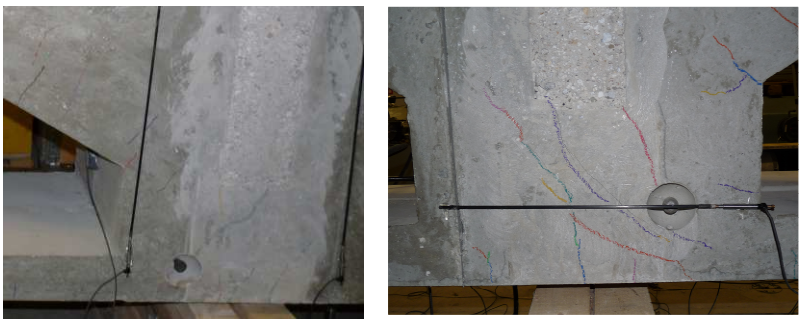
Abbildung 117: Risse in den seitlichen Platten

Abbildung 118: Erste Risse in den Stummel

Die Länge und die Zahl der Risse beginnen auf den Diagonalen und auf den Stummel zu wachsen. Es treten kaum neue Risse in der Platte auf Diagonale – Obergurt auf.
Später treten einige horizontale und vertikale Risse in den Anschlüssen. Diese Risse sind charakteristische zu den vorherigen Tests: VK A, VK B und VK C.

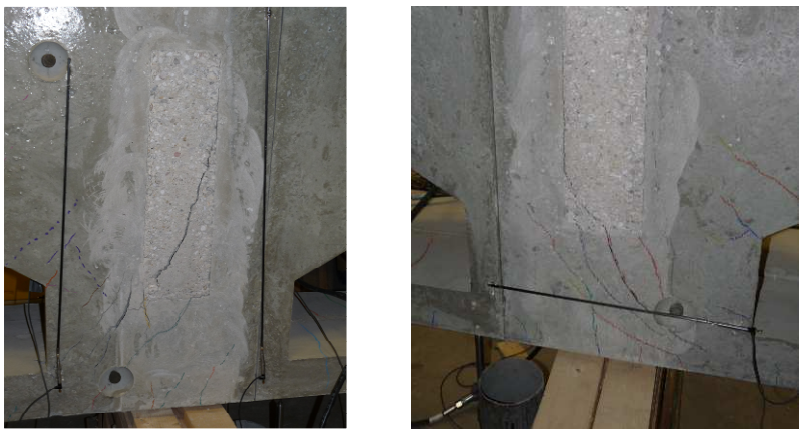
Abbildung 119: Verteilung der Risse in einer Diagonale und im Stummel

Abbildung 120: Horizontale und vertikale Risse in den Anschlüssen



Die nächste Sequenz der Bilder zeigt die Risse in den Stummeln und ihre Fortschritte, da sie immer größere Breite erreichen. Diese Fotos sind vom linken Stummel, wo die Längsfuge angeordnet ist.

Abbildung 121: Erste Risse im linken Stummel



Wie man sehen kann, haben die Risse auch den Ortbeton, der die beiden Fertigteile verbindet, gebrochen.
Diese Risse sind praktisch die einzige, die die Rissbreite in der Struktur erhöht.

Abbildung 122: Breitere Risse im linken Stummel

Die folgenden Fotos sind alle vom Versagen.

Abbildung 123: Horizontale und vertikale Risse in den Anschlüsse

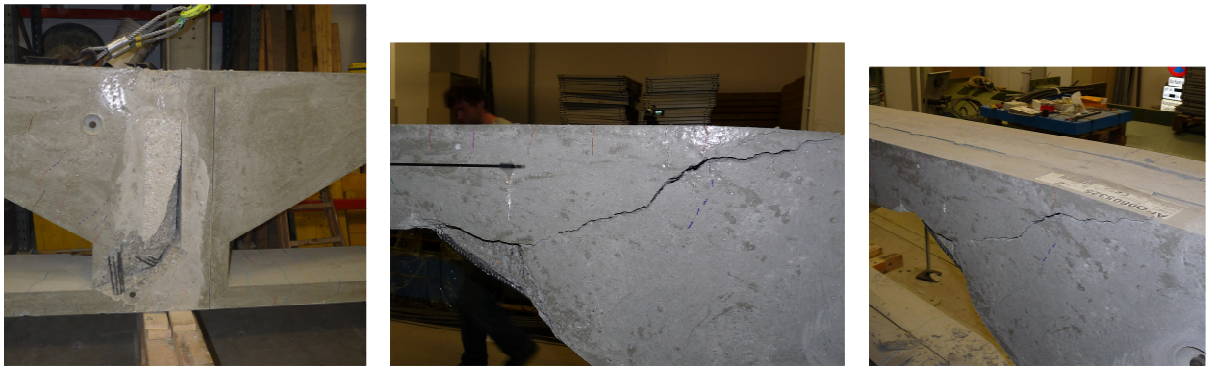


Abbildung 124: Risse des Versagens im linken Stummel und im Obergurtanschluss

Zuerst kam es zum Bruck im Stummelbereich und anschließend zum Versagen im Obergurtanschluss. Der vertikale Riss im Stummel lässt auf ein Zugversagen bzw. eine schlechte Übertragung der Zug- und Druckkräfte aus den Diagonalen. Da die Bügel Bewehrung nur bis in die Mitte des Stummels reicht kommt es zu einer punktuellen Übertragung der Zug- und Druckkräfte. Jedoch ist eine Verlängerung der Zugdiagonale im Stummel aus Bauausführender Sicht nicht möglich.
Da bereits die Zugbewehrung im Fließen war ist eine Umplanung nicht notwendig.
Die gewünschte Trägfähigkeit wurde erreicht.

Abbildung 125: Die ganze Struktur mit der Durchbiegung

Die realen Ergebnisse sind in diese Graphik dargestellt.
Die maximale Kraft ist 433,5 kN und die Durchbiegung in Feldmitte für diesen Wert ist 35,66 mm aber wie man hier auch sehen kann, ist die maximale Durchbiegung 45,8 mm.

