



STEGVERBUNDPLATTEN



ANLAGE II ZUM FORSCHUNGSBERICHT:

Versuchsergebnisse

von Prof. Dr.-Ing. Richard Rojek
und Dipl.-Ing. (FH) Tobias Keller

Dieses Forschungsvorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des BMBF-Programms zur Förderung der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung an Fachhochschulen (aFuE); Förderrunde 2001; Förderkennzeichen: 170 99 01.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. ALLGEMEINES	5
2. STEGVERBUNDPLATTEN MIT DER BETONGÜTE C 30 (B 35)	9
2.1 Stegverbundplatte 1-20-6,0	9
2.1.1 Herstellung der Stegverbundplatte	9
2.1.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	11
2.1.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	19
2.2 Stegverbundplatte 2-20-4,2	21
2.2.1 Herstellung der Stegverbundplatte	21
2.2.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	22
2.2.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	29
2.3 Stegverbundplatte 3-16-6,0	32
2.3.1 Herstellung der Stegverbundplatte	32
2.3.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	33
2.3.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	54
2.4 Stegverbundplatte 4-20-6,0	56
2.4.1 Herstellung der Stegverbundplatte	56
2.4.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	56
2.4.2.1 Vorbelasten	56
2.4.2.2 Belasten mit Ortbetonergänzung als Einfeldträger ...	66
2.4.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	83
2.5 Stegverbundplatte 5-20-4,2	87
2.5.1 Herstellung der Stegverbundplatte	87
2.5.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	87
2.5.2.1 Vorbelasten	87
2.5.2.2 Belasten mit Ortbetonergänzung als Einfeldträger ...	92
2.5.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	100

	Seite
2.6 Stegverbundplatte 6-16-4,2	103
2.6.1 Herstellung der Stegverbundplatte	103
2.6.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	103
2.6.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	111
2.7 Stegverbundplatte 7-16-6,0	113
2.7.1 Herstellung der Stegverbundplatte	113
2.7.2 Versuchsdurchführung und Auswertung der Vorbelastung	113
2.7.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	117
2.8 Stegverbundplatte 8-16-4,2	119
2.8.1 Herstellung der Stegverbundplatte	119
2.8.2 Versuchsdurchführung und Auswertung der Vorbelastung	120
2.8.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	123
2.9 Stegverbundplatte 7-16-6,0 und 8-16-4,2 als Durchlaufträger	125
2.9.1 Herstellung der Ortbetonergänzung mit Stützbewehrung	125
2.9.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	125
2.9.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	138
3. STEGVERBUNDPLATTEN MIT HOCHFESTEN BETONGÜTEN	140
3.1 Allgemeines	140
3.2 Stegverbundplatte 9-20-6,1	141
3.2.1 Herstellung der Stegverbundplatte	141
3.2.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	142
3.2.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	150
3.3 Stegverbundplatte 10-20-6,1	151
3.3.1 Herstellung der Stegverbundplatte	151
3.3.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	152
3.3.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	159

	Seite
3.4 Stegverbundplatte 11-18-6,1	162
3.4.1 Herstellung der Stegverbundplatte	162
3.4.2 Versuchsdurchführung und Auswertung	163
3.4.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	170
4. ZUSAMMENFASSUNG ALLER GEWONNENEN ERKENNTNISSE AUS DER VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	172

1. ALLGEMEINES

Für die Versuchsdurchführung wurde zunächst eine Serie mit acht Stegverbundplatten geplant, die sowohl im Bau- als auch im Endzustand belastet werden sollten. Diese Serie sollte wiederum mindestens zwei verschiedene Stützweiten mit zwei verschiedenen Steghöhen beinhalten. Daraufhin entschied man sich, einen Teil der Stegverbundplatten nur bis zur Gebrauchslast vorzubelasten, anschließend mit Ortbeton zu ergänzen und dann die Belastung bis zur Bruchlast aufzubringen. Im Laufe der Versuchsdurchführung wurde dann eine zweite Serie mit drei Platten geplant, die mit hochfestem und selbstverdichtendem Beton hergestellt wurden. Bei der Suche nach einem Fertigteilwerk, das die Stegverbundplatten als Prototypen für die geplante Versuchsdurchführung herstellt, erklärte sich ein im Raum Augsburg ansässiges Fertigteilwerk bereit, nicht nur die Platten herzustellen sondern auch einen Teil der Fahrzeughalle für die Belastung der SVP zur Verfügung zu stellen.



Bild 1.1: Schalung



Bild 1.2: Betonierkammer



Bild 1.3: Transport der SVP

Für die *Herstellung* der SVP wurde eine Schalung konzipiert, die dafür ausgelegt war, die geplanten Versuchsplatten mit dem hier zur Verfügung stehenden Produktionsprozess herzustellen. Dies bedeutete, dass entgegen den im Hauptteil angeführten SVP mit einer Breite von 2,50 m, die Prototypen auf Grund der vorhandenen Schalungspaletten 2,40 m breit waren. Für die Anzahl von vier Stegen pro Platte bedeutete dies, dass der Stegachsabstand von 62,5 cm auf 60 cm verringert wurde. Die Schalungseinheit war ebenfalls nur auf die Prototypen ausgelegt, so dass die Stegbreite und der Stegabstand fix waren. Lediglich in der Plattenlänge und der Steghöhe konnten Veränderungen vorgenommen werden. Nach dem Bewehren der Platte wurde die Schalung mit Schrauben an der Stahlpalette fixiert und in die Betonierkammer gefahren. Nach dem Einbringen des Betons für die Plattendicke von 5 cm, wurde dieser Teil zunächst mit dem Außenrüttler verdichtet. Danach wurde für das Verfüllen der Stege der Betonierwagen per Hand gesteuert. Das manuelle Steuern war notwendig, da mit der Computersteuerung nur alle Klappen gemeinsam geöffnet werden konnten. Für die Stege war es jedoch erforderlich nur die Klappe zu öffnen, die gerade über dem zu verfüllenden Steg war. Das Umprogrammieren ist zwar möglich, doch für die geringe Anzahl der Prototypen war dies nicht relevant. Anschließend wurden die Stege verdichtet und die Stegoberflächen wurden geglättet. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass diese Schalung ausschließlich für das Herstellen der Versuchsplatten konzipiert wurde. Für eine Serienfertigung wäre eine andere Schalung erforderlich, die zu einem geringeren Aufwand bei der Herstellung führt.

Die SVP blieben alle einen Tag in der Härtekammer, bevor sie am nächsten Tag ausgeschalt und auf dem Hof zwischengelagert wurden. Einen weiteren Tag später wurden sie dann in die Fahrzeughalle gefahren und dort auf die Versuchseinrichtung gelegt. Dies entspricht dem praxisnahen Ablauf der heutigen just-in-time Produktion. Die Fertigteilwerke liefern die Elementplatten mit der Druckfestigkeit des Betons der Güte C 20 aus. Diese verlassen das Fertigteilwerk meistens nach dem Verbleib von einem Tag in der Trockenkammer und der anschließenden Lagerung eines weiteren Tages auf dem Hof. In dieser kurzen Zeit ist es nur schwer möglich, die geforderte Druckfestigkeit zu erreichen. Im Werk wird deshalb meistens eine höhere Betongüte verwendet, so dass die Platten beim Verlassen des Geländes die Druckfestigkeit der Betongüte C 20 aufweisen. Nach dieser Grundlage wurde die Versuchsdurchführung geplant. Die Rezeptur des Betons, die bei den SVP und bei den Ortbetonergänzungen für die Versuchsdurchführung verwendet wurde, basierte auf der Grundlage der DIN 1045. Rechnerisch hingegen werden die vergleichbaren Betongüten der DIN 1045-1 angesetzt. Zur Vereinfachung werden in den nächsten Kapiteln nur die Bezeichnungen nach der DIN 1045-1 verwendet.

Die Versuchsplanung und der daraus entstandene Ablauf der Versuchsdurchführung machten es nicht möglich, zu jeder Platte eine entsprechende Anzahl von Probewürfeln und -zylindern herzustellen, um die genaue Druckfestigkeit und den E-Modul an dem Tag der Belastung zu bestimmen. Es wurden einzelne Proben des verwendeten Betons entnommen, an denen die Druckfestigkeit und der E-Modul in bestimmten Zeitabständen ermittelt und in Diagrammen zusammengefasst wurden. Aus diesen Diagrammen konnten dann die Würfeldruckfestigkeit und der E-Modul für die Stegverbundplatten bzw. die Ortbetonergänzungen beim jeweiligen Belastungstag herausgelesen werden. Sie sind im zweiten Kapitel für jede Platte einzeln aufgeführt.

Die Stegverbundplatten wurden für die [Versuchsdurchführung](#) auf die Belastung durch ihr Eigengewicht im Endzustand und der Verkehrslast von 1,5 kN/m² bemessen. Dementsprechend wurden die einzelnen Platten dann im Fertigteilwerk bewehrt. Die Stege wurden zum größten Teil unbewehrt ausgeführt. Aus Testzwecken wurde bei der ersten Platte in einem Auflagerbereich Gitterträger in die Stege eingebaut, ansonsten nur, wenn Druckbewehrung erforderlich war.

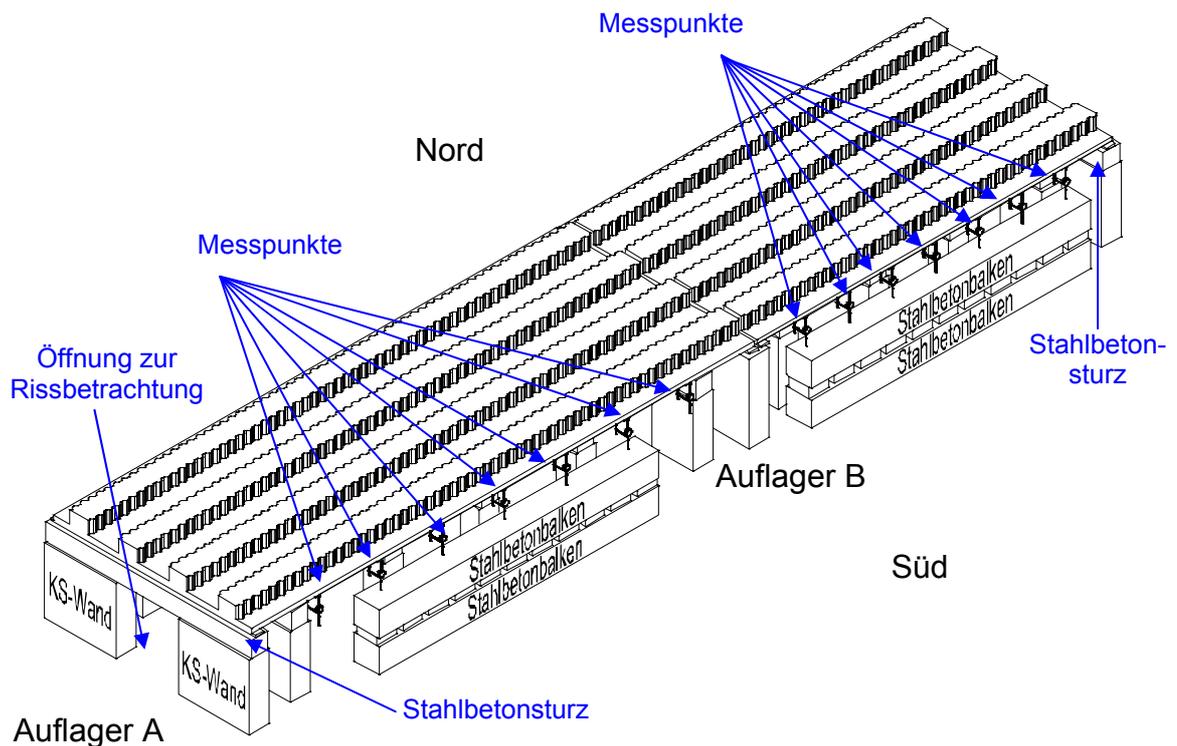
Nachdem die Ortbetonergänzung und die Verkehrslast eine Flächenlast darstellen, wurde nach einer Möglichkeit gesucht, dieser Belastungsform so nahe wie möglich gerecht zu werden. Nach langen Überlegungen fiel die Wahl auf Kalksandstein-Paletten, die auf drei Kanthölzern gelagert sind. Bei einem Achsabstand der Auflagerpunkte von 42 cm kann bei den vorhandenen Stützweiten von einer Flächenlast ausgegangen werden.

Nach der Auswahl der Belastungskörper wurden nun im Vorfeld Belastungsstufen für die einzelnen Stegverbundplatten festgelegt. Sie wurden so gewählt, dass möglichst die Gebrauchslast als Zwischenstufe der Bruchlast erreicht wurde. Als Belastungskörper standen ganze Paletten mit 900 kg und halbe Paletten mit 500 kg zur Verfügung. Es konnte jedoch nicht immer genau das Moment erreicht werden, das angestrebt wurde. Die für die Belastungsschemata angegebenen Momente beziehen sich immer auf die Feldmitte, so dass ein besserer Vergleich der einzelnen Stegverbundplatten untereinander möglich war. Je nach Palettenanordnung entsprach dies bei manchen Laststellungen jedoch nicht dem maximalen Feldmoment.

Für eine praxisingerechte Versuchsdurchführung musste auch eine dementsprechende [Versuchseinrichtung](#) geplant werden. Aus diesem Grund wurden drei Mauern aus Kalksandsteinen errichtet, die, wie im Kapitel 8 des Hauptteils bereits beschrieben, für Stegverbundplatten mit Stützweiten von 4,20 und 6,00 m ausgelegt waren. Als Auf-

lager dienten bi-Trapezlager, die Verdrehungen am Auflager zuließen. Die Versuchseinrichtung sollte jedoch auch so gestaltet sein, dass eine Rissbeobachtung an der Plattenunterseite möglich war und dennoch Absicherungsmaßnahmen vorhanden waren. Die nachstehende Skizze gibt nochmals einen kurzen Überblick über die geplante Versuchseinrichtung.

Zum Messen der auftretenden Verformungen wurde für die Anfangsverformung ein Nivelliergerät verwendet. Für die Durchbiegung nach den einzelnen Laststufen dienten Messuhren, die in den Achtelpunkten der Plattenlängen angebracht waren. Sie wurden nach jeder Laststufe abgelesen, sobald sich die Platte im Gleichgewicht befand und die Messuhren somit zum Stillstand gekommen waren.



Skizze 1.1: Geplante Versuchseinrichtung



Bild 1.4: Vorhandene Versuchseinrichtung

Für die *Versuchsauswertung* wurden die gemessenen Durchbiegungen den rechnerischen Zuständen I und II gegenübergestellt. Hierzu wurden die Durchbiegungen im Zustand I mit dem vorhandenen E-Modul ermittelt. Die Durchbiegungen im Zustand II basieren auf der Grundlage, dass das Trägheitsmoment gegenüber dem ungerissenen Zustand nur noch 70 % beträgt (siehe Kapitel 2 im Hauptteil: $I_{II} = 0,7 \cdot I_I$). Dieser gewählte Ansatz ist jedoch nur für den Gebrauchszustand gültig. Bei höherer Belastung führen die größeren Rissbreiten zu erheblich größeren Krümmungen und Durchbiegungen.

Weiterhin wurde die Rissentwicklung an der Plattenunterseite untersucht. Hierzu wurde mit der Schlagschnur ein Gitternetz mit einem Abstand von 60 cm an der Plattenunterseite aufgebracht, das zur besseren Orientierung bei der Rissaufzeichnung diente. Dies war jedoch nur so lange möglich, bis die Gefahr zu groß wurde, sich unter die Platte zu begeben. Weiterhin wurde die Last-Querverteilung der Stegverbundplatten im Bauzustand untersucht. Auch auf das Verbundverhalten zwischen der Ortbetonergänzung und den Fertigteilen im Endzustand bei der Belastung als Einfeld- und Durchlaufträger wurde ein Augenmerk gerichtet.

2. STEGVERBUNDPLATTEN MIT DER BETON-GÜTE C 30 (B 35)

2.1 Stegverbundplatte 1-20-6,0

2.1.1 Herstellung der Stegverbundplatte

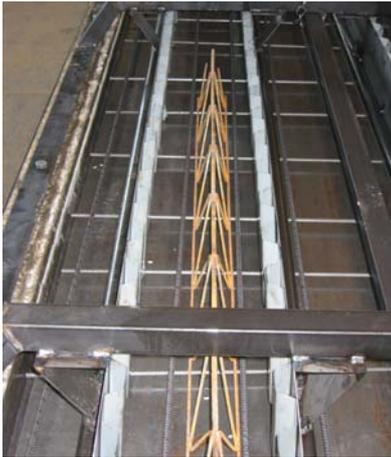


Bild 2.1.1.1: Gitterträger

Die Längsbewehrung für die erste Stegverbundplatte lag bei $7,48 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand $10,5 \text{ cm}$) und der der Querbewehrung bei $2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 25 cm). Dem Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} von $16,2 \text{ kN}$ stand der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,ct}$ mit $20,09 \text{ kN}$ gegenüber, so dass keine Querkraftbewehrung erforderlich war. Es wurden jedoch vier Gitterträger mit einer Länge von je $1,5 \text{ m}$ in die Stege auf einer Seite des späteren Auflagerbereichs eingelegt. Hierdurch sollte die unterschiedliche Auswirkung mit und ohne Stegbewehrung untersucht werden. Die Höhe der Gitterträger wurde so gewählt, dass beim Aufliegen auf der Querbewehrung eine obere Betondeckung von $2,0 \text{ cm}$ gewährleistet war. Die Längsbewehrung war nur an einer Seite gekröpft ausgebildet, damit beim Aufliegen der Platten im mittleren Auflager sich die Bewehrungsstäbe nicht gegenseitig im Weg standen. Die Verankerungslänge am Endauflager ist bei einem Stabdurchmesser von 10 mm auch ohne Kröpfen eingehalten, da die Platten 10 cm auf den Trapezlagern auflagen.



Bild 2.1.1.2: Betonierkammer

Für den Betoniervorgang der ersten Stegverbundplatte wurde die Platte zunächst mit 5 cm Dicke in die automatische Steuerung des Betonierwagens eingegeben und mit dem Aussenrüttler, analog einer Elementplatte, verdichtet. Zum Verfüllen der Stege musste der Betonierkübel mit der Hand gesteuert werden. Sie wurden mit einem Flaschenrüttler verdichtet und mit einer Glättkelle auf Schalungshöhe abgezogen. Per Kran wurde die erste Stegverbundplatte dann von der Betonier- in die Trockenkammer gehoben, von der sie am nächsten Tag in der Frühe wieder herausgehoben und die Stegschalung abgehoben wurde. Die Haftwirkung des Betons an der Verzahnung der neuen Schalung erwies sich als extrem gut, so dass sich die gesamte Schalung so stark verkantete, dass sie sich trotz zu Hilfenahme von

Brechstange und Vorschlaghammer nicht abheben ließ. So wurden zu guter Letzt mit einem Trennschleifer die Winkeleisen der Stegschalungen vom Rahmen abgetrennt. Durch das teilweise gewaltsame Entfernen der Schalung wiesen die Stege an manchen Stellen bereits Risse auf.