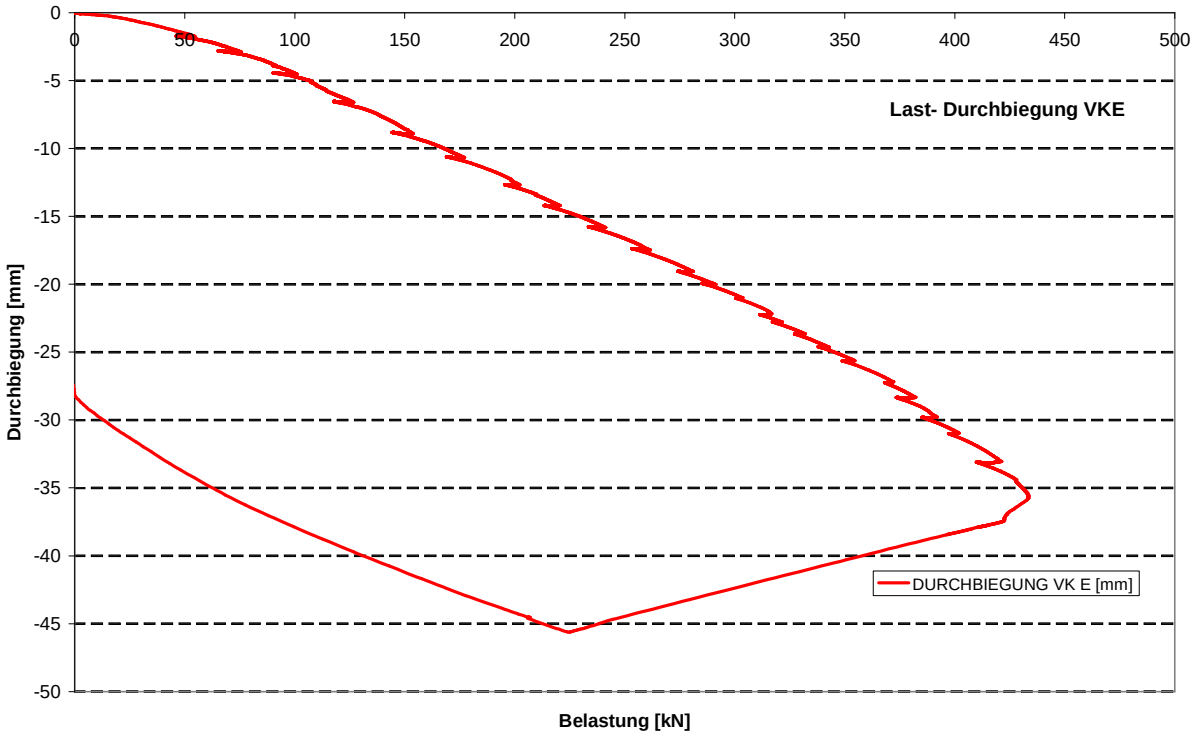


Abbildung 126: Graphik der Durchbiegung Vs Belastung im VK E

2.6.- VERSUCHSKÖRPER F

2.6.1.- BESCHREIBUNG

Im sechsten Versuch ist man vom VK E ausgegangen.
Die einzige Änderung, die durchgeführt wird, ist:

- Die Längsbewehrung im Untergurt hat einen Durchmesser von 20 mm (6DN20), in Gegensatz zu VK E, wo 6DN26 eingebaut wurden.

In Abbildung 102 ist die Bewehrung des VK F abgebildet.

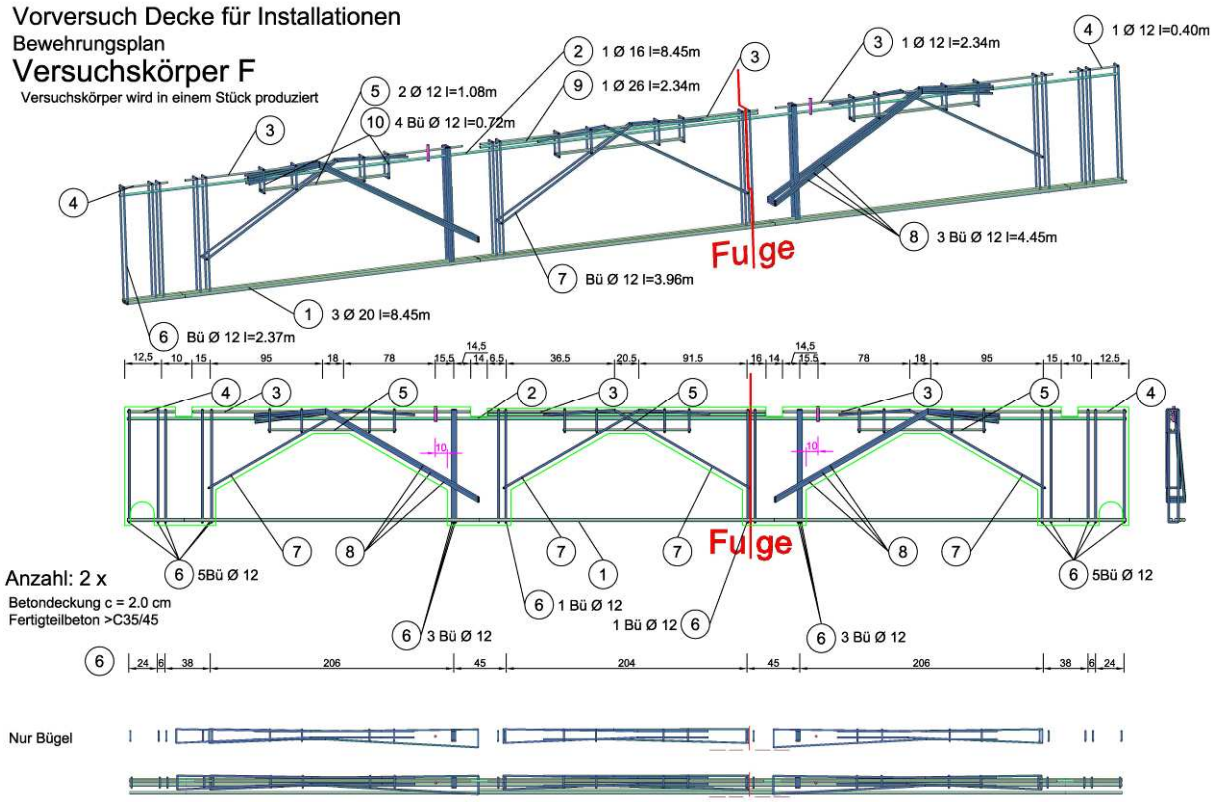


Abbildung 127: Bewehrung VK F

Mit der Reduzierung der Bewehrungsfläche im Untergurt, will man das Biegetragverhalten untersuchen.

Es werden in der Folge einige Bilder von Atena Berechnungen gezeigt, wobei unterschiedliche Varianten gezeigt werden.
Die vier Variante sind die folgende:

- **VARIANTE F 00**, Ausgangssituation.

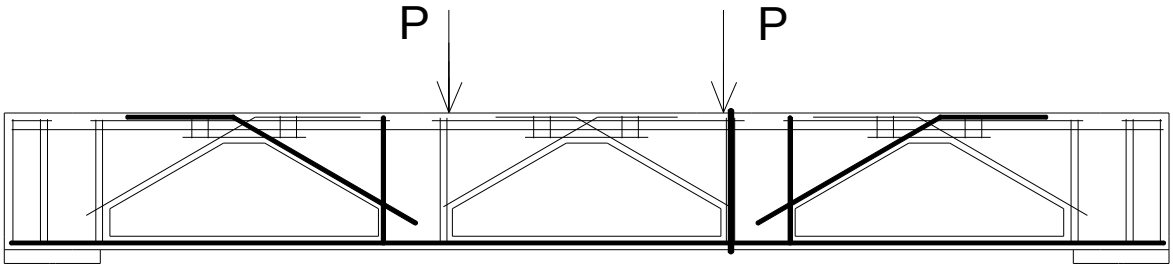


Abbildung 128: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 00

- **VARIANTE F 01**. Im zentralen Obergurtanschluss hat man 2DN26 (L = 2,34 m) zusätzlich angeordnet. Die anderen Bewehrungen sind identisch wie Variante F 00.

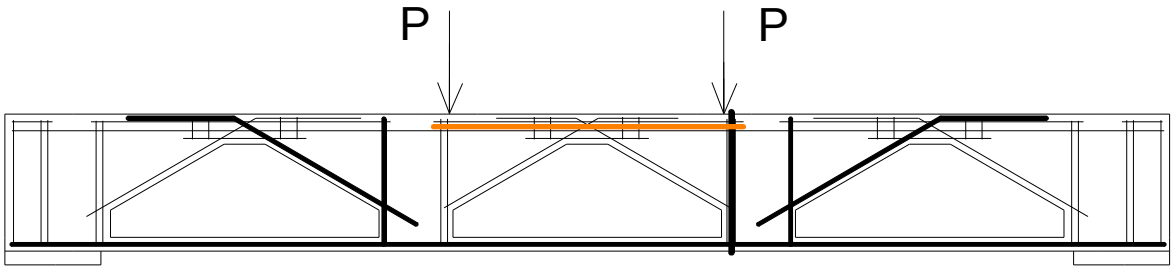


Abbildung 129: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 01

- **VARIANTE F 02**. Zusätzlich zur Variante E 01 werden noch zwei Stäbe (2DN20) mit 1,57 m länge im zentralen Anschluss, wie die Abbildung 130 dargestellt, eingebaut.

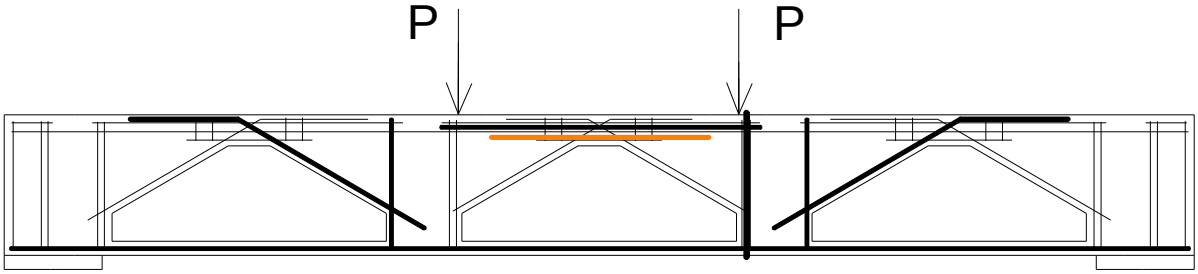


Abbildung 130: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 02

- **VARIANTE F 03**. Man hat zwei Stäbe im Bereich der Stummel angeordnet. Die Stäbe Gruppe besteht aus 2DN16 und L = 0,93 m länge.
  .

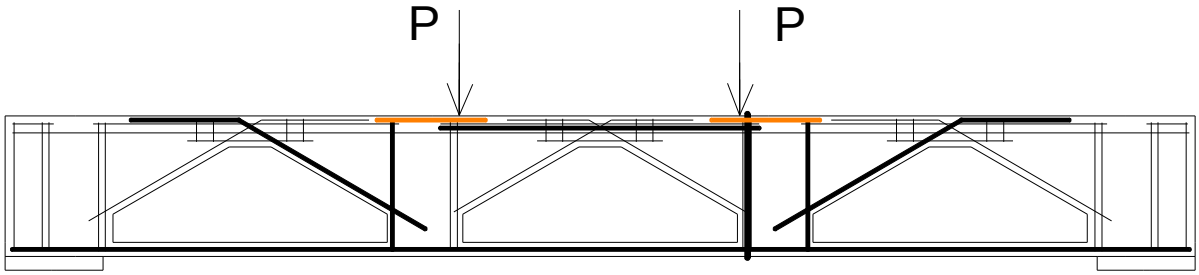


Abbildung 131: Skizze der Bewehrungsführung in Atena VK F 03

In den folgenden Bildern zeigt man die Strukturen zu verschiedenen Zeitpunkten des Belastungsvorgangs. Die Verzerrungen, das Rissbild und einmal die Spannungen der Bewehrung sind abgebildet.
Die Traglastgeschichte wird in vier Zeitpunkten unterteilt:

- Der Belastungsschritt Nummer 15 (P = 150 kN), sind die Spannungen relativ niedrig und es gibt wenig Risse.
- Der folgende Schritt hat mehr Last (P = 380 kN) und die Stäbe von der Mitte des Untergurtes sind im Fließen.
- Der Schritt vor dem Versagen (P = 390 kN).
- Und der Schritt nach dem Versagen (P = 410 kN). Das Biegeversagen wird produziert wegen des Fließens der unteren Stäbe und das Versagen endet, wenn der zentrale Anschluss unter Druckkraft bricht.