Bild 2.1.1.3: Auflegen der 1. Platte

Bei der Kontrolle der Maße wurde festgestellt, dass zwar die Gesamthöhe von 20 cm eingehalten wurde, die geplante 5 cm Plattenstärke hingegen variierte teilweise beträchtlich. Dies spiegelte sich auch beim Gewicht nieder. Die erste Stegverbundplatte wurde am Donnerstag, den 29. August 2003, mit einem Sattelschlepper auf die Waage gefahren, um das tatsächliche Gewicht der SVP festzustellen. Die SVP wog 4,24 t und wurde anschließend mit dem Gabelstapler (siehe Bild) auf die Versuchsvorrichtung gelegt. Die Stegverbundplatte konnte nicht an den dafür eingebauten Haken gehoben werden, da sie für den Stapler, trotz Ketten, zu weit auseinander lagen.

Wie man am Bild bereits erkennen kann, bildete sich ein Einfeldträger mit zwei Kragarmen. Bei der Platte, die bereits beim Ausschalen in Mitleidenschaft gezogen worden war, entstanden dadurch im Auflagerbereich A (im Bild linke Seite) Risse an der Oberseite der Stege. Sie bildeten sich im Abstand von ca. 1,5 m von der Plattenausenkante. In diesem Bereich war die Platte auf Grund der eingelegten Gitterträger steifer und die Stege rissen somit am Übergang von den Gitterträgern zu dem unbewehrten Bereich der Stege, der auf Grund des Alters noch weich und elastisch war. Die rechte Seite ohne Gitterträger hingegen wies keinerlei Risse auf.

Zur besseren Rissdokumentation wurde nach dem Auflegen der Platte auf die Versuchseinrichtung mit Hilfe einer Schlagschnur ein Gitternetz an der Plattenunterseite in einem Raster von 60 cm aufgeschlagen. Die Risse wurden jedoch nur so weit dokumentiert, wie für die Mitarbeiter die Gefahr unter der Platte zumutbar war. Die Messuhren wurden auf jeder Plattenseite in den Achtelpunkten angebracht.

2.1.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Nach dem Aufbau und Einrichten dieser Messvorrichtungen konnte nun mit der eigentlichen Versuchsdurchführung begonnen werden. Die erste SVP war für eine Belastung bis zum Bruchmoment vorgesehen, wobei eine Zwischenstufe das maximale Moment in Folge Gebrauchslast darstellen sollte. Das Bemessungsmoment pro Steg nach der DIN 1045-1 lag bei 23,64 kNm. Das maximale Moment aus der Gebrauchslast ergab sich somit zu 16,89 kNm pro Steg und das rechnerische Bruchmoment zu 35,46 kNm pro Steg. Der Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft lag bei 20,09 kN pro Steg. Für die maximale Querkraft unter Gebrauchslast ergab sich somit ein Wert von 14,35 kN pro Steg und für den Bruchzustand 36,16 kN pro Steg.

Das Belastungsschema bis zum Erreichen des Bruchmoments sah für die Stegverbundplatte 1-20-6,0 folgendermaßen aus:

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	7,95	47,08	22,42	5,30	36,93	14,66
1	1, 3, 5	10,28	18,23	107,96	51,41	12,07	84,11	33,38
2	1, 2, 3, 4, 5	19,03	26,98	159,78	76,09	16,58	115,54	45,85
3	1, Reihe voll; 2. Reihe 1,5	23,00	30,95	183,29	87,28	21,09	146,97	58,32
4	1, Reihe voll; 2. Reihe 1,2,6	27,37	35,32	209,17	99,61	24,13	168,15	66,73

Tabelle 2.1.2.1: Belastungsschema der SVP 1-20-6,0

Die Würfeldruckfestigkeit von 20 N/mm² und der E-Modul von 15.000 N/mm² wurden wie im Kapitel 1 beschrieben, aus einem der Diagramme herausgelesen, die an Hand von den entnommenen Betonproben erstellt wurden. Die Platte bog sich auf Grund ihres Eigengewichts (Laststufe 0) um 7 mm durch.



Bild 2.1.2.1: Laststufe 0 der SVP 1-20-6,0

Interpoliert man die Durchbiegung von 7 mm in Feldmitte in den Achtpunkten der Stützweite auf der Grundlage einer quadratischen Parabel, so ergeben sich folgende Durchbiegungswerte:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Verformung	0,00	3,06	5,25	6,56	7,00	6,56	5,25	3,06	0,00

Tabelle 2.1.2.2: Verformungen aus dem Eigengewicht der SVP 1-20-6,0

Das aus dem Eigengewicht hervorgerufene Moment in Feldmitte lag bei 7,95 kNm pro Steg, das etwa 47 % vom maximalen Moment aus der -Gebrauchslast und 22 % vom maximalen rechnerischen Bruchmoment darstellte. Die rechnerische Verformung durch das Eigengewicht im Zustand I kann mit der Formel für einen Einfeldträger unter Flächenlast berechnet werden. Für den gerissenen Zustand wird, wie unter Kapitel 3.3.1 im Hauptteil begründet wurde, angenommen, dass das wirksame Trägheitsmoment im Zustand II um ca. 30 % geringer ist als das Trägheitsmoment im Zustand I.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die einzelnen rechnerischen Durchbiegungen:

Zustand I	0,00	3,60	6,60	8,60	9,30	8,60	6,60	3,60	0,00
Zustand II	0,00	5,14	9,43	12,29	13,29	12,29	9,43	5,14	0,00

Tabelle 2.1.2.3: Rechnerische Verformungen der SVP 1-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

Das Diagramm stellt die gemessenen und rechnerischen Durchbiegungen anschaulicher gegenüber:

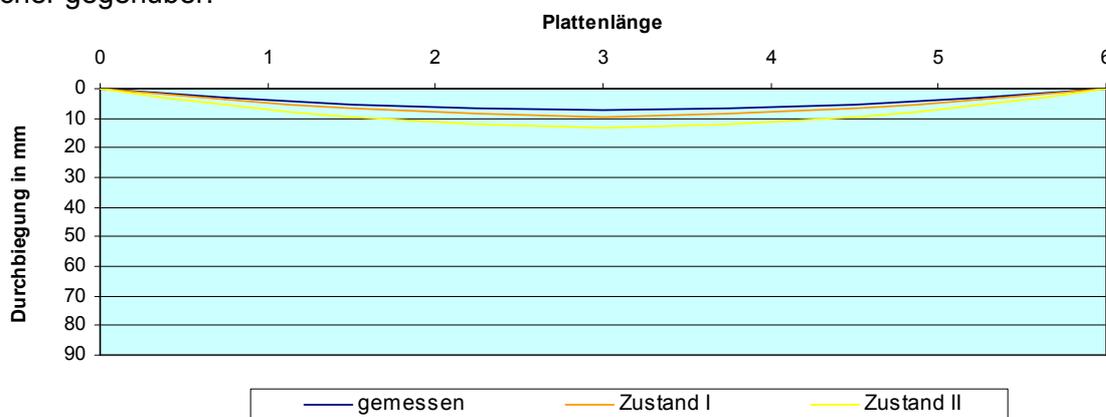


Diagramm 2.1.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 1-20-6,0 aus der Laststufe 0

Der Vergleich der gemessenen Durchbiegungen mit den rechnerisch ermittelten in den Zuständen I und II zeigt, dass diese kaum voneinander abweichen. Die zulässige Durchbiegung kann nach der DIN 1045-1 für eine quasi-ständige Einwirkungskombination auf $l/250$ beschränkt werden (siehe Kapitel 3.3.1 im Hauptbericht). Bei der vorhandenen Stützweite von 6,0 m war eine Durchbiegung von 2,4 cm zulässig. Die maximal aus dem Eigengewicht entstandene Durchbiegung von 7 mm erreichte diesen Wert somit zu 29 %.

Das Lastniveau entsprach somit knapp 108 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast und somit 22 % vom rechnerischen Bruchmoment. Die *Tabelle 2.1.2.4* zeigt die Durchbiegungen, die aus der Belastung mit den Kalksandstein-Paletten entstanden sind.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Nord	0,00	10,73	22,15	29,26	31,86	29,35	22,07	12,20	0,00
Süd	0,00	11,13	22,32	29,38	32,62	30,80	23,74	12,25	0,00

Tabelle 2.1.2.4: Verformungen der SVP 1-20-6,0 aus der Laststufe 1

Diese Werte zeigen jedoch nur den Durchbiegungszuwachs durch die Palettenbelastung auf, der Durchhang aus dem Eigengewicht ist hier ist noch nicht erfasst. Addiert man die Werte aus *Tabelle 2.1.2.2* zu den obengenannten Werten, so ergibt sich die gesamte Durchbiegung der Platte:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	13,79	27,40	35,82	38,86	35,91	27,32	15,26	0,00
ges. Süd	0,00	14,19	27,57	35,94	39,62	37,36	28,99	15,31	0,00
Mittelwert	0,00	13,99	27,49	35,88	39,24	36,64	28,16	15,29	0,00

Tabelle 2.1.2.5: Gesamte Verformungen der SVP 1-20-6,0 aus der Laststufe 1

Die rechnerischen Durchbiegungen im Zustand I wurden mit Hilfe eines Rechenprogramms ermittelt. Hierdurch können durch die genaue Eingabe der Belastungspunkte und des vorhandenen E-Moduls die Durchbiegungen exakt in den Achtelpunkten ausgegeben werden. Die rechnerischen Durchbiegungen in den Zuständen I und II sind in der *Tabelle 2.1.2.6* aufgelistet:

Zustand I	0,00	8,10	14,90	19,30	20,90	19,30	14,90	8,10	0,00
Zustand II	0,00	11,57	21,29	27,57	29,86	27,57	21,29	11,57	0,00

Tabelle 2.1.2.6: Rechnerische Verformungen der SVP 1-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

Vergleicht man die gemessenen Werte mit den rechnerischen Durchbiegungen in den Zuständen I und II, so zeichnen sich bereits große Unterschiede ab. Die oben aufgeführten Tabellenwerte lassen sich anschaulicher im *Diagramm 2.1.2.2* darstellen:

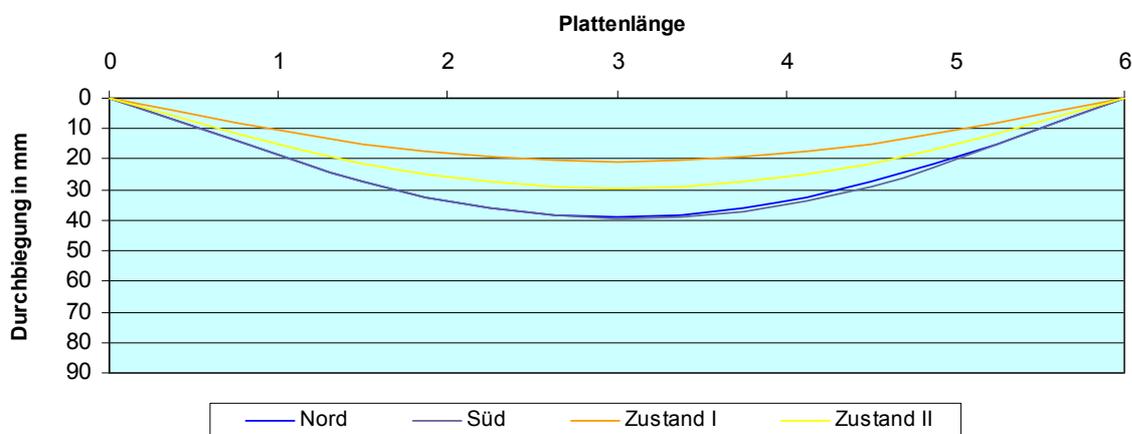


Diagramm 2.1.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 1-20-6,0 aus der Laststufe 1

Das Rissbild der neu entstandenen Risse aus der Laststufe 1 ist im *Bild 2.1.2.4* dargestellt:

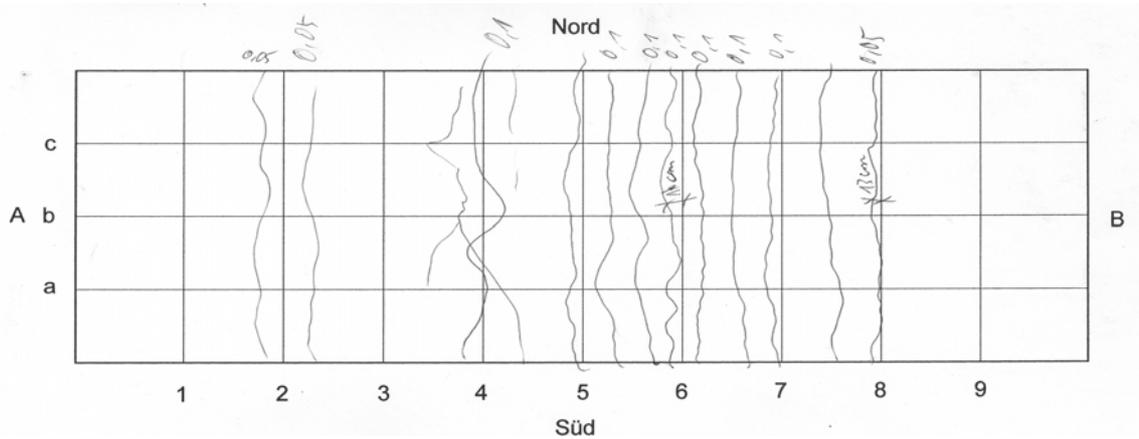


Bild 2.1.2.4: Neu entstandene Risse der SVP 1-20-6,0 in der Laststufe 1

Die Rissbildung an der Plattenunterseite nahm sehr stark zu. Die ersten Querrisse bildeten sich in einem Abstand von ca. 1,20 m vom Auflager. Zur Mitte hin häuften sie sich und bildeten einen Abstand von ca. 25 cm. Dieser Abstand entsprach dem der eingelegten Querbewehrung. Ein Längsrisse war nicht erkennbar. Bei Betrachtung der Querkraftsituation waren 12,07 kN pro Steg erreicht, was 84 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 33 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.

Mit dem Aufbringen der Paletten auf die Positionen 2 und 4 und dem damit verbundenen Schließen der ersten Ebene wurde die *zweite Laststufe* erreicht. Das Lastniveau stieg somit auf etwa das 1,60-fache des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und das 0,76-fache des rechnerischen Bruchmoments an.



Bild 2.1.2.5: Laststufe 2 der SVP 1-20-6,0

Die Durchbiegungen inkl. der Vorverformung durch das Eigengewicht sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	27,90	54,99	70,63	77,96	72,03	54,17	31,01	0,00
ges. Süd	0,00	28,60	56,23	74,24	81,69	76,97	59,27	31,82	0,00
Mittelwert	0,00	28,25	55,61	72,44	79,83	74,50	56,72	31,42	0,00

Tabelle 2.1.2.7: Gesamte Verformungen der SVP 1-20-6,0 aus der Laststufe 2

Die rechnerischen Durchbiegungen in den Zuständen I und II weichen bereits deutlich von den gemessenen Werten ab.

Zustand I	0,00	12,20	22,30	29,00	31,30	29,00	22,30	12,20	0,00
Zustand II	0,00	17,43	31,86	41,43	44,71	41,43	31,86	17,43	0,00

Tabelle 2.1.2.8: Rechnerische Verformungen der SVP 1-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 2

Aus der graphischen Darstellung lässt sich der Unterschied besser herauslesen:

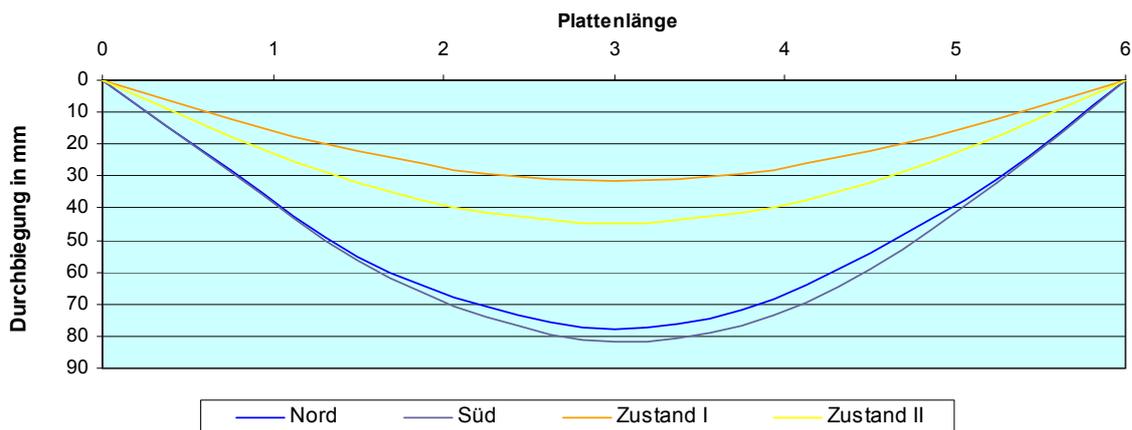


Diagramm 2.1.2.3: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 1-20-6,0 aus der Laststufe 2

Dieser große Unterschied zwischen den vorhandenen und rechnerischen Durchbiegungen beruhte daher, dass mit dem Überschreiten der Gebrauchslast der gewählte Ansatz ($I_{II} = 0,7 \cdot I_I$) nicht mehr ganz zutraf, da es durch die größeren Rissbreiten zu erheblich größeren Krümmungen und Durchbiegungen kam. Die große Durchbiegung der Platte gab Anlass, die Rissaufnahme an der Plattenunterseite aus Sicherheitsgründen zu beenden und sie erst nach der Entlastung wieder genauer in Augenschein zu nehmen. Bei der augenscheinlichen Betrachtung von Außen war zu erkennen, dass die Anzahl der Risse in Querrichtung weiter zunahm und die bereits bestehenden weiter aufgingen. Es entstanden neue Risse in Richtung der Auflager, die jedoch immer noch einen Abstand von ca. 90 cm aufwiesen. Im mittleren Drittel gingen sie bereits in die Stege und ein Teil davon erreichte bereits ca. 2/3 der gesamten Steghöhe. Ein Riss in Längsrichtung konnte jedoch nicht beobachtet werden.

Die maximale Querkraft unter Gebrauchslast wurde bei der zweiten Laststufe zu knapp 116 % und die maximale Querkraft aus dem Bruchzustand zu fast 46 % erreicht. Risse im Auflagerbereich A (mit Gitterträger) als auch beim Auflager B (ohne Gitterträger) waren nicht zu erkennen. Dies galt für die Plattenunterseite als auch für die Stege.



Bild 2.1.2.6: Laststufe 3 der SVP 1-20-6,0

Mit dem Aufbringen der **Laststufe 3** sollten etwa 183 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und 87 % des rechnerischen Bruchmoments erreicht werden. Bevor sich bei der Platte jedoch ein Gleichgewicht einstellen konnte, setzte sich die Platte im südlichen Bereich in der Mitte auf die Abfangkonstruktion auf. Die in dieser Laststellung abgelesenen Messuhren sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	29,64	60,03	75,97	82,44	76,14	55,24	32,95	0,00
ges. Süd	0,00	31,45	60,87	79,28	86,66	81,90	64,63	34,82	0,00
Mittelwert	0,00	30,55	60,45	77,63	84,55	79,02	59,94	33,89	0,00

Tabelle 2.1.2.9: Gesamte Verformungen der SVP 1-20-6,0 aus der Laststufe 3

Die Risse gingen weiter auf, doch eine nennenswerte Zunahme der Rissbildung war nicht festzustellen. Die vorhandene Querkraft belief sich auf 147 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 58 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Sowohl im Stegbereich als auch an der Plattenunterseite war keine weitere Rissbildung in Auflagnähe festzustellen.

Die Versuchseinrichtung ließ keine weitere Durchbiegung mehr zu und der Versuchsaufbau konnte somit nicht fortgesetzt werden. Die Kalksandstein-Paletten wurden von der Platte soweit abgestapelt, bis nur noch die Positionen 1, 2, 4 und 5 in der ersten Ebene belegt waren. Am nächsten Tag konnte bei dieser Laststellung eine maximale

Durchbiegung von 6,9 cm mit dem Nivelliergerät gemessen werden. Die Durchbiegung in Feldmitte der Platte ging somit auf Grund der Entlastung über Nacht im Mittel um 1,55 cm zurück.

Am nächsten Tag wurde die Abfangkonstruktion um ca. 11 cm gesenkt, um größere Durchbiegungen zuzulassen. Aus Sicherheitsgründen wurden die Messuhren hingegen nicht mehr angebracht. Anschließend wurde die gleiche Laststellung wie am Vortag aufgebracht (1. Ebene voll und Laststellung 1, 5 in der zweiten Ebene). Das Gleichgewicht stellte sich nochmals bei einer maximalen Durchbiegung von 11,5 cm ein, das sind 3 cm mehr bei gleicher Belastung wie am Tag vorher.



Bild 2.1.2.7: Laststufe 4 der SVP 1-20-6,0



Bild 2.1.2.8: Gebrochene Druckzone der SVP 1-20-6,0

Beim Aufbringen der nächsten Kalksandstein-Palette auf die südliche Position 4 war bereits erkennbar, dass die Verformung in dem Maße zunahm, wie die Kalksandstein-Palette auf die SVP abgesetzt wurde. Das Versagen der Platte wurde durch das Ausbrechen der Druckzone in den Stegen hervorgerufen. Das rechnerische Bruchmoment konnte mit dieser Belastung nur knapp erreicht werden, während das maximale Moment im Gebrauchszustand zu fast 209 % erreicht war. In den Auflagerbereichen waren weiterhin keine Risse sowohl an den Stegen als auch an der Plattenunterseite zu erkennen, obwohl die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu 168 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu fast 67 % erreicht waren.

2.1.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

An Hand der Beschriftung auf der Platte kann man im *Bild 2.1.2.8* erkennen, dass die Druckzone nicht genau in Feldmitte versagte, sondern ca. 30 cm nach Osten versetzt, zwischen zwei Last einleitenden Palettenfüßen.

Die Detailaufnahme im *Bild 2.1.2.9* zeigt schön die Ausbruchkörper der Druckzonen in den Stegen eins und zwei im Süden der Versuchseinrichtung.



Bild 2.1.3.1: Druckzonenversagen der Stege 1 und 2 bei der SVP 1-20-6,0

Die Stegverbundplatte ist jedoch nicht nur in den Stegen, sondern auch auf Grund der starken Verformung im Plattenbereich durchgebrochen (*Bild 2.1.2.10*). Der dargestellt Riss verlief in Querrichtung und hatte eine Breite von über 4 mm. Bei genauerer Betrachtung war sogar der Stab der Querbewehrung leicht zu erkennen.



Bild 2.1.3.2: Gebrochene Platte der SVP 1-20-6,0

Stellt man aus den einzelnen Laststufen die maximalen Durchbiegungen in Feldmitte den dazugehörigen Momenten gegenüber, so ergibt sich folgendes Diagramm:

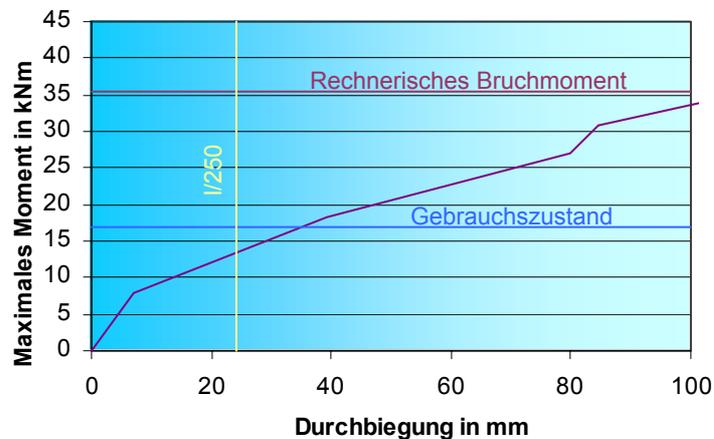


Diagramm 2.1.3.1: Gegenüberstellung der maximalen Durchbiegungen mit den Momenten aus den Laststufen der SVP 1-20-6,0

Wie bereits oben erwähnt, wurde das rechnerische Bruchmoment nur knapp erreicht, bevor die gesamte Platte auf Biegung versagte. Ebenso ist erkennbar, dass die zulässige Durchbiegung von $l/250$ (entspricht 2,4 cm bei einer Spannweite von 6,0 m) knapp vor dem Gebrauchszustand erreicht wurde. Dies war wahrscheinlich auf die bereits beschädigten Stege beim Ausschalen zurückzuführen.

Zwischen den unbewehrten und bewehrten Stegen konnten bei der Versuchsdurchführung weder an der Rissentwicklung noch an den Durchbiegungen Unterschiede festgestellt werden. Die eingebauten Gitterträger in den Stegen am Auflager A hatten somit keine erkennbare Wirkung auf das Tragverhalten. Lediglich vor der Versuchsdurchführung beim Auflegen der SVP auf das Mauerwerk machten sich die Gitterträger bemerkbar (siehe Punkt 2.1.1).

Die digitalen Messuhren zur Aufnahme der Verdrehung bzw. zum Messen von Dehnungen oder Stauchungen an den Stegen erwiesen sich bei der ersten Stegverbundplatte als nicht nützlich, da die gemessenen Werte zu unterschiedlich waren.

2.2 Stegverbundplatte 2-20-4,2

2.2.1 Herstellung der Stegverbundplatte



Bild 2.2.1.1 :
Detail Schraubverbindung

Die zweite Stegverbundplatte wurde am Freitag, den 30. August 2002, nachmittags betoniert. Die Längsbewehrung lag bei $2,92 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand $17,5 \text{ cm}$) und in Querrichtung von $2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 25 cm). Der BSt 500 der Längsbewehrung war wie bei der ersten Platte nur an einem Ende gekröpft ausgebildet. Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft lag bei $12,76 \text{ kN}$ pro Steg und erreichte den Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ($V_{\text{Rd,ct}} = 14,62 \text{ kN}$ pro Steg) zu 87% , so dass keine Querkraftbewehrung erforderlich war. Nachdem sich bei der vorherigen Platte kein Unterschied gezeigt hatte, wurde auf eine Stegbewehrung verzichtet. Nachdem die Stegschalungen beim Ausschalen der ersten Stegverbundplatte von den Grundträgern entfernt werden mussten, wurden diese Verbindungen durch Schraubanschlüsse ersetzt. Sollte die Schalung beim Abheben erneut verkantet, so könnten die Stegschalungen durch Lösen der Schrauben vom Rahmen entfernt werden. Der Rahmen und die Seitenteile der Stege könnten somit getrennt voneinander abgehoben und danach wieder miteinander verschraubt werden.

Aus der Erfahrung mit der ersten SVP wurde die Plattendicke diesmal auf 4 cm in die Steuerung des Betonierwagens eingegeben. Da man mit einem geringen Austreten des Betons unter der Schalung beim Verdichten der Stege rechnete, sollte sich die Plattenstärke somit auf 5 cm einstellen. Zum Verfüllen der Stege wurden die Öffnungsschieber des Betonierwagens, wie bei der ersten SVP, von Hand gesteuert. Da die Stege beim ersten Versuchskörper kleine Nester aufwiesen, versuchte man diesmal das Verdichten der Stege mittels Außenrüttler. Zuerst verdichtete man die Stege auf der kleineren Stufe, doch als man kurzzeitig auf die schnellere Stufe umschaltete, verflüssigte sich der Beton in den Stegen. Trotz sofortigem Stoppen des Rüttlers trat mehr Beton aus der Stegschalung als erwartet. Mittels Schaufel und Kelle wurde der größte Teil wieder in die Stegschalungen gebracht und nochmals vorsichtig mit dem Flaschenrüttler verdichtet. Wie man nach dem Ausschalen jedoch feststellte, variierte die Plattendicke zwischen 5 und 7 cm . Die zweite SVP wurde nach dem Betoniervorgang mit dem Kran in die Trockenkammer gefahren, bevor am nächsten Tag in der Frühe die Schalung kurz angehoben wurde. Die gesamte Schalung wurde hingegen erst am Montag abgehoben. Diesmal verkantete sie sich nicht und musste somit nicht auseinandergeschraubt werden.

Die SVP 2-20-4,2 wurde dann am Montag, den 2. September 2002, in der Fahrzeughalle auf die Versuchsvorrichtung gelegt. Diesmal waren die Haken in der Platte so angebracht, dass der Gabelstapler sie mittels Gehänge auf das Mauerwerk legen konnte. Durch den Transport und das Auflegen der SVP waren weder Risse an der Plattenunterseite noch in den Stegen erkennbar.

2.2.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Auch die zweite Stegverbundplatte sollte im Bauzustand bis zum Bruchmoment belastet werden. Wobei wiederum mit einer Zwischenstufe das maximale Moment aus der Gebrauchslast mit 8,33 kNm pro Steg erreicht werden sollte. Das Bemessungsmoment M_{Rd} nach der DIN 1045-1 lag bei 11,66 kNm pro Steg, so dass sich ein rechnerisches Bruchmoment von 17,49 kNm pro Steg ergab. Der Bemessungswert $V_{Rd,ct}$ der aufnehmbaren Querkraft lag bei 20,09 kN pro Steg. Hieraus ergab sich eine maximale Querkraft unter Gebrauchslast von 14,35 kN pro Steg und eine maximale Querkraft im Bruchzustand von 36,16 kN pro Steg. Das Belastungsschema zum Erreichen des Bruchmoments für die zweite Stegverbundplatte ist in der nachfolgenden Tabelle festgehalten:

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0	3,81	45,70	21,76	3,63	34,76	13,79
1	1, 3	4,78	8,59	103,09	49,09	8,14	77,95	30,93
2	1, 2, 3	9,06	12,87	154,48	73,56	10,4	99,59	39,52
3	1. Reihe voll, 2	13,34	17,15	205,87	98,03	12,66	121,23	48,11

Tabelle 2.2.2.1: Belastungsschema der SVP 2-20-4,2

Nachdem die zweite Stegverbundplatte analog der ersten gelagert wurde, kann auch hierfür die Festigkeit von 20 N/mm² und ein E-Modul von 15.000 N/mm² aus dem Diagramm herausgelesen werden. Das Eigengewicht der Platte betrug 2,9 t und war auf Grund der größeren Plattendicke höher als errechnet. Die mit dem Nivelliergerät gemessene Durchbiegung in Feldmitte, hervorgerufen durch das Eigengewicht, betrug 2 mm. Allein mit der Belastung durch das Eigengewicht wurde ein Moment in Feldmitte von 3,81 kNm erreicht, das etwa 46 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand entsprach. Bezogen auf das rechnerische Bruchmoment wurden fast 22 % erreicht.



Bild 2.2.2.1: Laststufe 0 der SVP 2-20-4,2

Interpoliert man den Wert der gemessenen Durchbiegung in Feldmitte in den Achtelpunkten der Stützweite, so ergeben sich folgende Durchbiegungen in mm:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Verformung	0,00	0,88	1,50	1,88	2,00	1,88	1,50	0,88	0,00

Tabelle 2.2.2.2: Verformungen aus dem Eigengewicht der SVP 2-20-4,2

Vergleicht man die vorhandene Durchbiegung von 2 mm mit dem zulässigen Wert von 1,68 cm ($l/250$), so sind gerade 12 % davon erreicht. Die rechnerischen Durchbiegungen der Laststufe 0 für die Zustände I und II sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Zustand I	0,00	0,80	1,50	2,00	2,10	2,00	1,50	0,80	0,00
Zustand II	0,00	1,14	2,14	2,86	3,00	2,86	2,14	1,14	0,00

Tabelle 2.2.2.3: Rechnerische Verformungen der SVP 2-20-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

Das Diagramm stellt die gemessenen Verformungen den rechnerischen gegenüber:

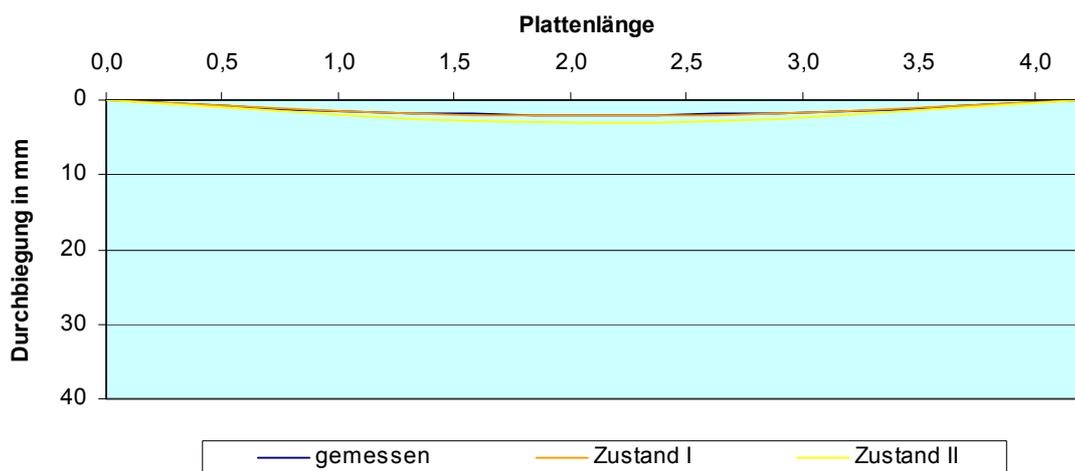


Diagramm 2.2.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 2-20-4,2 aus der Laststufe 0

Da keine Risse an dem Versuchskörper erkennbar waren, ist davon auszugehen, dass sich die Platte im Zustand I befand. Der Vergleich der rechnerischen Durchbiegungen im Zustand I bestätigen dies, da sie gegenüber den gemessenen Werten kaum abweichen.

Die durch das Eigengewicht aufgebrachte Querkraft von 3,63 kN pro Steg entsprach knapp 35 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und somit 14 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Nach dem Einrichten der Messuhren wurde die *erste Laststufe* mit der Palettenstellung 1 und 3 aufgebracht. Mit diesen vier Kalksandstein-Paletten erreichte man knapp 103 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast. Stellt man das maximale Moment dem rechnerischen Bruchmoment gegenüber, so wurden knapp 49 % erreicht.



Bild 2.2.2.2: Laststufe 1 der SVP 2-20-4,2

Nachdem die Messuhren zum Stillstand gekommen waren und sich das System im Gleichgewicht befand, wurden die Werte abgelesen und zur Vorverformung aus dem Eigengewicht addiert. Die Durchbiegungen der Platte aus der Laststufe 1 sind in der nachfolgenden Tabelle aufgezeichnet:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	4,17	7,05	9,50	10,05	8,88	6,62	3,98	0,00
ges. Süd	0,00	3,68	6,59	9,14	9,87	8,90	6,50	3,93	0,00
Mittelwert	0,00	3,92	6,82	9,32	9,96	8,89	6,56	3,95	0,00

Tabelle 2.2.2.4: Verformungen der SVP 2-20-4,2 aus der Laststufe 1

Mit einer mittleren Durchbiegung von knapp 1 cm ist der zulässige Wert von 1,68 cm zu etwa 62 % erreicht. Die rechnerischen Durchbiegungen sind in der unten stehenden Tabelle aufgelistet:

Zustand I	0,00	2,00	3,60	4,70	5,10	4,70	3,60	2,00	0,00
Zustand II	0,00	2,86	5,14	6,71	7,29	6,71	5,14	2,86	0,00

Tabelle 2.2.2.5: Rechnerische Verformungen der SVP 2-20-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

Zum besseren Vergleich sind die Werte aus den zwei vorherigen Tabellen graphisch zusammengefasst:

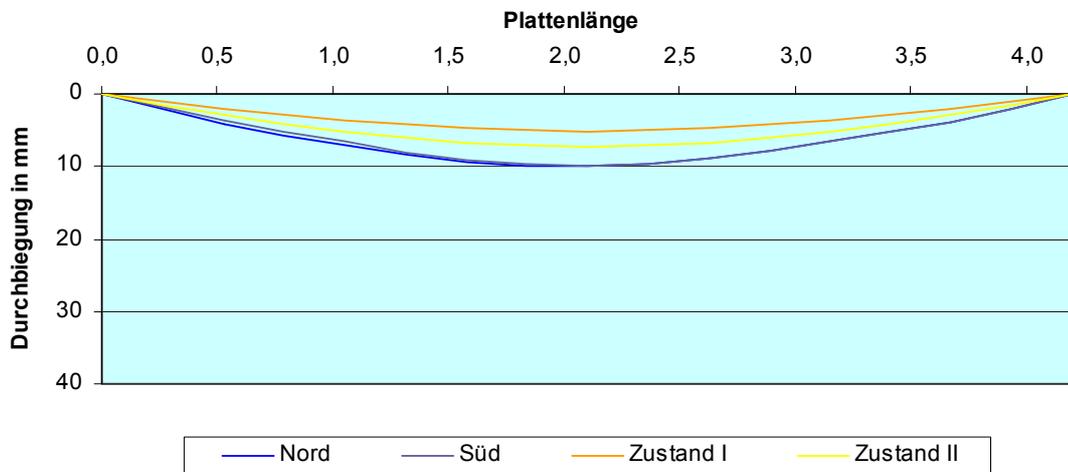


Diagramm 2.2.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 2-20-4,2 aus der Laststufe 1

Das dazugehörige Rissbild ist nachfolgend gegenübergestellt:

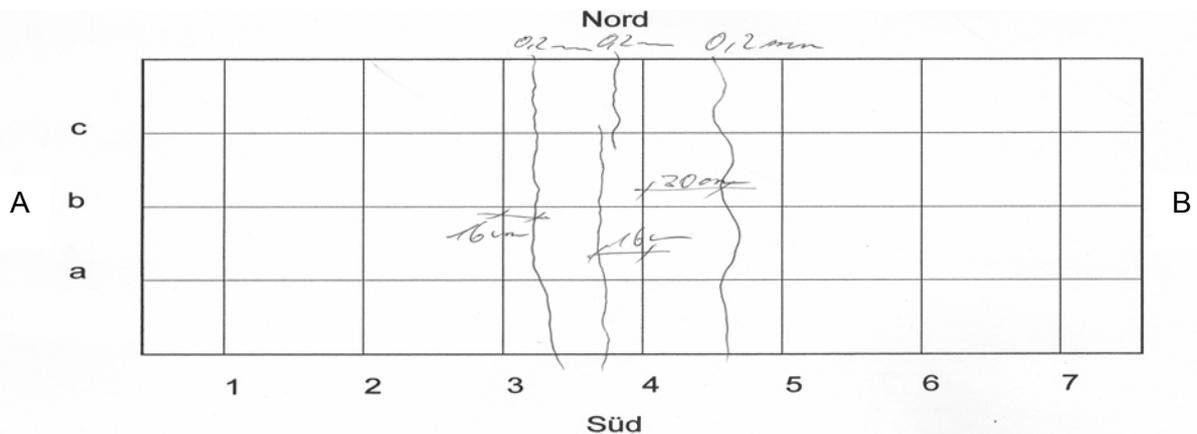


Bild 2.2.2.5: Neu entstandene Risse der SVP 2-20-4,2 aus der Laststufe 1

Die Platte war, wie man am Rissbild zu erkennen war, im mittleren Bereich in den Zustand II übergegangen. Der Vergleich der rechnerischen Durchbiegungen im Zustand II mit den gemessenen weist Abweichungen von ca. 2,5 mm auf.