Die vier Varianten sind praktisch gleich und dafür stellt man nur die mehr repräsentative Variante 03 dar.

2.6.1.1.- VARIANTE VK F 03

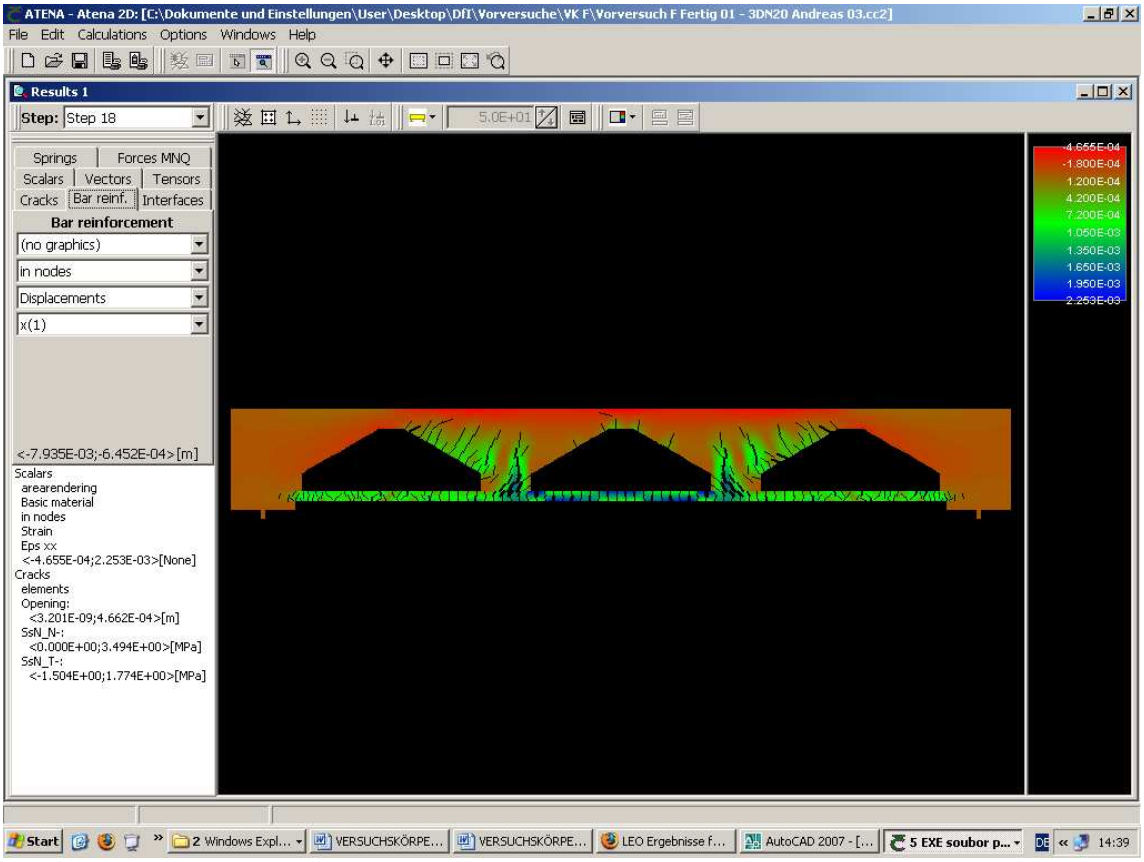


Abbildung 132: Step 15 (VK F 03)