Die Betrachtung des Rissbildes zeigt, dass sich die ersten Risse in Feldmitte gebildet hatten und eine Rissweite von 0,2 mm aufwiesen. Der Abstand der Risse betrug 16 bzw. 20 cm. Vergleicht man diese mit dem Abstand der Querbewehrung von 25 cm, so ist herauszulesen, dass vermutlich in der Nähe dieser Risse die Rundstäbe der Querbewehrung lagen. Die Risse waren nicht nur an der Unterseite der Platte zu sehen, sondern verliefen bereits bis zur Oberkante der Fertigteilplatte.

Die am Auflager auftretende Querkraft von 8,14 kN pro Steg entsprach knapp 78 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und etwa 31 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Eine Rissbildung an den Stegen konnte nicht beobachtet werden.

Für die **zweite Laststufe** wurden zwei Kalksandstein-Paletten auf die Position 2 aufgebracht, so dass die erste Ebene geschlossen war. Das Moment in Feldmitte stieg dadurch auf 12,87 kNm an, das ca. 154 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und somit 74 % vom rechnerischen Bruchmoment entsprach.



Bild 2.2.2.6: Laststufe 2 der SVP 2-20-4,2

Die hierdurch entstandenen Durchbiegungen sind in der unten stehenden Tabelle aufgelistet:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	13,14	24,54	34,08	37,10	33,40	24,10	13,30	0,00
ges. Süd	0,00	11,52	22,54	32,53	36,64	33,79	23,95	13,74	0,00
Mittelwert	0,00	12,33	23,54	33,30	36,87	33,59	24,03	13,52	0,00

Tabelle 2.2.2.6: Gesamte Verformungen der SVP 2-20-4,2 aus der Laststufe 2

Die mittlere Durchbiegung in Feldmitte stieg von 9,96 mm auf 36,87 mm an, das einem Faktor von 3,7 entsprach. Die rechnerischen Durchbiegungen der Laststufe 2 sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst:

Zustand I	0,00	2,80	5,10	6,70	7,20	6,70	5,10	2,80	0,00
Zustand II	0,00	4,00	7,29	9,57	10,29	9,57	7,29	4,00	0,00

Tabelle 2.2.2.7: Rechnerische Verformungen der SVP 2-20-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 2

Die graphische Gegenüberstellung der rechnerischen zu den gemessenen Durchbiegungen ist im nachfolgenden Diagramm dargestellt:

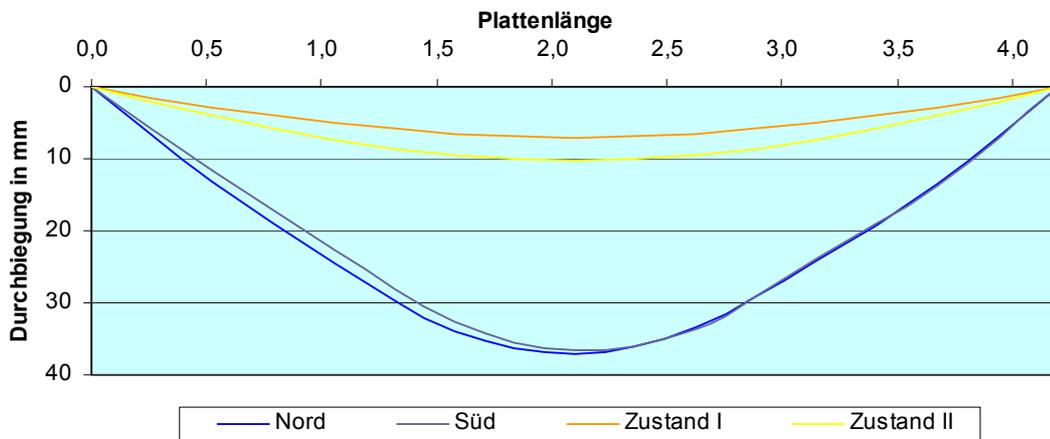


Diagramm 2.2.2.3: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 2-20-4,2 aus der Laststufe 2

Die große Zunahme der Durchbiegung ist auf das Überschreiten des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und der damit verbundenen starken Rissentwicklung zurückzuführen. Der große Unterschied zu den rechnerischen Durchbiegungen im Zustand II beruhte daher, dass die Annahme ($I_{II} = 0,7 \cdot I_I$) nur für den Gebrauchszustand gültig war, da die höheren Belastungen zu größeren Krümmungen und Durchbiegungen führten, wie die Praxis zeigte.

Die neu entstandenen Risse an der Plattenunterseite bei der Laststufe 2 zeigen das nachfolgende Bild:

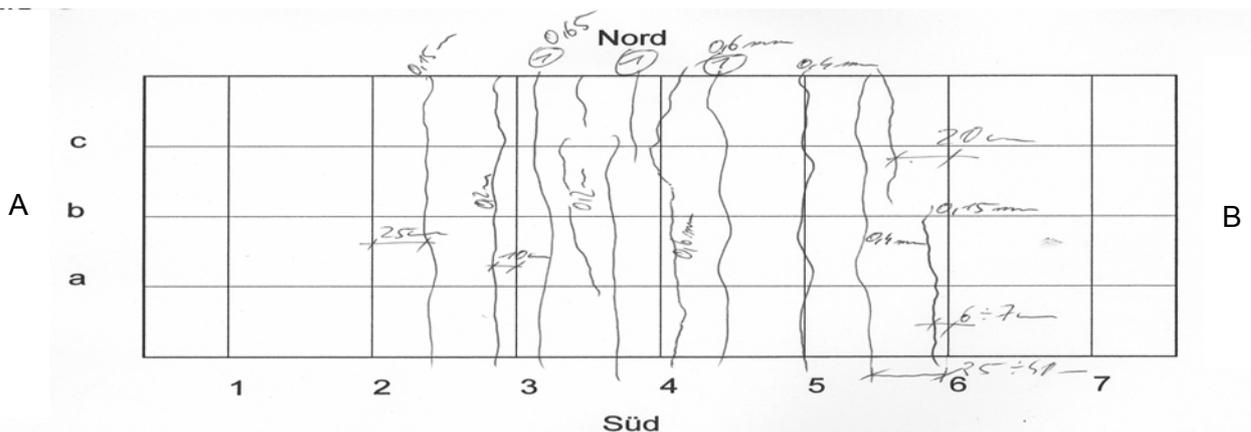


Bild 2.2.2.7: Rissbild der SVP 2-20-4,2 bei der Laststufe 2

Die Risse aus der Laststellung 1 gingen von 0,2 mm auf 0,60 mm bzw. 0,65 mm auf. Außerdem entstand eine große Anzahl neuer Risse, die bereits Rissweiten von 0,15 bis 0,4 mm aufwiesen. An der Plattenoberseite waren im mittleren Plattenbereich Risse vorhanden, die bereits zu ca. 2/3 in die Stege führten. Bei diesen Rissen handelte

es sich sowohl um welche, die bei der Laststufe 1 entstanden sind, als auch um welche, die neu hinzukamen. Anhand der Rissbildung und Rissweiten war deutlich zu erkennen, dass der Gebrauchszustand überschritten war und sich die Platte nahe am Bruchmoment befand.

Die am Auflager einwirkende Querkraft von 10,4 kN erreichte knapp 100 % von der maximalen Querkraft in Folge Gebrauchslast und etwa 40 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Im Auflagerbereich waren dennoch keine Risse zu erkennen. Der erste Riss war in einem Abstand von ca. 1,0 m, gemessen von der Achse des Auflager B, zu verzeichnen.

Für die *dritte Laststufe* war das Aufbringen der Paletten auf die Positionen 1 und 3 in der zweiten Ebene vorgesehen, doch beim Auflegen der ersten Kalksandstein-Palette im Norden auf die Position 1 war ein schnelles Absinken der SVP erkennbar. Beim Aufsetzen der 2. Palette auf die südliche Position 1 setzte sich die Platte auf die Abfangkonstruktion auf. Das Moment in Feldmitte wäre auf Grund dieser Laststellung bei 15,25 kNm gelegen, das etwa 183 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast und 87 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Da jedoch kein deutliches Versagensbild erkennbar war, wurden die zwei Paletten der zweiten Ebene wieder abgehoben. Die Durchbiegung der SVP ging durch die Entlastung um ca. 4 cm zurück, so dass die Abfangkonstruktion wieder frei war und abgesenkt werden konnte. Aus Sicherheitsgründen wurden nun die Messuhren abgebaut, da man beim Aufbringen der nächsten Laststufe mit dem Bruch der Stegverbundplatte rechnete.

Nun wurde eine Kalksandstein-Palette in Feldmitte auf die Position 2 gestellt. Nach dem Belasten der Stegverbundplatte mit einer weiteren Palette auf der südlichen Position in Feldmitte war deutlich zu erkennen, wie die Platte erneut in dem Maße nach unten ging, wie der Belastungskörper aufgebracht wurde. Die Platte ging solange nach unten, bis sie erneut auf der Abfangkonstruktion aufsaß. Nun war der Ausbruch der Druckzone wie bei der ersten Platte erkennbar. Mit dem Aufbringen der beiden Paletten wurde in Feldmitte ein Moment von 17,15 kNm erzeugt, das fast 206 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 98 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach.



Bild 2.2.2.8: Ausbruch der Druckzone der SVP 2-20-4,2

2.2.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Im oberen Bild ist zu erkennen, dass die Druckzone diesmal in der Mitte der SVP versagte. Dies ist auf die mittige Belastung der zweiten Ebene zurückzuführen. Risse in Längsrichtung waren nicht erkennbar.

Risse an der Plattenoberseite gingen bei den äußeren Stegen von der Seite der Platte bis zur Vertiefung der Verzahnung. Im Bild rechts ist ein Riss in Feldmitte zu erkennen, der zwischen den Stegen in der Platte verlief und fast in die Ausbruchzone des nächsten Steges mündete.



Bild 2.2.3.1: Rissbildung an der Plattenoberseite und Plattenrand



Bild 2.2.3.2: Rissbildung an der Plattenoberseite zwischen den Stegen

Bei der Rissbetrachtung an der Plattenunterseite waren ebenfalls nur Risse in Querrichtung zu erkennen. Das nächste Bild zeigt jedoch deutlich, dass die Risse entlang der eingelegten Querbewehrung verliefen. Ein Riss war so weit aufgegangen, dass man den Stab der Querbewehrung erkennen konnte.



Bild 2.2.3.3: Detailaufnahme Querriss an der Plattenunterseite der SVP 2-20-4,2

Die zweite Stegverbundplatte konnte das rechnerische Bruchmoment nur zu 98 % erreichen, obwohl die Stege diesmal keine Schädigungen durch das Ausschalen aufwiesen. Nach der ersten Laststufe (etwa Gebrauchszustand) waren nur vier Risse vorhanden und die Rissweiten lagen bei 0,2 mm. Bei der zweiten Laststufe (ca. 1,5-faches maximales Moment im Gebrauchszustand) hingegen war der Momentenzuwachs durch die aufgebrachte Last sehr groß, so dass die Anzahl der Risse und deren Weiten drastisch anstiegen. Mit dem Aufbringen der dritten Laststufe konnte das rechnerische Bruchmoment nicht ganz erreicht werden, obwohl die Betondruckzone versagte.

Das unten stehende Diagramm stellt die Durchbiegungen in Feldmitte aus den einzelnen Laststufen den zugehörigen Momenten gegenüber. Zur übersichtlicheren Gestaltung gibt das Diagramm nur den Ausschnitt bis zu einer Durchbiegung von 4 cm wieder. Weiterhin wurden die Durchbiegungen nur bis zur zweiten Laststufe gemessen (im Mittel 3,7 cm). Die Durchbiegung war mit dem Erreichen des Bruchmoments nicht mehr messbar, da die Betondruckzone versagte. Die Kurve tangiert somit die Bruchlast im Unendlichen.

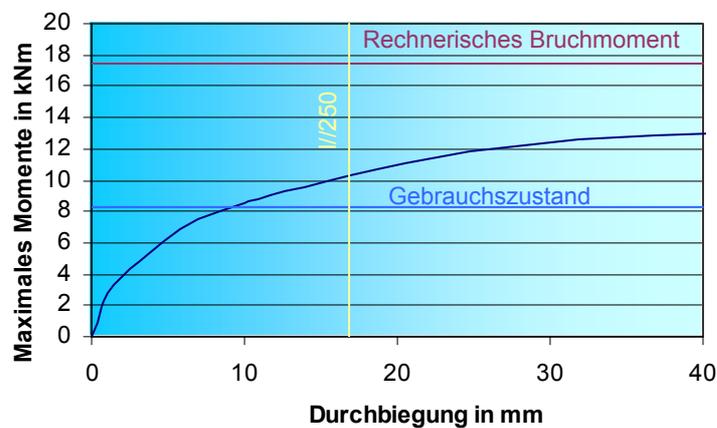


Diagramm 2.2.3.1: Gegenüberstellung der maximalen Durchbiegungen mit den zugehörigen Momenten aus den Laststufen der SVP 2-20-4,2

Wie das Diagramm zeigt, war beim Erreichen vom Gebrauchszustand die zulässige Durchbiegung von 1,68 cm noch nicht erreicht.

Im nachfolgenden Diagramm sind die Rissweiten den einzelnen Laststufen und Momenten gegenübergestellt. In das Diagramm sind nur die größten Rissweiten der Platte aufgenommen. Die Anzahl der Risse geht hier nicht mit ein.

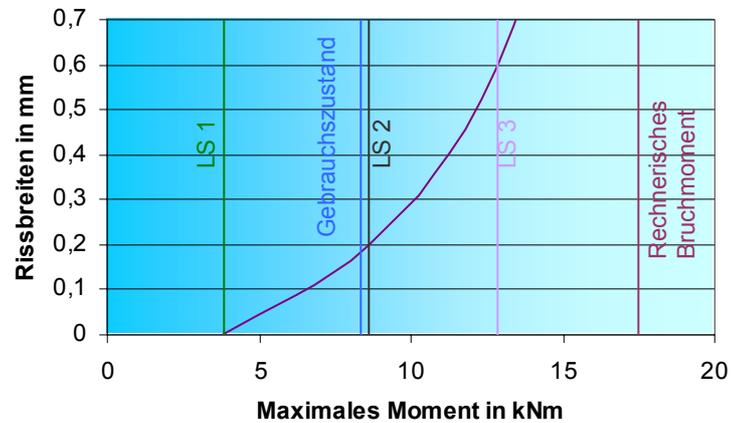


Diagramm 2.2.3.2: Gegenüberstellung der maximalen Rissweiten mit den zugehörigen Momenten aus den Laststufen der SVP 2-20-4,2

Aus dem oben stehenden Diagramm lässt sich die Rissweite bei der Gebrauchslast von 0,19 mm ablesen. Für die Anforderungsklassen XC2, XC 3 und XC 4, bei denen die Stegverbundplatte am häufigsten eingesetzt wird, ist nach der DIN 1045-1 aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit eine Rissbreitenbeschränkung von 0,3 mm vorgegeben. Mit dem Wert von 0,19 mm liegt die zweite Stegverbundplatte deutlich darunter.

2.3 Stegverbundplatte 3-16-6,0

2.3.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die SVP 3-16-6,0 wurde am Montag, den 2. September 2002, in der Frühe betoniert. Die Bewehrung in Längsrichtung lag bei $7,48 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand $10,5 \text{ cm}$) und in Querrichtung bei $2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 25 cm). Die erforderliche Tragfähigkeit für die Stützweite von $6,0 \text{ m}$ kann bei einer Steghöhe von 16 cm nur mit dem Einsatz von Druckbewehrung erreicht werden. Hierzu waren $2,26 \text{ cm}^2$ ($2 \varnothing 12 \text{ mm}$) pro Steg erforderlich. Zu diesem Zweck wurden in allen vier Stegen KT-800 Gitterträger mit einer Höhe von 11 cm über die gesamte Steglänge eingebaut. An die Obergurte ($\varnothing 12 \text{ mm}$) wurde ein weiterer Rundstahl mit 12 mm Durchmesser angebunden, so dass die $2,26 \text{ cm}^2$ an Druckbewehrung erreicht wurden. Aus statischer Sicht stand der einwirkenden Querkraft von $13,77 \text{ kN}$ der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft von $16,77 \text{ kN}$ entgegen, so dass keine Querkraftbewehrung erforderlich war. Der Einbau der Gitterträger vereinfachte nicht nur die Befestigung der Druckbewehrung, sondern sollte nochmals Aufschluss über ein verändertes Tragverhalten mit Querkraftbewehrung in den Stegen geben. Die vorigen Versuche zeigten bereits deutlich, dass keine Querkraftbewehrung in den Stegen erforderlich war, da die Stegverbundplatten zuerst auf Biegung versagten, bevor im Auflagerbereich überhaupt Risse zu erkennen waren.

Die dritte SVP war die erste Platte, die mit verringerter Steghöhe hergestellt wurde. Da die Höhe der Stegschalung fix auf eine Gesamtsteghöhe von 20 cm ausgelegt war, wurden die Stege mit niedriger Höhe zunächst per Augenmaß mit dem Betonierwagen verfüllt und anschließend mittels Flaschenrüttler verdichtet. Danach wurde der Beton mit einer Holzschablone, die einer T-Form glich, auf die entsprechende Höhe abgezogen. Mit dieser Schablone konnte zwar die Stegbreite auf die geforderte Höhe abgezogen werden, doch der Beton blieb zum Teil in der Verzahnung stehen. Dies hatte zur Folge, dass vor der Versuchsdurchführung der überstehende Beton an den Zähnen abgeklopft werden musste, um eine gerade Auflagerfläche für die Kalksandstein-Paletten zu schaffen.



Bild 2.3.1.1: Holzschablone



Bild 2.3.1.2: Erhöhte Stegverzahnung

Die Plattenstärke wurde diesmal auf 4,5 cm in den Computer für die Steuerung des Betonierwagens eingegeben. Das Verfüllen der Stege konnte weiterhin nur durch Steuerung des Betonierwagens per Hand vorgenommen werden. Die Platte wurde mittels Außenrüttler und die Stege mit Hilfe eines Flaschenrüttlers verdichtet. Die SVP wurde nach dem Betonieren in die Härtekammer gefahren, bevor sie dann am gleichen Abend wieder herausgeholt wurde, um die Schalung abzuheben. Die SVP wurde anschließend wieder zurück in die Härtekammer gebracht, bevor sie am nächsten Tag in der Frühe auf dem Hof zwischengelagert wurde. Das Herstellen der Versuchsplatten in dieser Reihenfolge bewies sich als die beste Variante, da sich die Schalung beim Abheben nicht mehr verkantete und der Beton der Stege schon so weit ausgehärtet war, dass es zu keinen Schädigungen durch den Abhebevorgang kam. Die Schalung konnte außerdem noch am Abend gesäubert werden, so dass sie am nächsten Tag wieder sauber zur Verfügung stand. Das Einstellen der Plattenstärke auf 4,5 cm erwies sich auch als optimal, da immer etwas Beton beim Verdichten der Stege unten aus der Schalung floss und sich dadurch die geforderte Plattenstärke von 5 cm einstellte. Die restlichen Versuchskörper wurden alle nach diesem Ablaufschema produziert.

2.3.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Die SVP wurde zwei Tage später am Mittwoch, den 4. September 2002, auf die Versuchsvorrichtung aufgelegt und sollte im Bauzustand bis zum Bruchmoment belastet werden. Hierzu wurde das Gehänge des Gabelstaplers an den Transporthaken befestigt und die Platte auf die Versuchseinrichtung gelegt. Das durchgeführte Belastungsschema für die SVP 3-16-6,0 ist in der unten stehenden Tabelle zusammengefasst:

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0	7,24	50,99	24,28	4,80	40,07	15,90
1	1 N	1,98	9,22	64,94	30,93	8,65	72,21	28,66
2	1	1,98	9,22	64,94	30,93	8,65	72,21	28,66
3	1, 5	3,97	11,21	78,97	37,60	9,31	77,72	30,84
4	1, 5, 4(1/2)	6,40	13,64	96,09	45,76	11,04	92,16	36,57
5	1, 5, 4N	8,34	15,58	109,76	52,26	12,36	103,18	40,95
6	1, 5, 4	8,34	15,58	109,76	52,26	12,36	103,18	40,95
7	1, 5, 4, 2S(1/2)	10,78	18,02	126,95	60,45	13,20	110,20	43,73
8	1, 5, 4, 2(1/2)	10,78	18,02	126,95	60,45	13,20	110,20	43,73
9	1, 5, 4, 2S	12,72	19,96	140,62	66,96	13,82	115,37	45,78
10	1, 5, 4, 2	12,72	19,96	140,62	66,96	13,82	115,37	45,78
11	1, 5, 4, 2, 3(1/2)N	16,23	23,47	165,35	78,74	14,07	117,46	46,61
12	1, 5, 4, 2, 3(1/2)	16,23	23,47	165,35	78,74	15,07	125,81	49,92
13	1, 5, 4, 2, 3	19,03	26,27	185,08	88,13	16,10	134,41	53,34
14	1. Reihe voll, 3(1/2)	22,43	29,67	209,05	99,55	17,35	144,84	57,48

Tabelle 2.3.2.1: Belastungsschema der SVP 3-16-6,0

Die Belastung der Platte war in 14 Stufen unterteilt. Bei diesem Versuchskörper wurde auch die Querverteilung der Platte untersucht. Hierzu wurde nur eine Palette entweder auf die zwei nördlichen oder südlichen Stege gestellt. Die Buchstaben N und S bei der Laststellung der KS-Paletten geben die Himmelsrichtung an, an der diese eine Palette aufgestellt wurde. Bei den Zwischenlaststufen sind das angegebene Moment und die Querkraft auf die belasteten Stege bezogen.

An Hand der entnommenen Würfeln und Zylinder konnte aus dem Diagramm eine Würfeldruckfestigkeit von 20 N/mm^2 und ein E-Modul von 15.000 N/mm^2 abgelesen werden. Die Platte wies nur eine kleine Schädigung an der Unterseite auf. Hier wurde ein kleines Betonstück beim Abheben der SVP aus der Schalung herausgerissen. Dies ist im Rissbild der zweiten Laststufe gekennzeichnet. Es waren sonst keine Risse an der Platte und in den Stegen aus der Belastung durch das Eigengewicht ersichtlich.



Bild 2.3.2.1: Laststufe 0 der SVP 3-16-6,0

Nach dem Aufschlagen des Netzes mittels Schlagschnur an der Plattenunterseite und dem Einrichten der Messuhren wurde mit dem Nivelliergerät der Stich in Feldmitte von $1,33 \text{ cm}$ gemessen. Das Eigengewicht der Platte betrug $3,86 \text{ t}$ und verursachte somit ein Moment von $7,24 \text{ kNm}$, das etwa 51% des maximalen Moments im Gebrauchszustand entspricht. Die Durchbiegungswerte sind in den Achtpunkten an Hand einer quadratischen Parabel interpoliert und in der unten stehenden Tabelle aufgelistet:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Verformung	0,00	5,80	9,90	12,40	13,30	12,40	9,90	5,80	0,00

Tabelle 2.3.2.2: Verformungen aus dem Eigengewicht der SVP 3-16-6,0

Mit der maximalen Durchbiegung von $1,33 \text{ cm}$ in Feldmitte wurden etwa 55% der zulässigen Durchbiegung ($l/250 = 2,4 \text{ cm}$) erreicht. Den vorhandenen Durchbiegungswerten aus oben stehender Tabelle werden die rechnerischen in der nachfolgenden Tabelle gegenübergestellt:

Zustand I	0,00	6,40	11,80	15,30	16,50	15,30	11,80	6,40	0,00
Zustand II	0,00	9,14	16,86	21,86	23,57	21,86	16,86	9,14	0,00

Tabelle 2.3.2.3: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

Die graphische Gegenüberstellung ist im untenstehenden Diagramm zusammengefasst:

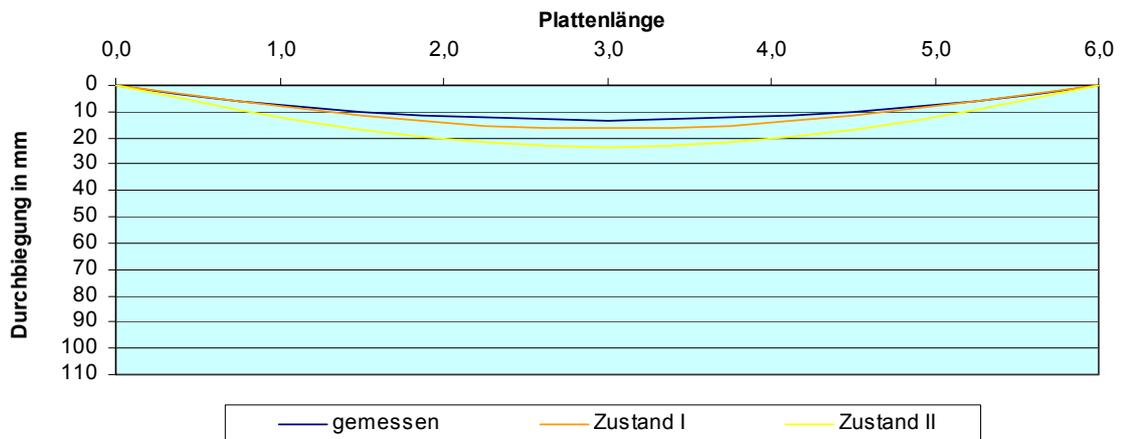


Diagramm 2.3.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 0

Das Diagramm zeigt, dass die gemessenen Werte unter den rechnerischen im Zustand I lagen. Die vorhandene Querkraft liegt mit 4,8 kN pro Steg bei 40 % der maximalen Querkraft in Folge Gebrauchslast und bei knapp 16 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. An der Plattenunterseite waren keine Risse erkennbar, das gleiche galt auch für die Oberseite und die Stege. Die SVP befand sich somit im Zustand I und bestätigte die Aufzeichnungen.

Bei der *Laststufe 1* sollte mit dem Aufbringen von nur einer Palette auf die Position 1 Nord die Querverteilung der Platte untersucht werden. Nachdem die Messuhren zum Stillstand gekommen waren und sich das System im Gleichgewicht befand, wurden die Messuhren abgelesen. In der unten stehenden Tabelle ist bereits die Vorverformung aus dem Eigengewicht zu den Messwerten addiert.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	8,63	14,62	17,52	18,58	16,80	13,01	7,43	0,00
ges. Süd	0,00	6,99	12,46	15,88	16,93	15,61	12,12	6,93	0,00
Mittelwert	0,00	7,81	13,54	16,70	17,76	16,21	12,57	7,18	0,00

Tabelle 2.3.2.4: Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 1

Den gemessenen Durchbiegungen werden die Werte in den Achtelpunkten aus der Berechnung gegenübergestellt:

Zustand I	0,00	9,00	16,20	20,60	21,70	19,80	15,10	8,10	0,00
Zustand II	0,00	12,86	23,14	29,43	31,00	28,29	21,57	11,57	0,00

Tabelle 2.3.2.5: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

Graphisch sieht die Situation der Durchbiegungen bei der Laststufe 1 wie folgt aus:

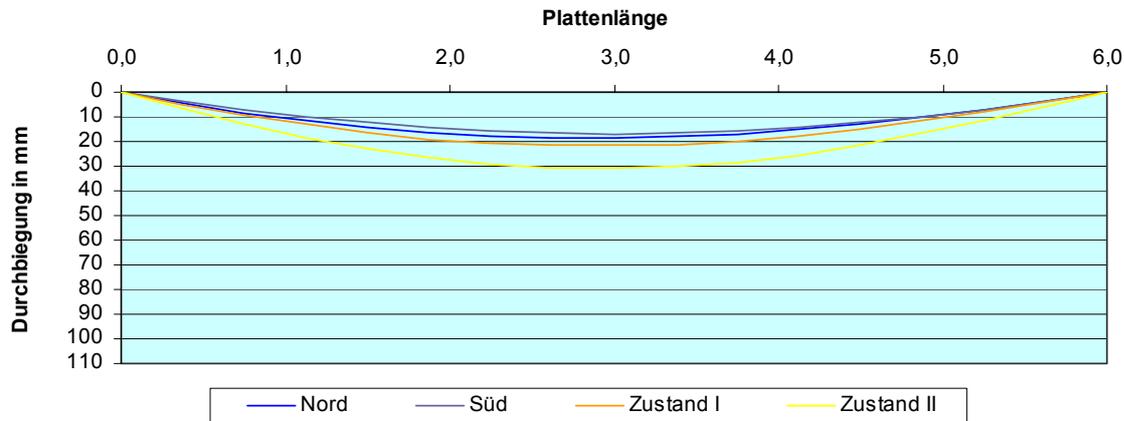


Diagramm 2.3.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 1

Bei der Rissbetrachtung an der Plattenunterseite waren in Feldmitte Harrisse zu erkennen. In einem Abstand von 2,70 m vom Auflager A verlief ein Riss bereits über die gesamte Plattenbreite, während die anderen immer wieder unterbrochen waren. Nachdem sich an der Plattenunterseite Risse gebildet hatten, war die Platte in den Zustand II übergegangen.

Wie das Diagramm und die beiden Tabellen jedoch zeigen, lag die vorhandene Durchbiegung unter den rechnerischen Werten für den Zustand I. Bei der Betrachtung der gemessenen Werte war ein Unterschied zwischen der südlichen und nördlichen Messuhr in Feldmitte von 1,64 mm zu erkennen. Setzt man den Momentenzuwachs von 27 % ins Verhältnis zu dem Unterschied der gemessenen Durchbiegung, so ergibt sich, dass 64 % der einseitigen Last vom Gesamtsystem gleichmäßig abgetragen wurden und somit 36 % einseitig.

Die vorhandene mittlere Durchbiegung von 1,8 cm lag bei 75 % der maximalen zulässigen Durchbiegung von 2,40 cm. Das auf die beiden nördlichen Stege wirkende Moment in Feldmitte lag rechnerisch ohne Berücksichtigung der Querverteilung bei 9,22 kNm und entsprach ca. 65 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand. Dem rechnerischen Bruchmoment gegenübergestellt waren dies ca. 31 %.

Die maximal auftretende Querkraft im Auflagerbereich A erreichte rechnerisch ohne Berücksichtigung der Querkraft ca. 72 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 29 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Risse waren in diesem Bereich nicht zu erkennen.



Bild 2.3.2.2: Laststufe 2 der SVP 3-16-6,0

Bei der *Laststufe 2* wurde die Palettenposition 1 auch im Süden besetzt. Die sich daraus ergebenden Durchbiegungen sind in der unten stehenden Tabelle aufgelistet:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	10,59	18,85	22,75	23,90	21,39	16,16	9,07	0,00
ges. Süd	0,00	10,30	18,46	22,87	23,82	21,45	16,31	9,24	0,00
Mittelwert	0,00	10,45	18,66	22,81	23,86	21,42	16,24	9,16	0,00

Tabelle 2.3.2.6: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 2

Die rechnerischen Durchbiegungen in den Achtpunkten sind denen aus der *Tabelle 2.3.2.5* identisch. Das dazugehörige Diagramm ist nachfolgend dargestellt:

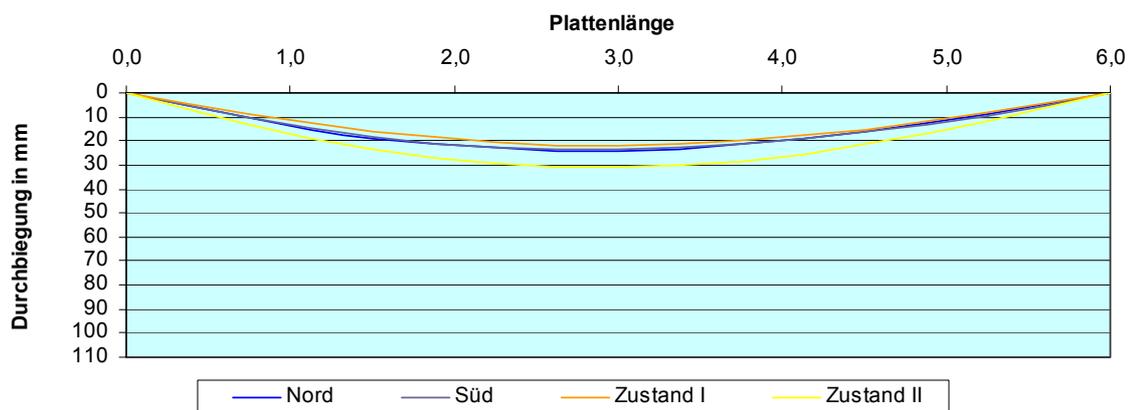


Diagramm 2.3.2.3: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 2

Durch das Aufbringen der Kalksandstein-Palette auf die beiden südlichen Stege, hat die Durchbiegung leicht zugenommen, so dass die maximal zulässige Durchbiegung von 2,40 cm erreicht war. Der Unterschied von den nördlichen zu den südlichen Messuhren hatte sich wieder aufgehoben, so dass eine gleichmäßige Durchbiegung an der Platte vorhanden war. Betrachtet man das Diagramm, so ist zu erkennen, dass die gemessenen Werte nun etwas größer waren als die rechnerischen aus dem Zustand I. Die Werte aus dem Zustand II lagen dennoch relativ weit weg.

Das Rissbild der Laststufe 2 ist unten stehend dargestellt:

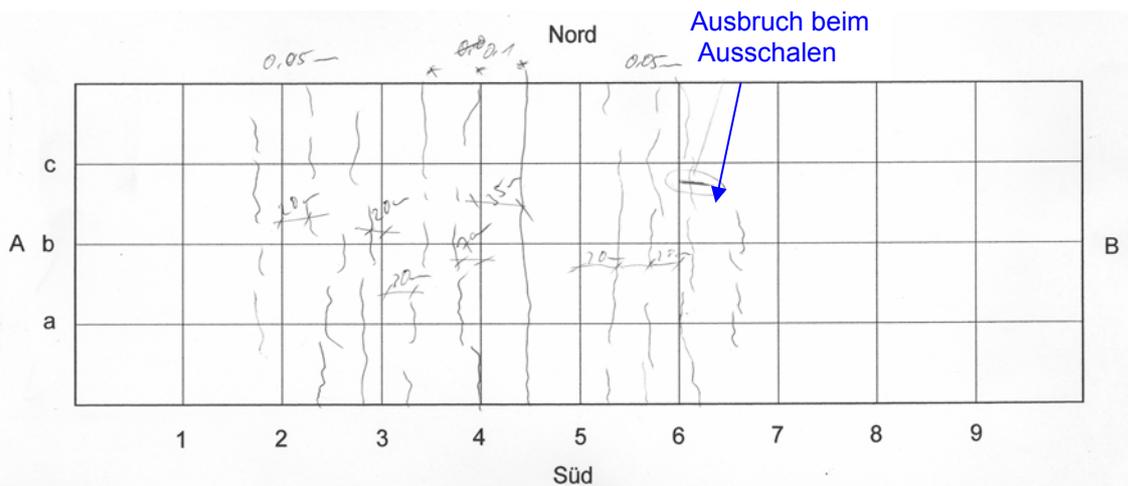


Bild 2.3.2.3: Rissbild der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 2

Die Betrachtung des Rissbildes zeigt, dass die Anzahl der Risse durch die Belastung der Platte mit der zweiten Kalksandstein-Palette, gegenüber der ersten Laststufe, sehr stark zugenommen hat. Die Rissweiten lagen bei 0,05 mm und 0,1 mm. Der Rissabstand lag zwischen 20 und 50 cm und war noch nicht direkt dem Abstand der Querverbreitung zuzuordnen. Im Bereich c - b, 6 - 7 ist ein waagrechter Strich im Rissbild zu erkennen. Dies stellt den Ausbruch des Betons dar, der durch das Abheben der Platte aus der Stahlpalette entstanden war. Die meisten Risse verliefen noch nicht über die ganze Plattenbreite, sondern waren unterbrochen. Die Querrisse verliefen maximal bis zu ca. 1,00 m an das Auflager. Es waren noch keine Risse an der Plattenoberseite und an den Stegen zu erkennen

Das angegebene Moment und die Querkraft beziehen sich immer nur auf die belasteten Stege, so dass kein Zuwachs zu verbuchen war. Das unter der ersten Laststufe angegebene Moment wurde nun auf jedem der vier Stege erzeugt.



Bild 2.3.2.4: Laststufe 3 der SVP 3-16-6,0

Bei der *dritten Laststufe* wurden zwei Kalksandstein-Paletten auf die Position 5 gestellt, so dass die Platte wieder symmetrisch belastet war. Hierdurch wurde ein Moment von 11,21 kNm in Feldmitte erzeugt. Dies waren 79 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und etwa 38 % vom rechnerischen Bruchmoment.

Die nachfolgende Tabelle gibt die Durchbiegungen aus der Laststufe 3 wieder:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	15,25	29,14	36,74	39,71	36,87	28,66	16,21	0,00
ges. Süd	0,00	15,24	28,59	36,70	39,88	37,46	29,43	17,13	0,00
Mittelwert	0,00	15,25	28,87	36,72	39,80	37,17	29,05	16,67	0,00

Tabelle 2.3.2.7: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 3

Die rechnerischen Werte in den Zuständen I und II durch die Belastung auf die Positionen 1 und 5 sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Zustand I	0,00	10,80	19,50	25,10	27,00	25,10	19,50	10,80	0,00
Zustand II	0,00	15,43	27,86	35,86	38,57	35,86	27,86	15,43	0,00

Tabelle 2.3.2.8: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 3

Vergleicht man die beiden Tabellen miteinander, so ist deutlich zu erkennen, dass die gemessenen Durchbiegungen sehr nahe an den Rechenwerten für den Zustand II lagen. Die maximale Durchbiegung in Feldmitte von knapp 4 cm ist schon fast um den Faktor 1,7 höher als die zulässige Durchbiegung von 2,40 cm.