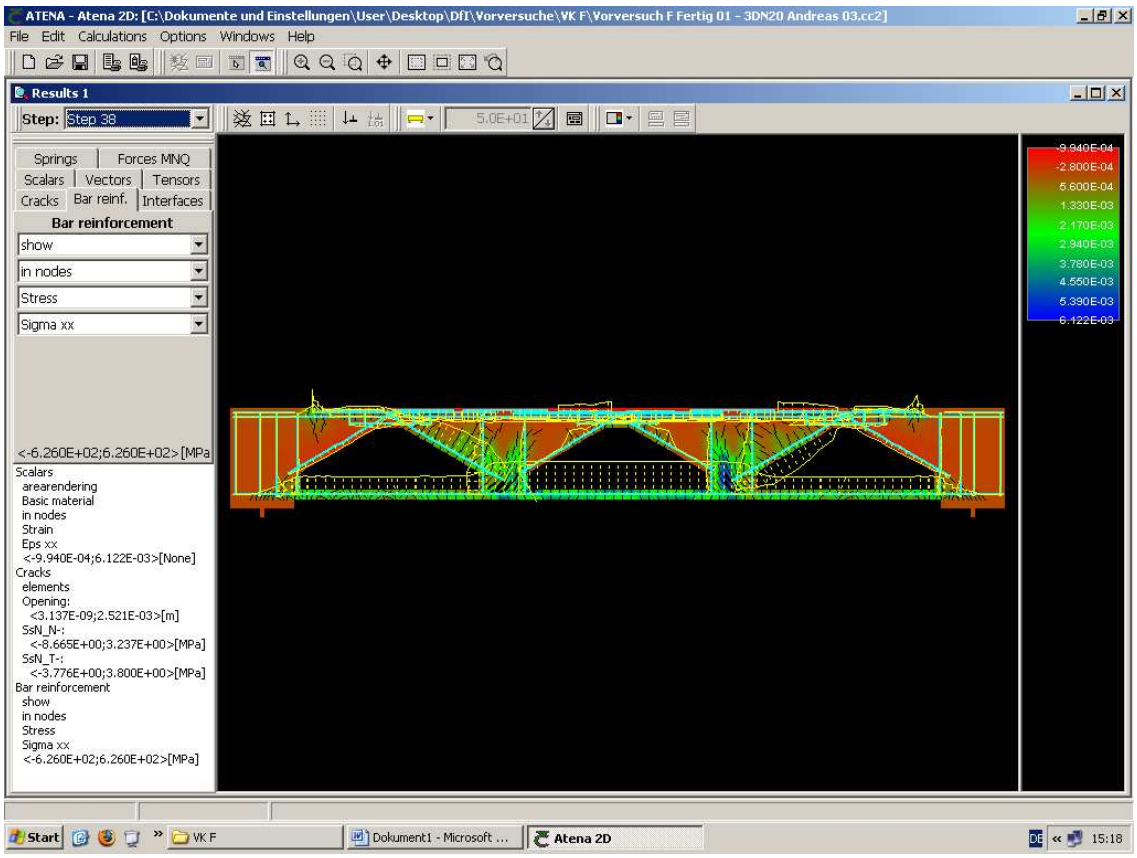


Abbildung 133: Step 38 (VK F 03), Fließen der Bewehrung in der Mitte

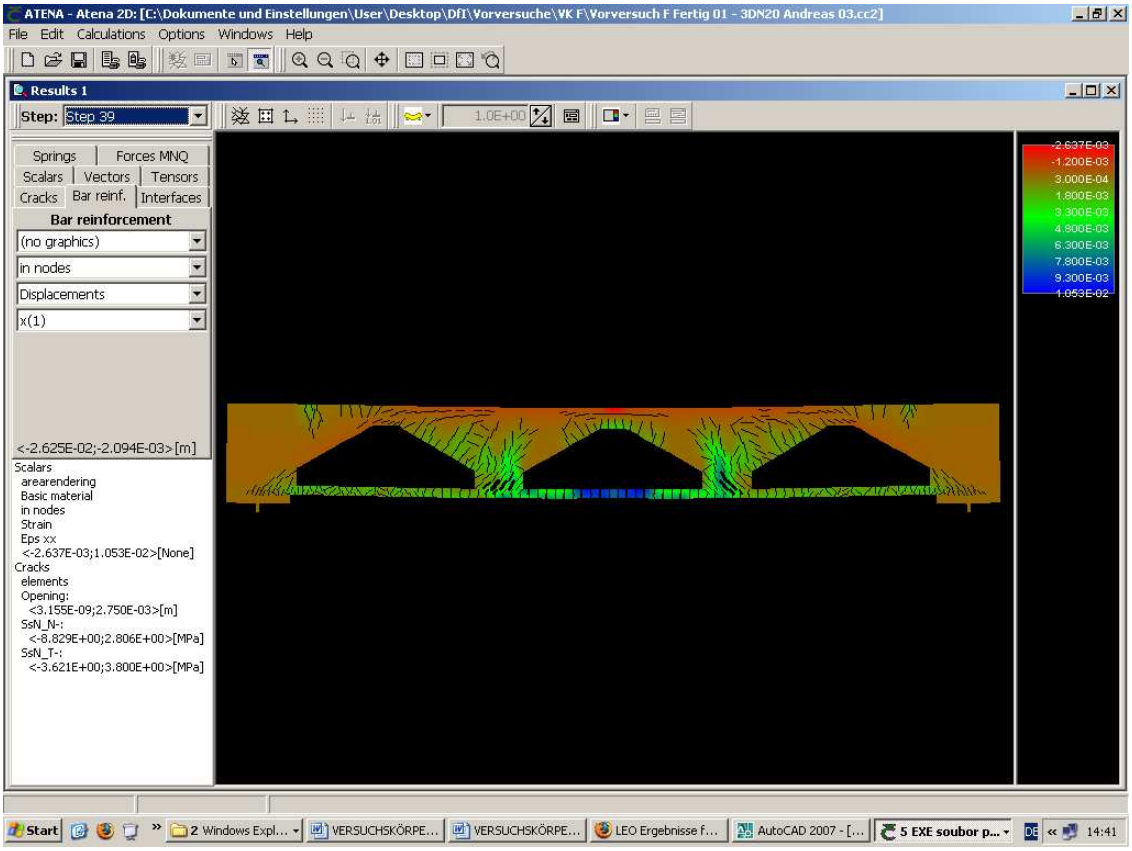


Abbildung 134: Step 39, vor dem Versagen (VK F 03)