Das nachfolgende Diagramm veranschaulicht die Inhalte der beiden oben stehenden Tabellen:

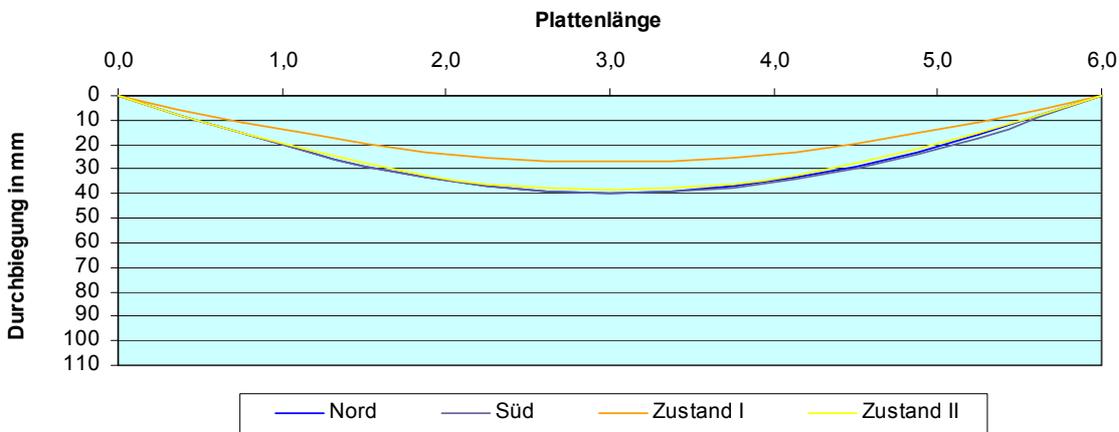


Diagramm 2.3.2.4: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 3

Das unten dargestellte Rissbild zeigt die aus der Laststufe 3 neu entstandenen Risse:

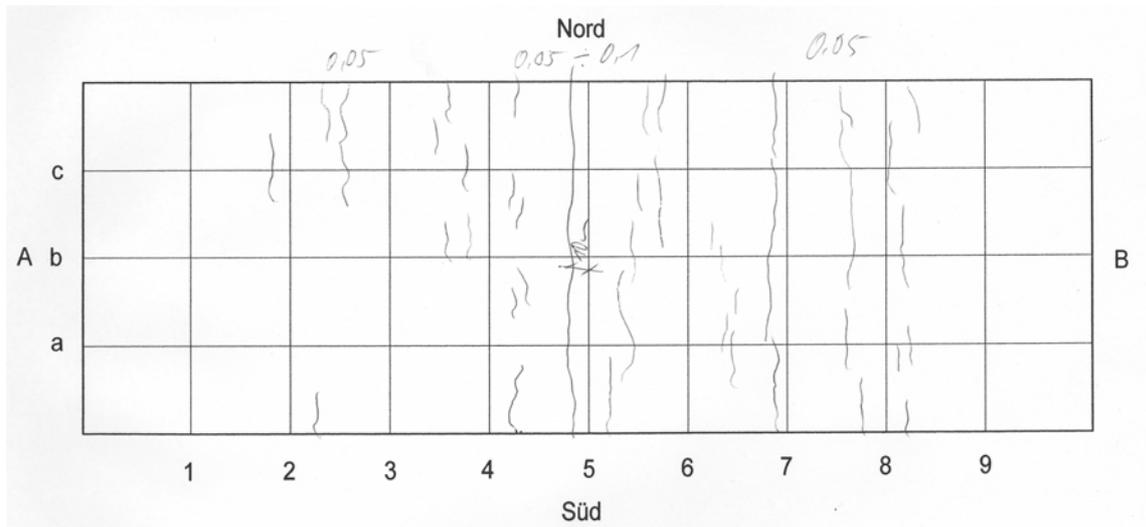


Bild 2.3.2.5: Neu entstandene Risse der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 3

Man kann deutlich erkennen, dass sich die neuen Risse in Richtung zu den Auflagern gebildet hatten. Ebenso sind die vereinzelt Risse aus der Laststufe 1 weiter aufgegangen, so dass nun die Risse im Mittelbereich der Platte über die gesamte Breite verliefen. Die Rissweiten lagen bei 0,05 mm bis 0,1 mm. In der Plattenmitte pendelte sich bereits der Rissabstand von ca. 20 cm ein, was etwa dem der Querbewehrung entsprach.

An den Auflagern lag die maximal einwirkende Querkraft bei 9,31 kN, was etwa 78 % von der maximalen Querkraft unter der Gebrauchslast und 31 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.

Für die *vierte Laststufe* wurden zwei halbe Paletten auf die Position vier gestellt. Mit dieser Laststellung wurde ein Moment in Feldmitte von 13,64 kNm erzeugt. Hierdurch wurde das maximale Moment aus der Gebrauchslast zu 96 % und das rechnerische Bruchmoment zu fast 46 % erreicht. Die halben Paletten hatten ein Gewicht von je 500 kg.



Bild 2.3.2.6: Laststufe 4 der SVP 3-16-6,0

Die gemessenen Durchbiegungen inklusive der Vorverformung durch das Eigengewicht sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	19,70	38,93	50,08	54,95	51,72	40,25	22,55	0,00
ges. Süd	0,00	20,21	38,56	50,25	55,34	52,61	41,57	17,13	0,00
Mittelwert	0,00	19,96	38,75	50,17	55,15	52,17	40,91	19,84	0,00

Tabelle 2.3.2.9: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 4

Die rechnerischen Durchbiegungen sind unten stehend zusammengefasst:

Zustand I	0,00	12,70	23,20	30,00	32,60	30,60	23,90	13,20	0,00
Zustand II	0,00	18,14	33,14	42,86	46,57	43,71	34,14	18,86	0,00

Tabelle 2.3.2.10: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 4

Wie man an Hand der beiden oben genannten Tabellen erkennen kann, lagen die Abweichungen der Messuhren im Zehntel-Millimeterbereich. Die maximale Durchbiegung in Feldmitte stieg jedoch auf bereits 5,5 cm an, was bereits das ca. 2,3-fache der zulässigen Durchbiegung war. Die durch die Belastung aufgebrachte Querkraft lag bei 11,04 kN, das 92 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 37 % des maximalen Moments im Bruchzustand entsprach.

Die gemessenen und rechnerischen Durchbiegungen sind im folgenden Diagramm graphisch dargestellt:

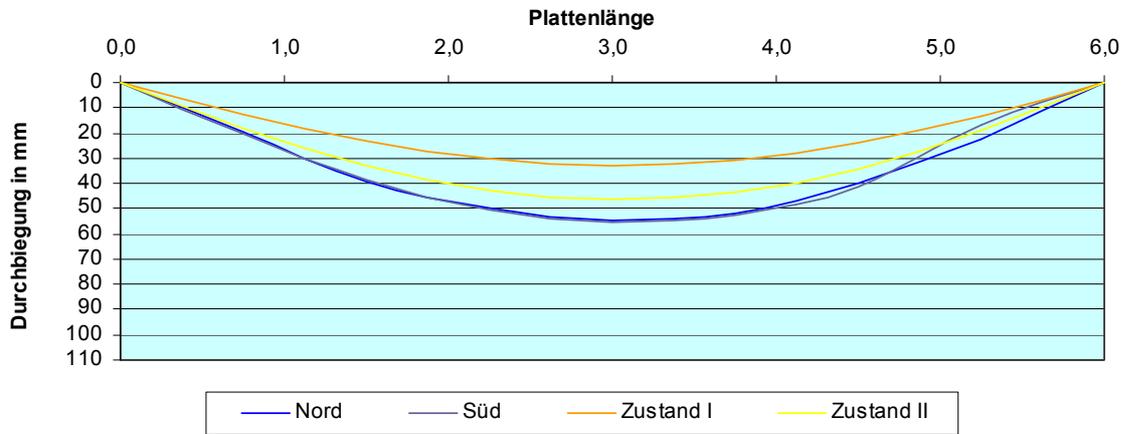


Diagramm 2.3.2.5: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 4

Das Diagramm zeigt deutlich auf, dass die gemessenen Durchbiegungen größer als die rechnerischen im Zustand II waren. Die Kurven der gemessenen Durchbiegungen lagen fast übereinander, das zeigt, dass die Abweichungen (wie bereits oben erwähnt) minimal waren.

Das nachfolgende Rissbild zeigt die Risszunahme durch die zusätzliche Belastung der zwei halben Paletten auf der Position 4:

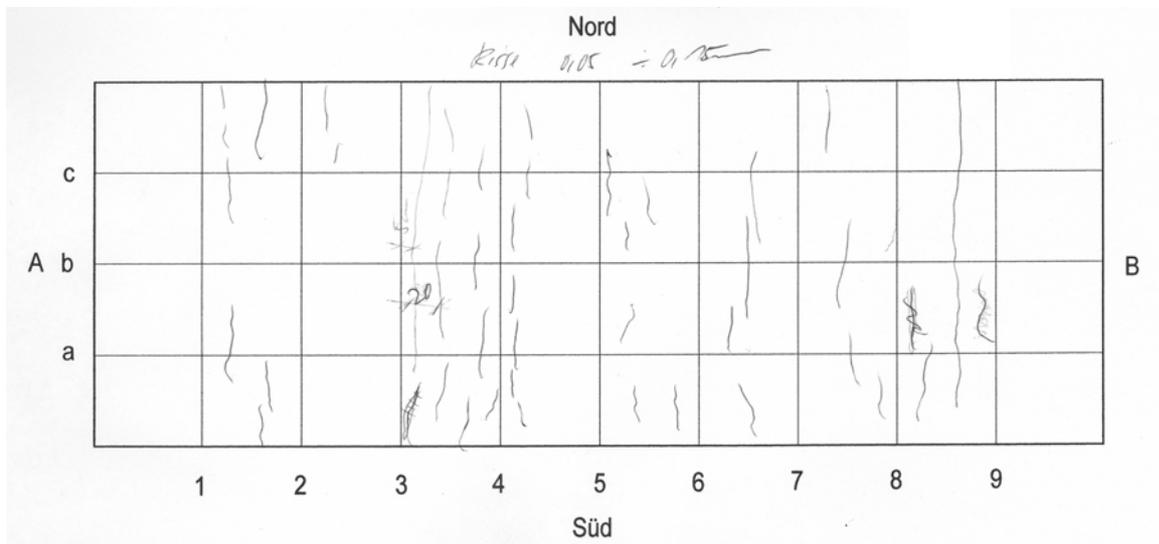


Bild 2.3.2.7: Neu entstandene Risse der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 4

Anhand des Rissbildes ist erkennbar, dass diejenigen Risse, die bisher noch nicht über die gesamte Plattenbreite liefen, nun durch die kleinen hier eingetragenen Risse ergänzt wurden. In der Nähe der Auflagerbereiche A und B sind auch neue Risse entstanden. Der Abstand zum Auflager beträgt nun noch ca. 80 cm. Die Rissweiten lagen zwischen

0,05 und 0,15 mm. Der Abstand der Risse untereinander glich sich immer mehr dem Abstand der Querbewehrung von 25 cm an.

In der südlichen Plattenmitte gingen bereits vier Risse an der Plattenoberseite bis zum Steg und einer ragte bereits etwas hinein. An der Nordseite waren keine Risse an der Oberseite zu erkennen.

Für die *fünfte Laststufe* wurden die zwei halben Paletten wieder von der SVP gehoben und nun auf der Position 4 Nord eine ganze Palette aufgebracht. Das auf die beiden nördlichen Stege wirkende Moment in Feldmitte lag rechnerisch, ohne Berücksichtigung der Querverteilung, bei 15,58 kNm, und entsprach somit fast 110 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast und 52 % des rechnerischen Bruchmoments.



Bild 2.3.2.8: Laststufe 5 der SVP 3-16-6,0

Diese Laststellung sollte erneut Aufschluss über die Querverteilung der Platte geben. Die Durchbiegungen aus der Laststufe 5 sind nachfolgend aufgelistet.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	20,46	40,44	52,74	57,38	54,21	44,36	23,91	0,00
ges. Süd	0,00	20,15	38,47	50,08	54,92	52,11	41,10	23,70	0,00
Mittelwert	0,00	20,31	39,46	51,41	56,15	53,16	42,73	23,81	0,00

Tabelle 2.3.2.11: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 5

Die rechnerischen Durchbiegungen im Zustand I und II sind nachfolgend aufgeführt:

Zustand I	0,00	14,30	26,10	34,00	37,20	35,00	27,40	15,10	0,00
Zustand II	0,00	20,43	37,29	48,57	53,14	50,00	39,14	21,57	0,00

Tabelle 2.3.2.12: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 5

Der Momentenzuwachs von der vierten auf die fünfte Laststufe in Feldmitte betrug 14 %. Der Unterschied der Verformungen zwischen den südlichen und den nördlichen Messuhren in Feldmitte lag bei 4,48 %. Setzt man den Momentenzuwachs ins Verhältnis zum Unterschied der Durchbiegungen, so ergibt sich, dass 68,5 % der einseitigen Last vom Gesamtsystem gleichmäßig abgetragen wurden und nur 31,5 % einseitig. Dies entspricht etwa dem Verhältnis aus der Laststufe 1, bei der 64 % gleichmäßig vom Gesamtsystem und 36 % einseitig abgetragen wurden.

Im unten stehenden Diagramm sind die einzelnen Durchbiegungen graphisch wiedergegeben:

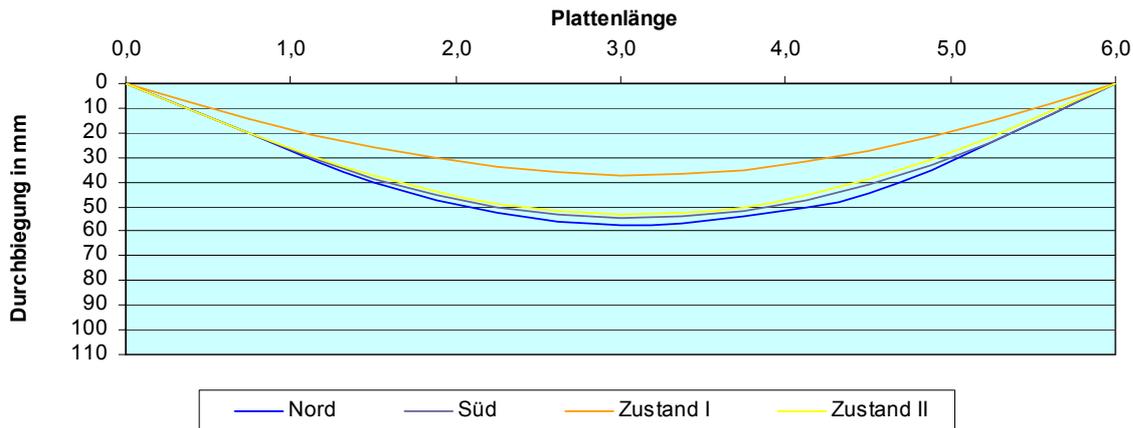


Diagramm 2.3.2.5: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 5

Wie das Diagramm deutlich darstellt, waren die Durchbiegungen auf der südlichen Seite fast identisch mit der Kurve für die rechnerischen Verformungen im Zustand II. Die Werte der nördlichen Seite der Platte, auf der die Kalksandstein-Palette stand, waren etwas größer.

Die maximal vorhandene Querkraft am Auflager lag bei 12,36 kN, was 103 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 41 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.

Die knapp 6 cm Durchbiegung der Stegverbundplatte in Feldmitte und die Anzahl bzw. Weite der vielen Risse an der Unterseite lies aus Sicherheitsgründen keine weitere Rissbetrachtung von unten zu, so dass ab dieser Laststufe keine Rissbilder mehr vorhanden sind. An der Plattenoberseite waren bereits kleine Haarrisse in Feldmitte zu erkennen.

Die **Laststufe 6** bestand aus der symmetrischen Belastung der Platte durch das Aufbringen einer weiteren Kalksandstein-Palette auf die Position 4 Süd. Nachdem sich die angegebenen Momente und Querkräfte immer nur auf die belasteten Stege beziehen, war kein Zuwachs bei dieser Laststufe zu verbuchen. Das unter der Laststufe 5 angegebene Moment in Feldmitte wurde nun auf jedem der vier Stege erzeugt, das gleiche galt auch für die Querkraft.



Bild 2.3.2.9: Laststufe 6 der SVP 3-16-6,0

Die Durchbiegungen sind tabellarisch zusammengestellt:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	24,14	47,36	63,75	69,61	65,95	51,52	28,90	0,00
ges. Süd	0,00	24,73	47,77	62,84	69,83	66,93	53,04	30,88	0,00
Mittelwert	0,00	24,44	47,57	63,30	69,72	66,44	52,28	29,89	0,00

Tabelle 2.3.2.13: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 6

Die rechnerischen Werte für die Zustände I und II sind nachstehend aufgeführt:

Zustand I	0,00	14,30	26,10	34,00	37,20	35,00	27,40	15,10	0,00
Zustand II	0,00	20,43	37,29	48,57	53,14	50,00	39,14	21,57	0,00

Tabelle 2.3.2.14: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 6

Die gemessenen Abweichungen zwischen den nördlichen und südlichen Messuhren lagen zwischen 0,06 und 2 mm, trotz symmetrischer Belastung. Die maximale Durchbiegung in Feldmitte betrug fast 7 cm bei einem Moment von 15,58 kNm in Feldmitte.

Die graphische Darstellung der einzelnen Durchbiegungskurven sieht folgendermaßen aus:

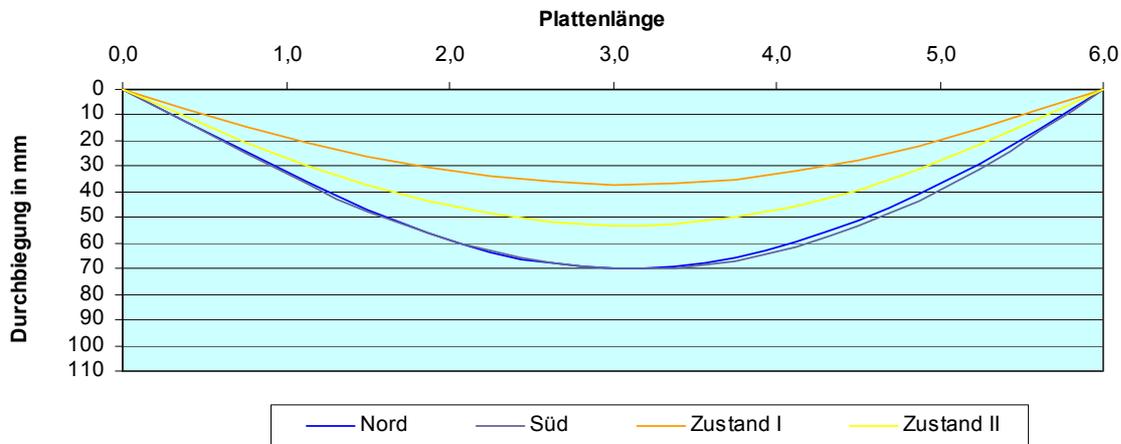


Diagramm 2.3.2.6: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegung der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 6

Wie man oben sehen kann, wich die gemessene Kurve deutlich von der rechnerischen im Zustand II ab. Der Unterschied in Feldmitte lag mittlerweile bei 1,6 cm. Dies ist wiederum auf die Überschreitung des Gebrauchszustand zurückzuführen, bei dem sich auf durch die höhere Belastung größere Krümmungen und Durchbiegungen einstellen.

Die Risse an der Plattenunterseite gingen gleichmäßig weiter auf. Die Rissweiten beliefen sich auf 0,05 mm am Rand und 0,2 mm in Feldmitte. Es sind auch neue Risse mit einer Weite von 0,05 mm entstanden.

Für die **Laststufe 7** wurde eine halbe Kalksandstein-Palette auf die Position 2 Süd gestellt. Das rechnerische Moment ohne Berücksichtigung der Querverteilung betrug bei den beiden südlichen Stegen 18 kNm. Das Moment in Feldmitte stellte fast 127 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und 60 % vom rechnerischen Bruchmoment dar. Die nächste Tabelle listet die vorhandenen Durchbiegungen auf:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	26,44	52,95	69,54	75,58	71,19	55,39	31,60	0,00
ges. Süd	0,00	28,03	54,21	70,64	77,75	73,72	57,99	33,68	0,00
Mittelwert	0,00	27,24	53,58	70,09	76,67	72,46	56,69	32,64	0,00

Tabelle 2.3.2.15: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 7

Die rechnerischen Werte sind in der nächsten Tabelle zusammengefasst:

Zustand I	0,00	16,70	30,50	39,50	42,80	40,00	31,10	17,00	0,00
Zustand II	0,00	23,86	43,57	56,43	61,14	57,14	44,43	24,29	0,00

Tabelle 2.3.2.16: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 7

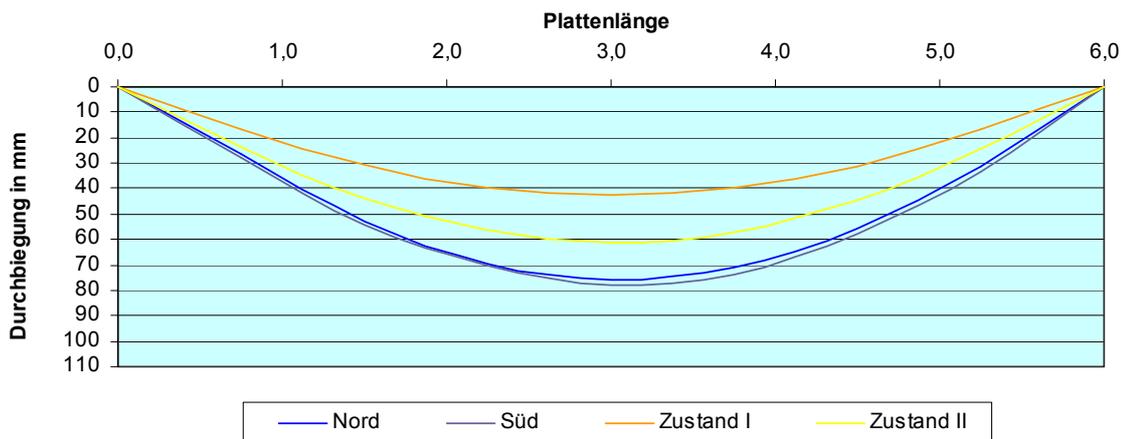


Diagramm 2.3.2.7: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 7

Der Momentenzuwachs in Feldmitte lag bei 15,66 %, während der Unterschied zwischen der südlichen und der nördlichen Messuhr bei 2,87 % lag. Hieraus ergibt sich, dass 81,67 % vom Gesamtsystem abgetragen und 18,32 % einseitig aufgenommen wurden. Das Gesamtsystem nahm 13,17 % mehr auf, als bei der Laststufe 5 mit ähnlicher Laststellung. Dies ist darauf zurück zu führen, dass mittlerweile mehr Risse entstanden waren und die Platte weicher war. Somit konnte die Platte nicht mehr so viel querverteilen und die Last wurde hauptsächlich vom Gesamtsystem aufgenommen.

Die *achte Laststufe* wurde erzeugt, indem man eine weitere halbe Palette auf die Position 2 aufbrachte. Mit dieser Laststellung wurde ein Moment von 18,02 kNm in Feldmitte erzeugt, das entgegen der siebten Laststufe auf allen vier Stegen vorhanden war. Das Moment in Feldmitte entsprach 127 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast und 60% vom rechnerischen Bruchmoment. Das gleiche galt auch für die Querkraft, bei der mit 13,2 kN die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu 110 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu fast 44 % erreicht wurde. Die Durchbiegungen sind in der nächsten Tabelle aufgelistet:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	29,90	60,50	78,80	84,90	79,35	61,19	34,10	0,00
ges. Süd	0,00	31,17	60,11	78,23	85,90	81,10	63,60	36,65	0,00
Mittelwert	0,00	30,54	60,31	78,52	85,40	80,23	62,40	35,38	0,00

Tabelle 2.3.2.17: Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 8

Die rechnerischen Durchbiegungen entsprechen den Werten aus der Tabelle 2.3.2.16 und sind mit den vorhandenen im nächsten Diagramm gegenübergestellt.

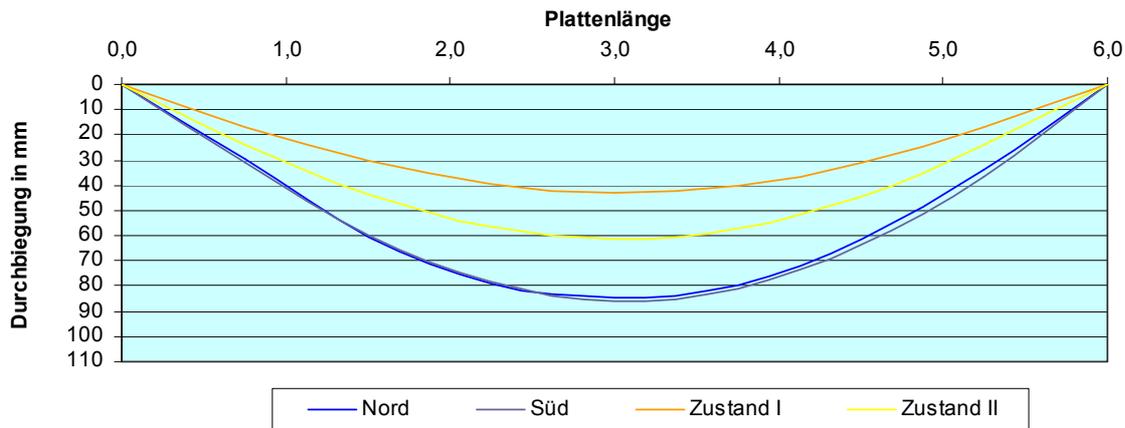


Diagramm 2.3.2.6: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 8

Wie das Diagramm und die oben aufgeführte Tabelle zeigen, lagen die Unterschiede der nördlichen zu den südlichen Messuhren trotz symmetrischer Belastung bei maximal ca. 2 mm. Weiterhin zeigt das Diagramm, dass der Unterschied zwischen den Werten aus der Durchbiegung im Zustand II zu den vorhandenen immer weiter zunahm. Die Risse gingen weiter auf und die Rissweiten lagen bei 0,2 bis 0,3 mm. Es sind keine nennenswert neuen Risse an der Plattenunterseite entstanden.

Die **Laststufe 9** entstand durch das Ab stapeln der zwei halben Kalksandstein-Paletten und das erneute Aufbringen einer ganzen Palette auf die Position 2 Süd.



Bild 2.3.2.9: Laststufe 9 der SVP 3-16-6,0

Auf Grund dieser Laststellung wurde in Feldmitte rechnerisch ein Moment von 19,96 kNm bei den beiden belasteten Stegen ohne Berücksichtigung der Querverteilung hervorgerufen. Dies entsprach knapp 141 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 67 % vom rechnerischen Bruchmoment. Bei der Querkraft wurden mit 13,82 kN pro Steg 115 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und etwa 46 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand erreicht.

Wie man am Bild bereits erkennen kann, wurden aus Sicherheitsgründen die mittleren drei Messuhren auf beiden Seiten abgebaut. Die Werte dieser Messuhren wurden in der Tabelle interpoliert und "fett" hervorgehoben:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	29,31	59,42	74,30	81,25	76,10	60,86	33,94	0,00
ges. Süd	0,00	32,08	61,69	77,13	87,63	82,08	65,65	37,30	0,00
Mittelwert	0,00	30,70	60,56	75,72	84,44	79,09	63,26	35,62	0,00

Tabelle 2.3.2.18: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 9

Die rechnerischen Durchbiegungen sind nachfolgend aufgeführt:

Zustand I	0,00	18,60	34,00	43,90	47,40	43,90	34,00	18,60	0,00
Zustand II	0,00	26,57	48,57	62,71	67,71	62,71	48,57	26,57	0,00

Tabelle 2.3.2.19: Rechnerische Verformungen der SVP 3-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 9

Der Unterschied der Durchbiegungen zwischen dem südlichen und nördlichen Plattenrand betragen mittlerweile mehr als 6 mm in Feldmitte. Sogar in Auflagernähe lag der Unterschied noch bei ca. 3 mm. Erstaunlich war, dass der Unterschied beim Auflager B größer als beim Auflager A war, da die aufgebrachte Last näher bei A als bei B lag. Der Momentenzunahme von 10,8 % steht ein maximaler Unterschied der Durchbiegungen von 7,9 % gegenüber. Das Verhältnis dieser beiden Werte untereinander zeigt, dass etwa 63 % der Last vom Gesamtsystem gleichmäßig abgetragen wurden und 37 % einseitig. Dieses Verhältnis liegt leicht unter den Ergebnissen aus den Laststufen 1 und 5. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Platte bei der höheren Laststufe mehr Risse aufwies und somit nicht mehr so steif war.

Wie das nächste Diagramm zeigt, ist der Unterschied der Durchbiegungen zwischen den belasteten Stegen und den rechnerischen aus dem Zustand II ist gleich groß geblieben.

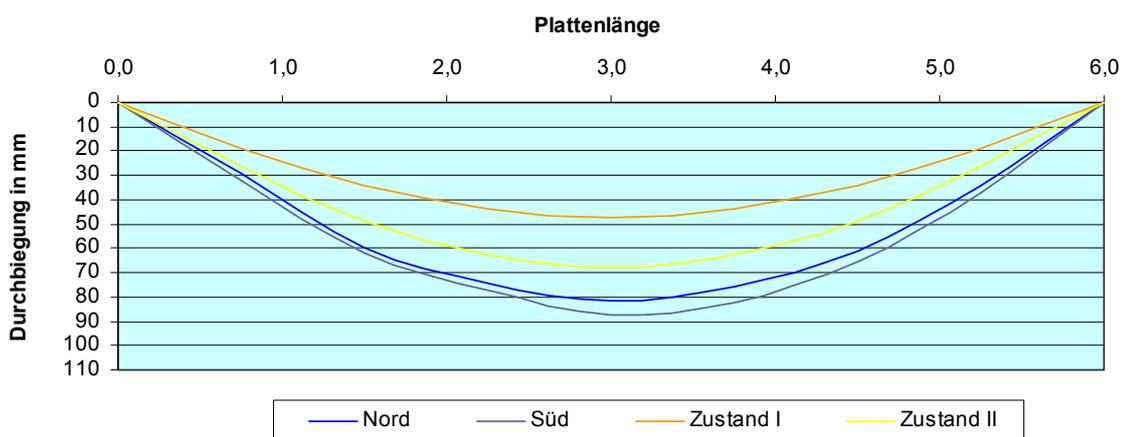


Diagramm 2.3.2.7: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 9

Für die **Laststufe 10** wurde die nächste volle Kalksandstein-Palette auf die Position 2 gestapelt.



Bild 2.3.2.10: Laststufe 10 der SVP 3-16-6,0

Die Tabelle gibt die Durchbiegungen der Laststufe 10 wieder. Die fehlenden Messwerte wurden durch Interpolieren auf der Grundlage einer quadratischen Parabel berechnet. Sie sind in der Tabelle "fett" gedruckt.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	35,47	71,80	89,77	94,39	88,42	70,72	39,15	0,00
ges. Süd	0,00	36,91	71,55	89,77	98,23	92,02	73,60	42,22	0,00
Mittelwert	0,00	36,19	71,68	89,77	96,31	90,22	72,16	40,69	0,00

Tabelle 2.3.2.20: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 10

Die rechnerischen Durchbiegungen sind denen aus der *Tabelle 2.3.2.19* identisch. Die einzelnen Werte sind im folgenden Diagramm zusammengefasst:

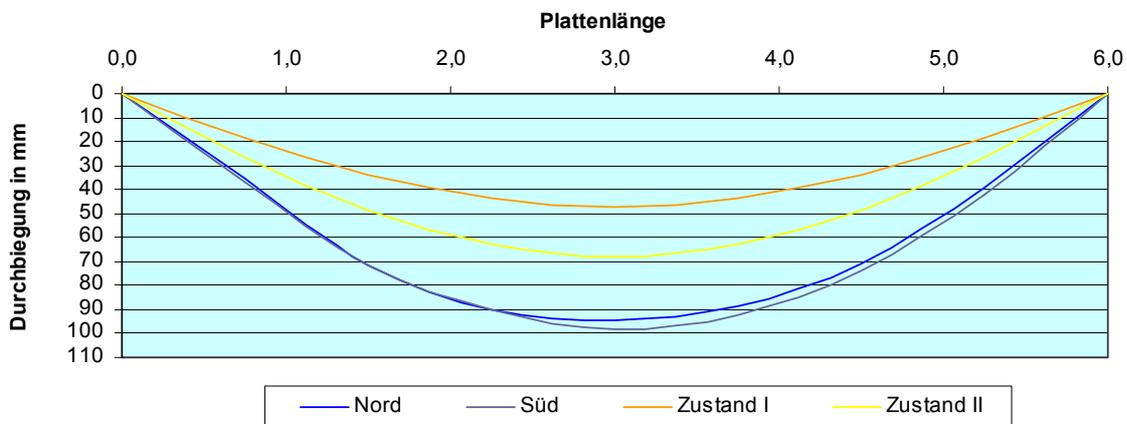


Diagramm 2.3.2.8: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 10

An Hand des Diagramms lässt sich erkennen, dass sich der Unterschied zwischen den gemessenen Werten und den rechnerischen des Zustands II vergrößert hatte. Ebenso ist zwischen den südlichen und nördlichen Messuhren ab Plattenmitte zum Auflager B hin keine Übereinstimmung mehr zu finden.

Die Laststufe 10 verursachte in allen Stegen ein maximales Moment von 19,96 kNm. Dies entsprach fast 141 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und 67 % vom rechnerischen Bruchmoment. Die Querkraft am Auflager lag bei 13,82 kN pro Steg, was knapp 115 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 46 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand darstellte.

An der Plattenunterseite war keine weitere Rissbildung zu erkennen. Die Rissweiten lagen mittlerweile bei 0,3 - 0,4 mm. In den Stegen waren bereits kleine Haarrisse im mittleren Plattenbereich zu sehen.

Das nächste Bild stellt die Übersicht der **Laststufe 11** dar. Hierfür wurde im Norden auf die Plattenmitte eine halbe Kalksandstein-Palette gestellt.



Bild 2.3.2.11: Laststufe 11 der SVP 3-16-6,0

Die äußeren Messuhren konnten noch abgelesen werden. Die Durchbiegungen der fehlenden Messuhren wurden interpoliert. Die Tabelle stellt diese Werte zusammen:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	40,70	81,08	101,38	108,21	99,58	79,65	44,05	0,00
ges. Süd	0,00	50,51	78,84	98,58	108,38	101,54	81,21	46,40	0,00
Mittelwert	0,00	45,61	79,96	99,98	108,30	100,56	80,43	45,23	0,00

Tabelle 2.3.2.21: Gesamte Verformungen der SVP 3-16-6,0 aus der Laststufe 11

Die Durchbiegung in Feldmitte erhöhte sich um ca. 1 cm, so dass sich die Platte mittlerweile um mehr als 10 cm durchbog. Wie die Tabelle zeigt, waren die Werte der südlichen und nördlichen Messuhren immer noch unterschiedlich und der Unterschied der gemessenen Durchbiegungen zu den rechnerischen im Zustand II nahm weiter zu.

Das rechnerische Moment in Feldmitte ohne Berücksichtigung der Querverteilung lag bei den beiden nördlichen Stegen von 23,47 kNm pro Steg. Dies entsprach 117 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast und somit 78 % des rechnerischen Bruchmoments. Auf eine Untersuchung der Querverteilung bei dieser Laststufe wurde auf Grund der Nähe zum rechnerischen Bruchmoment und den interpolierten Werten in Feldmitte verzichtet. Die maximale Querkraft am Auflager ohne Berücksichtigung der Querverteilung lag bei 15,1 kN pro Steg, was 126 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 50 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.

Auf Grund der Nähe zum rechnerischen Bruchmoment wurde die Rissentwicklung ab jetzt nur noch von der Seite beobachtet. Es sind keine nennenswert neuen Risse entstanden, die bereits vorhandenen sind weiter aufgegangen. Die Risse in den Stegen traten vermehrt im mittleren Plattenbereich auf. An den Auflagerbereichen waren keine Risse zu erkennen.

Die *Laststufe 12* schloss die erste Ebene mit einer weiteren halben Palette auf der Position 3 in Feldmitte. Vor dem Belasten wurden die Messuhren abgebaut, um sie beim Versagen der Platte nicht zu gefährden. Die Durchbiegung in Feldmitte wurde mit dem Nivelliergerät mit 11,1 cm gemessen. Die Stegverbundplatte setzte sich noch nicht auf die Abfangkonstruktion auf. Die Rissbildung an der Unterseite konnte nicht weiter verfolgt werden, da die Plattenunterseite bereits so nahe an den Balken der Abfangkonstruktion war, dass die Risse nicht mehr gesehen werden konnten.

Die SVP hatte in Feldmitte ein Moment von 23,47 kNm pro Steg. Dies entsprach, wie bei der Laststufe 11, 165 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast und fast 79 % des rechnerischen Bruchmoments. Die Querkraft im Auflagerbereich lag bei 15,07 kN pro Steg und steht somit im gleichen Verhältnis zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und im Bruchzustand wie bei der Laststufe 11.

Um die *Laststufe 13* zu erhalten, wurden die zwei halben Paletten wieder von der Platte gestapelt und auf der nördlichen Seite durch volle Paletten ersetzt. Die Stegverbundplatte ging so weit nach unten, dass sie im Norden auf einem Holzbalken der Abfangkonstruktion auflag. Die mit dem Nivelliergerät gemessene Durchbiegung in Feldmitte betrug 14,6 cm.



Bild 2.3.2.12: Laststufe 13 der SVP 3-16-6,0

Das pro Steg aufgebrachte Moment von 26,27 kNm entsprach 185 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und 88 % vom rechnerischen Bruchmoment. Die maximale Querkraft am Auflager erreichte mit 16,1 kN 134 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 53 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Das angegebene Moment in Feldmitte und die maximale Querkraft sind Werte, die vor dem Aufliegen der Platte auf die Abfangkonstruktion vorhanden waren.

Die Kalksandstein-Paletten wurden über Nacht in dieser Stellung auf der SVP gelassen. Am nächsten Tag lag die SVP an allen Seiten auf der Abfangkonstruktion auf. Da jedoch noch kein deutliches Versagenskriterium zu erkennen war, wurden die beiden mittleren Paletten von der SVP gehoben, so dass die Abfangkonstruktion frei von Lasten war und weiter abgesenkt werden konnte. Danach wurden die beiden Paletten wieder auf ihre ursprüngliche Position gestellt und es stellte sich nochmals das Gleichgewicht der Platte ein.