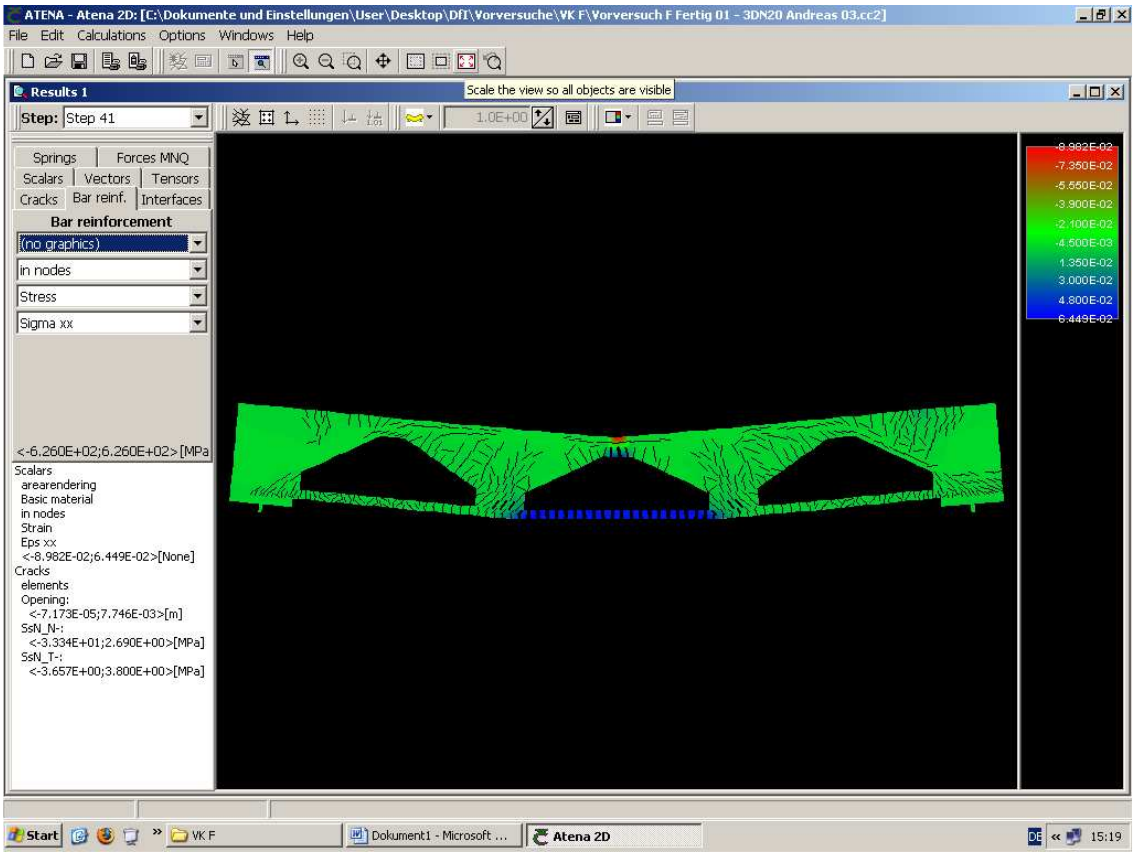


Abbildung 135: Step 41, nach dem Versagen (VK F 03)

Nachdem die Bilder aus der Simulation mit Atena gezeigt hat, kann man die folgenden Schlussfolgerungen machen:

- Der Einfluss der Verringerung der Fläche der Stäbe im unteren Bereich ist sehr hoch, so dass VK F auf Biegung versagt.
- Eine weitere Beobachtung ist, dass die gewählten Änderungen in der Struktur nichts an der Art des Versagens ändert.
- Der einzelnen Varianten sind sehr gering.

Durch die folgende Tabelle kann man sehen, dass die vier Linien sehr ähnlich sind.
Die Vorversuche 00 und 01 haben das Versagen einen Laststufe vor dem Versagen von den Varianten 03 und 04, aber die höhere Durchbiegung in der Mitte der Struktur wird in Variante 01 und 03 erreicht (jeweils, 37,8 mm und 39,7 mm).

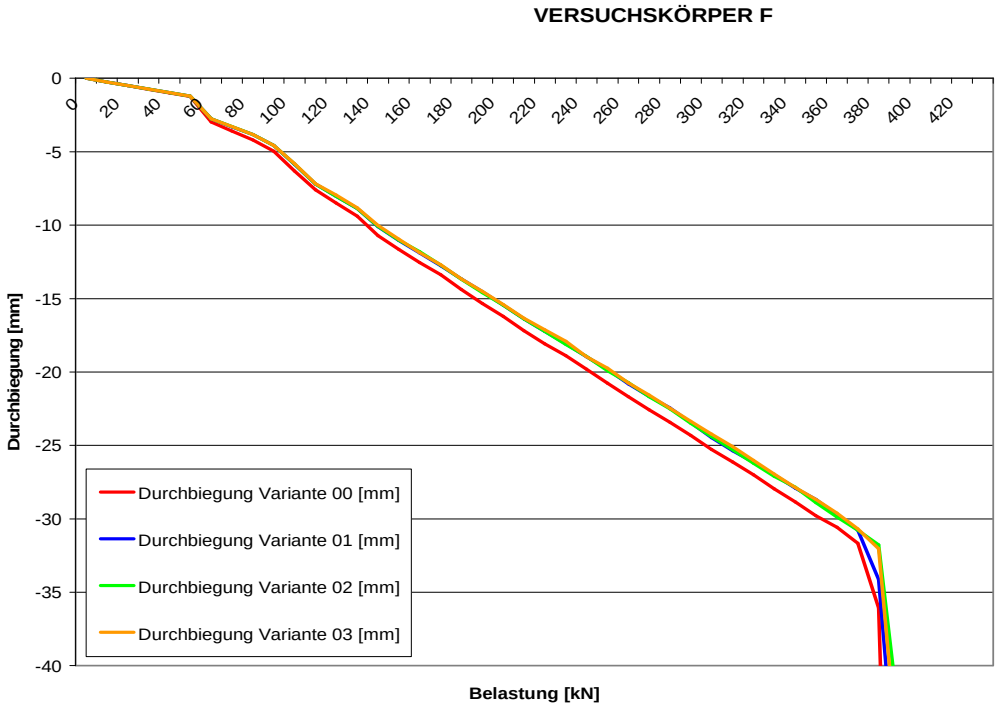


Abbildung 136: Graphik der Durchbiegung vom VK F

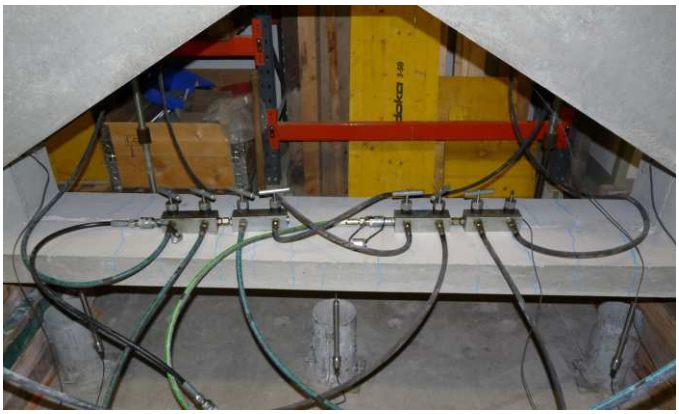
Wie man in der Grafik sehen kann, hat man drei verschiedene Neigungen:

- Die Erste entspricht dem Zustand I,
- die Zweite entspricht dem Zustand II.
- Die Dritte Neigung stellt das Fließen der Bewehrung dar.

2.6.2.- VERSUCHSKÖRPER F IM LABOR

Am 10. Juni 2009 wurde der VK F im Labor getestet.

Der Versuchskörper F wurde zweimal getestet.
Beim ersten Mal kam es zu einer Schiefstellung des nur 40 cm breiten Trägers. Um ein Umkippen zu vermeiden wurde bei einer Kraft von 260 kN entlastet. Danach wurden die Druckmessdosen, welche als Auflager dienen, verschoben und nochmals belastet. Es kam diesmal zu keiner Schiefstellung und der Versuch konnte zu Ende gefahren werden.
Es kam zu einem Biegeversagen. Bei einer Belastung von 313,65 kN (exklusive Eigengewicht) kam es zum Fließen der unteren Bewehrung (Abbildung 147 und Abbildung 148)



Laststufe 75 kN.
Hier stellt man drei Fotos von der Platte dar: das Erste ist die zentrale Platte und dann die beiden Nächsten sind die seitlichen Platten (mit wenigen Rissen).

Abbildung 137: Erste Risse in den Platten (Feldmitte)

Abbildung 138: Erste Risse in den seitlichen Platten

In folgenden Lastschritten treten vielen Risse in den Platten und auch an den Diagonalen auf und sie sind länger als bei den anderen Versuchen im gleichen Lastabschnitt.

Abbildung 139: Risse in den Diagonalen und der Platte

Ab Lastschritt 75 kN, Risse an der unteren Seite der Stummel, wegen der Zugkraft der unteren Seite des Trägers.

Hier sind vier Fotos vom Stummel. Das erste Paar ist von der Vorderseite der Struktur und die beiden letzte sind von der Hinterseite. Hier kann man das Wachstum der Risse beobachten.

Abbildung 140: Beide Stummel, vorne Seite.

Abbildung 141: Beide Stummel, hintere Seite.

Wie in den vergangenen Versuchen, treten horizontale Risse auf aber diese bleiben im Haarrissbereich. Die horizontalen Risse werden immer von einigen vertikalen Rissen im Obergurtanschluss begleitet.

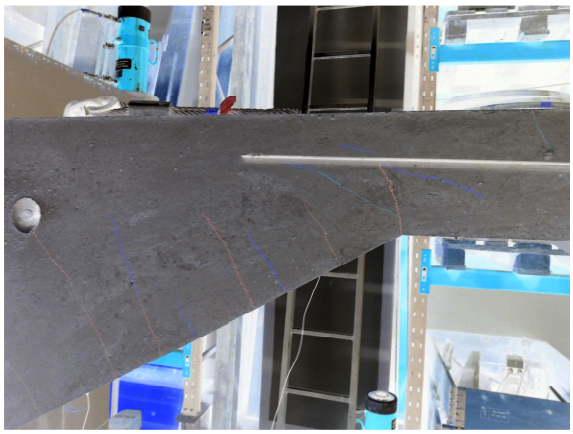


Abbildung 142: Horizontale und vertikale Risse am Obergurtanschluss

In dieser Phase des Belastungsprozess hat man den Belastungsvorgang gestoppt, die Druckzylinder wurden auseinandergeschoben und die Belastung wurde wieder aufgenommen.

Abbildung 143: Aufdeckung der Schiefstellung

Große Risse in den Stummeln und in der unteren Platte. Dennoch kann die Kraft gehalten werden. Die untere Bewehrung fließt.
(Abbildung 145).

Abbildung 144: Finale Risse im Stummel

Abbildung 145: Neue Risse an den zentralen Diagonalen

Abbildung 146: Durchbiegung der Struktur

Die Abbildung 146 zeigt die Verformung der Struktur mit einer Durchbiegung in Feldmitte von 49,44 mm. Die Versagenskraft ist 313,65 kN.

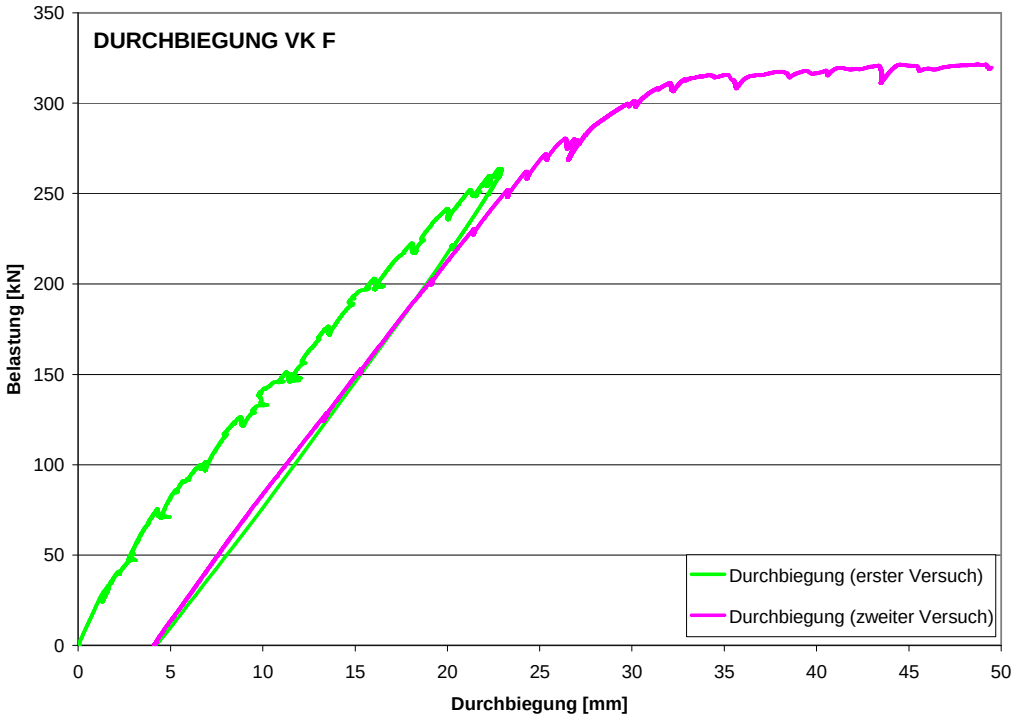


Abbildung 147: Durchbiegung Vs Belastung

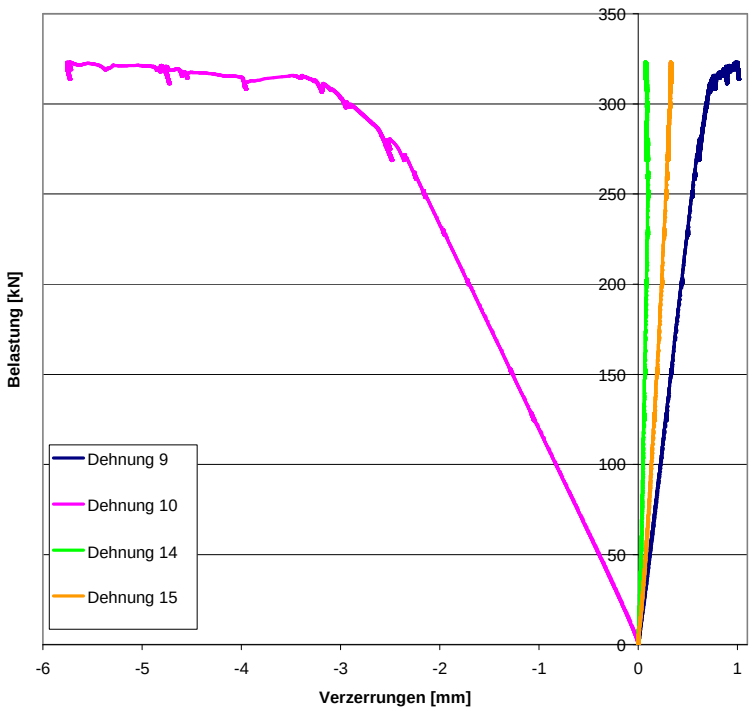


Abbildung 148: Dehnung der horizontalen Wegaufnehmer

In der Abbildung 148, kann man die Verzerrungen von vier Wegaufnehmern sehen. Die rosa Linie ist die Dehnung in der Mitte des Untergurtes, die sehr stark wächst. Die Stauchungen sind im Obertgurt angeordnet (D. 9 an der Mitte und D.14 und D15 an den seitlichen Obergurtanschluss). Es kam zu einem kontinuierlichen Versagen der Zugbewehrung. Die Traglast konnte bis zum Schluss gehalten werden.

3.- SCHLUSSFOLGERUNG

Mit der Fertigstellung der sechs Versuche, die in den vorherigen Seiten dargestellt sind, hat man gezeigt, dass man mit der Bewehrungsänderung eine tragfähige, gut kalkulierbare Fachwerkstruktur erhält.

Man hat dadurch die Versuche sehr viel über die Tragfähigkeit der Tragstruktur herausgefunden.

- Die Fuge aus Ortbeton, die die zwei Fertigteilhalbrippen vereint, nimmt die Kräfte auf, als ob es ein einziger Träger wäre. Man erhält durch den Ortbetonverguss einen monolithischen Bauteil.

- Einer der schwächsten Teile der Struktur sind die Zugdiagonalen eine Änderung der Geometrie und der Verankerung hat großen Einfluss.
  Die zwei wesentlichen Änderungen, die durchgeführt wurden, waren:

    - Im Stummelbereich kann eine Übergreifung der Zug- und Druckdiagonale stattfinden, oder die Stäbe treffen sich in einem Punkt. Die punktuelle Kraftübertragung ist ausreichend. Zulagebewehrung im Aufbeton ist erst zu spät wirksam.

    - Geschlossene Bügel im Obergurtanschluss sind nicht ausreichend verankert. Bei der Anordnung von offenen Bügeln, welche verankert sind, erhält man die volle Tragkraft.

- Die Ortbetonsbewehrungen wirkt erst beim Versagen, die Kraftübertragung von Ortbeton und Fertigteil ist nicht ausreichend. Deshalb sollte die Ortbetonschicht nur bedingt eingesetzt werden.

- Ist die Traglast der Fachwerkknoten bekannt, kann gezeigt werden, dass das Biegetragverhalten ausgezeichnet ist. Man erhält ein sehr tragfähiges System, welches vor dem Versagen große Rissbreiten und Durchbiegungen projeziert.

Wenn man die Ergebnisse aller Versuche vergleicht, kommt man zur Schlussfolgerung, dass der optimale Versuchskörper VK E ist, da es die höchste Belastung vor dem Versagen erreichen konnte.
An diesem Versuchskörper konnte gezeigt werden, dass die Traglast der Zugdiagonalen erreicht wird und somit für die Bemessung der Decke für Installationen die Kräfte aus der Fachwerkstatik auf den Bewehrungsquerschnitt umgelegt werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] J. Kollegger, S. Burtscher, A. Kainz:
"*Flächige, tragende Stahl-Beton-Konstruktion sowie Verfahren zur Herstellung derselben*";
Patent: Österreich.

[2] A. Kainz, J. Kollegger:
"Nueva área de aplicación para elementos prefabricados" (New area of application for precast construction);
BFT International (2008).

[3] EC 2: Eurocode 2:
Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken.

[4] Skriptum von Betonbau I, 2008.
Institut für Tragkonstruktionen - Betonbau, Technische Universität Wien.

[5] Jan Červenka, Zdeněk Janda.
Atena Program Documentation. Tutorial for Program ATENA 2D (Prague, 2001) and Tutorial for Construction Process Modelling in ATENA 2D.

[6] A. Fleckl, A. Kainz, J. Kollegger:
"Stahlbetondecke mit Hohlräumen zur Aufnahme von Installationen".
(2007)

[7] A. Kainz, S. Burtscher, J. Kollegger:
"*Concrete Slab with Integrated Installations*";
Fib Central European Congress on Concrete Engineering, Visegrad 2007, Visegrad, Ungarn; 09-17-2007 - 09-18-2007; in: "*Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures*", (2007).

[8] A. Kainz, G. Katzenberger:
"*Decke für Installationen*";
Betontag 2008, Wien; 04-24-2008 - 04-25-2008; in: "*Betontag 2008*", Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik, (2008).

[9] A. Kainz, S. Burtscher, J. Kollegger:
"*Slab with integrated installations*";
IABSE Conference, Chicago; 09-17-2008 - 09-19-2008; in: "*Creating and Renewing Urban Structures*", IABSE (ed.); ETHZ Hönggerberg, (2008).

[10] A. Kainz:
"Decke für Installationen";
Architektur & Bau Forum, (2008).