Die SVP ging beträchtlich nach unten, doch konnte mit dem bloßen Auge kein weiteres Fortschreiten der Durchbiegung erkannt werden. Die Durchbiegung in Feldmitte betrug mit dem Nivelliergerät gemessen 16 cm. Das sind ca. 1,5 cm mehr als bei gleicher Laststellung am Vortag, als sie aufsaß. Ein Versagen der Stegverbundplatte konnte noch nicht festgestellt werden. Zwischen der Abfangkonstruktion und der Plattenunterseite waren noch ein paar Zentimeter frei, so dass auf die mittlere Position zwei halbe Kalksandstein-Paletten gestellt wurden.



Bild 2.3.2.13: Laststufe 14 der SVP 3-16-6,0



Bild 2.3.2.14:
Verdrehung am Auflager

Bei dieser Laststellung setzte sich die SVP erneut auf die Abfangkonstruktion auf. Die Durchbiegung betrug nun ca. 20 cm. Erst jetzt deutete sich das Ausbrechen der Druckzone in den Stegen leicht an. Das aufgebrachte Moment in Feldmitte lag bei 29,67 kNm, das 209 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und somit knapp 100 % vom rechnerischen Bruchmoment entsprach. Ein weiteres Absenken der Abfangkonstruktion war nicht möglich, da die Verdrehung am Auflager sehr groß war. Bei einer weiteren Verdrehung der Platte musste befürchtet werden, dass die Platte den Stahlbetonsturz berührt und ihn nach außen wegdrückt.

2.3.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Das Versagen der Platte wurde erneut durch das Herausbrechen der Druckzone hervorgerufen.



Bild 2.3.3.1 und 2.3.3.2 Versagen der Druckzone

Die Abfangkonstruktion ließ kein weiteres Absinken der Platte zu, so dass, wie oben beschrieben, das Versagen der Druckzone nur schwach ausgebildet war. Das Bild zeigt, wie sich im oberen Bereich der Druckzone eine Art "Scholle" gebildet hat, die über den Steg ausbrechen wollte. Von oben gesehen war dies auch deutlich zu erkennen (Bild 2.3.3.2). Es war auch ein Riss an der Plattenoberseite erkennbar, der im Stegbereich in das Rissbild der versagenden Druckzone überging.

Die Momente in Feldmitte können den zugehörigen Durchbiegungen gegenübergestellt und graphisch im folgenden Diagramm dargestellt werden.

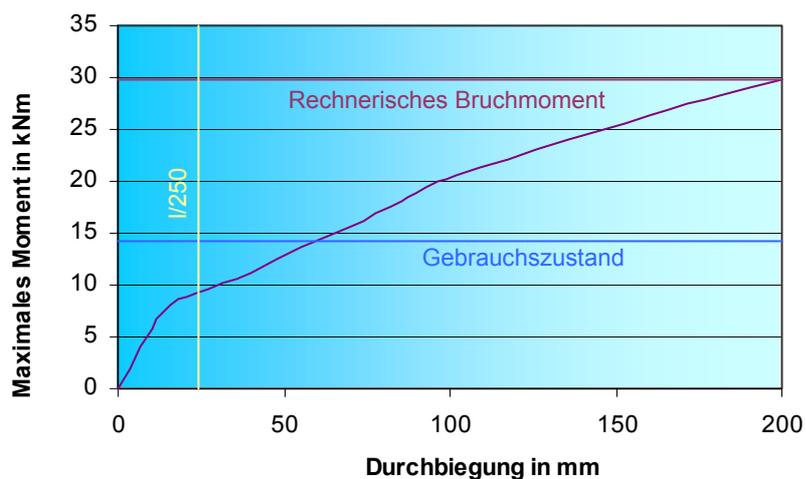


Diagramm 2.3.3.1: Gegenüberstellung der maximalen Durchbiegungen mit den zugehörigen Momenten aus den Laststufen der SVP 3-16-6,0

Das Diagramm zeigt, dass die zulässige Durchbiegung von 2,4 cm etwa in der Höhe von 2/3 des Gebrauchszustandes erreicht wurde. Die Durchbiegung in Höhe des maximalen Moments aus der Gebrauchslast lag bei etwas mehr als 5,0 cm. Dieses Diagramm zeigt nur den Ausschnitt der Laststufen, bei denen die Durchbiegung gemessen werden konnte. Nachdem die Platte jedoch etwa Bruchmoment erreichte, schmiegt sich die Kurve an die Gerade des Bruchmoments an.

Im nächsten Diagramm sind die gemessenen Rissweiten in Feldmitte bei den einzelnen Laststufe den zugehörigen Momenten gegenübergestellt. Dieses Diagramm enthält nur die Laststufen aus symmetrischer Belastung.

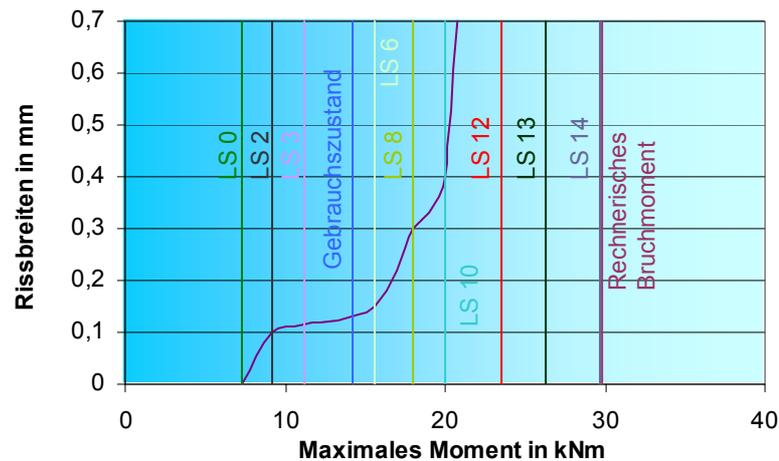


Diagramm 2.3.3.2: Gegenüberstellung der maximalen Rissweiten mit den zugehörigen Momenten aus den Laststufen der SVP 3-16-6,02

Das Diagramm zeigt, dass beim Erreichen des maximalen Moments aus der Gebrauchslast die maximale Rissbreite in Feldmitte 0,12 mm betrug. Für die Anforderungsklassen XC2, XC 3 und XC 4 ist nach der DIN 1045-1 eine Rissbreitenbeschränkung von 0,3 mm einzuhalten. Diese Rissbreite wird mit der Laststufe 8 erreicht, die etwa das 1,3-fache des maximalen Moments im Gebrauchszustand darstellt. Die Kurve steigt bis zur ersten Laststufe steil an, bevor sie anschließend bis zur sechsten Laststufe nur gering ansteigt. Danach geht sie wiederum steil nach oben, und schmiegt sich im Unendlichen an das Bruchmoment. Aus Gründen der Übersichtlichkeit hört das Diagramm bei einer Rissweite von 0,7 mm auf.

2.4 Stegverbundplatte 4-20-6,0

2.4.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die vierte Stegverbundplatte wurde am Dienstag, den 3. September 2002, in der Frühe hergestellt. Die Bewehrung sowohl in Längs- als auch in Querrichtung entsprach der SVP 1-20-6,0. Die Längsbewehrung lag somit bei 7,48 cm²/m (Ø 10 mm, Abstand 10,5cm) und die Querbewehrung bei 2,01 cm²/m (Ø 8 mm, Abstand 25cm). Der Betoniervorgang wurde wie bei der dritten Versuchsplatte ausgeführt. Die Stege wiesen nach dem Ausschalen keinerlei Nester auf, so dass sich die Druckzonen vollständig ausbilden konnten. Die Stegverbundplatte wurde noch am selben Abend ausgeschalt und anschließend wieder in die Härtekammer gefahren, bevor sie am nächsten Tag zur Zwischenlagerung auf den Hof gebracht wurde. Sie wurde am 5. September 2003 mittels eines Gabelstaplers und einem Gehänge auf die Versuchsvorrichtung gehoben.

Diese Stegverbundplatte wurde zunächst auf die Höhe des maximalen Moments aus der Gebrauchslast vorbelastet. Anschließend stapelte man die Kalksandstein-Paletten von der Platte herunter und verfüllte die Stegzwischenräume mit Beton. Hierzu wurden die Seiten der SVP so abgeschalt, dass die Platte weiterhin unterstützungsfrei auf der Versuchseinrichtung lagerte. Für den Betoniervorgang an sich wurde der Beton mit Hilfe einer Rutsche direkt vom Betonmischer auf die Stegverbundplatte gebracht und von dort aus verteilt. Die Höhe der Ortbetonergänzung bestimmten die Stege, auf denen mit einer Aluminiumplatte oder einem Holzbrett abgezogen werden konnte.

2.4.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

2.4.2.1 Vorbelasten

Auf Grund des Querschnitts der Stegverbundplatte und der eingelegten Biegebewehrung ergab sich ein Bemessungsmoment von 23,64 kNm, das zu einem maximalen Moment im Gebrauchszustand von 16,89 kNm und einem rechnerischen Bruchmoment von 35,46 kNm führte. Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit lag bei 20,09 kN pro Steg. Das Belastungsschema für die Vorbelastung ist nachfolgend aufgeführt.

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0	7,58	45,14	21,50	3,63	25,30	10,04
1	1, 5	3,97	11,55	68,80	32,76	8,14	56,72	22,51
2	1, 5, 3(1/2)S	7,43	15,01	89,42	42,58	9,4	65,51	25,99
3	1, 5, 3(1/2)	7,43	15,01	89,42	42,58	9,4	65,51	25,99
4	1, 5, 3	9,68	17,26	102,83	48,97	10,4	72,47	28,76

Tabelle 2.4.2.1: Schema zur Vorbelastung der SVP 4-20-6,0

Wie die *Tabelle 2.4.2.1* zeigt, konnte mit den vorhandenen Belastungskörpern das Gebrauchsmoment nicht genau erreicht werden. Die Laststufe 2 diente zur Ermittlung der Querverteilung der Platte.

Die vierte Stegverbundplatte wurde analog den vorherigen Platten gelagert und es konnte somit eine Würfeldruckfestigkeit von 20 N/mm^2 und ein E-Modul von 15.000 N/mm^2 aus dem entsprechenden Diagramm herausgelesen werden. An der Plattenunterseite war bereits nach dem Auflegen der Platte ein Haarriss in Feldmitte zu erkennen, der sich über die halbe Plattenbreite zog.

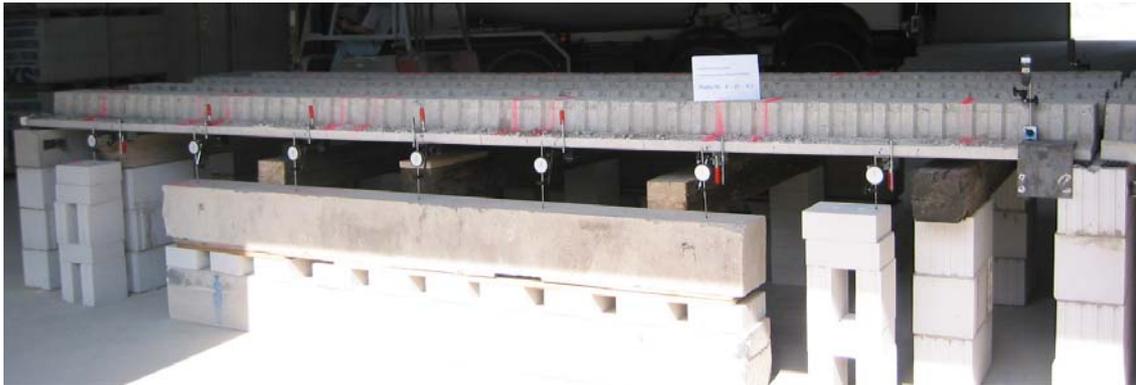


Bild 2.4.2.1.1: Laststufe 0 der SVP 4-20-6,0

Die Messung der Durchbiegung der Platte auf Grund ihres Eigengewichts (4,04 t) mittels Nivelliergerät ergab einen maximalen Wert von 6,5 mm. Die gemessene Verformung durch das Eigengewicht ist nachfolgend in den Achtpunkten tabellarisch dargestellt. Wie bei den vorigen Platten, wurden auch hier die fehlenden Punkte an Hand einer quadratischen Parabel ermittelt.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Verformung	0,00	2,84	4,88	6,09	6,50	6,09	4,88	2,84	0,00

Tabelle 2.4.2.1.2: Verformungen aus dem Eigengewicht der SVP 4-20-6,0

Die rechnerischen Durchbiegungen im Zustand I und II sind in der nächsten Tabelle zusammengefasst.

Zustand I	0,00	2,50	4,60	6,00	6,50	6,00	4,60	2,50	0,00
Zustand II	0,00	3,57	6,57	8,57	9,29	8,57	6,57	3,57	0,00

Tabelle 2.4.2.1.3: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

Das Eigengewicht der Stegverbundplatte erzeugte ein maximales Moment von 7,58 kNm pro Steg und erreichte somit bereits 45 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand, bzw. 21,5 % vom rechnerischen Bruchmoment. Die vorhandene Durchbiegung in Feldmitte erreichte 27 % des zulässigen Wertes von 2,4 cm ($l/250$). Die Querkraft lag mit 3,63 kN bei 25 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und bei 10 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Das nachfolgende Diagramm stellt graphisch die rechnerischen Durchbiegungen den gemessenen gegenüber.

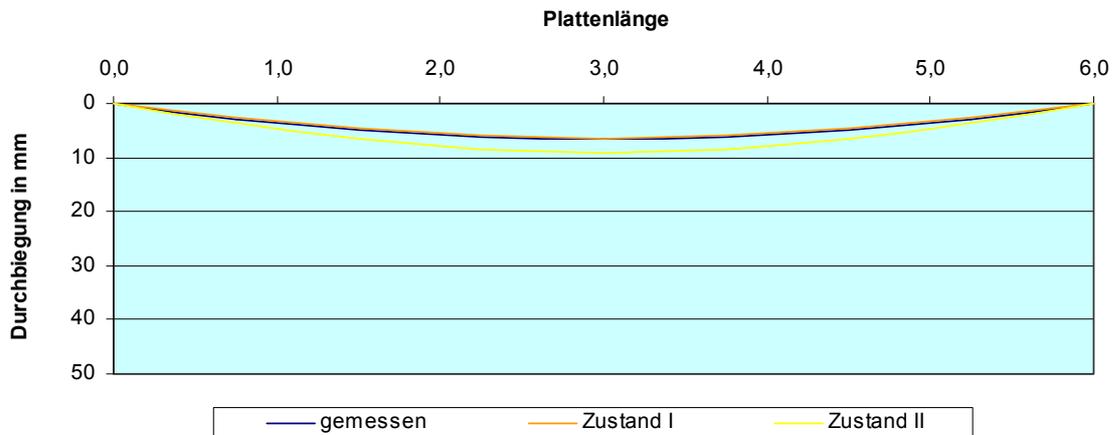


Diagramm 2.4.2.1.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 0

Die Tabellen 2.4.2.1.2 und 2.4.2.1.3 zeigen, dass die gemessenen Durchbiegungen mit den rechnerischen im Zustand I übereinstimmen. Der Vergleich mit der SVP 1-20-6,0 zeigt, dass sich diese, obwohl Teile der Stege bereits Risse durch das Ausschalen aufwiesen, sich nur um 0,5 mm mehr durchbog als die SVP 4-20-6,0.

Für die *Laststufe 1* wurden jeweils auf die beiden äußeren Positionen der Platte volle Kalksandstein-Paletten aufgelegt, wie das nachfolgende Bild zeigt.



Bild 2.4.2.1.2: Laststufe 1 der SVP 4-20-6,0

Die in den Achtpunkten vorhandenen Durchbiegungen sind in der *Tabelle 2.4.2.1.4* aufgelistet.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	7,71	14,53	18,50	19,83	18,21	14,21	8,25	0,00
ges. Süd	0,00	7,45	14,18	18,50	19,90	18,62	14,61	8,28	0,00
Mittelwert	0,00	7,58	14,35	18,50	19,87	18,42	14,41	8,27	0,00

Tabelle 2.4.2.1.4: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 1

Die Durchbiegungen erhöhten sich durch die Momentenzunahme von 3,97 kNm um das dreifache. Die rechnerischen Durchbiegungen in den Zuständen I und II sind in der nächsten Tabelle dargestellt.

Zustand I	0,00	4,10	7,50	9,60	10,40	9,60	7,50	4,10	0,00
Zustand II	0,00	5,86	10,71	13,71	14,86	13,71	10,71	5,86	0,00

Tabelle 2.4.2.1.5: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

Wie die beiden Tabellen zeigen, waren die gemessenen Durchbiegungen bereits fast doppelt so groß wie die im Zustand I. Bezogen auf den gerissenen Zustand betrug die gemessene Durchbiegung der Stegverbundplatte 133 %. Die zulässige Durchbiegung von 2,4 cm ist hier bereits zu 83 % erreicht. Das vorhandene Moment in Feldmitte erreichte mit 11,55 kNm pro Steg fast 69 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und somit knapp 33 % des rechnerischen Bruchmoments. Bezogen auf die vorhandene Querkraft an den Auflagern war die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu 25,3 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu 10 % erreicht.

Zur besseren Darstellung sind nachfolgend die rechnerischen und gemessenen Durchbiegungen im *Diagramm 2.4.2.2* graphisch gegenübergestellt.

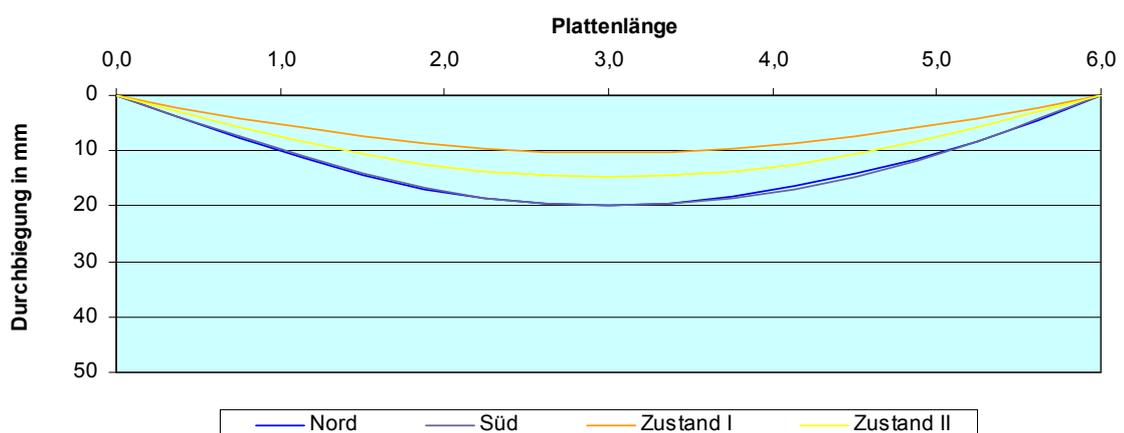


Diagramm 2.4.2.1.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 1

An der Plattenunterseite waren bereits viele Haarrisse in Querrichtung zu erkennen, während an der Oberseite der Platte noch keine Risse zu sehen waren. Die meisten Risse verliefen bereits über die gesamte Plattenbreite. Der Riss aus der Laststufe 0 ging als einziger bis knapp an die Oberkante. Die Rissweiten lagen im äußeren Bereich bei 0,05 mm und im Innenbereich der Platte bei 0,10 mm. Der Riss aus der Laststufe 0 ging auf 0,15 mm auf. Das Rissbild der Plattenunterseite ist im nachfolgenden Bild wiedergegeben.

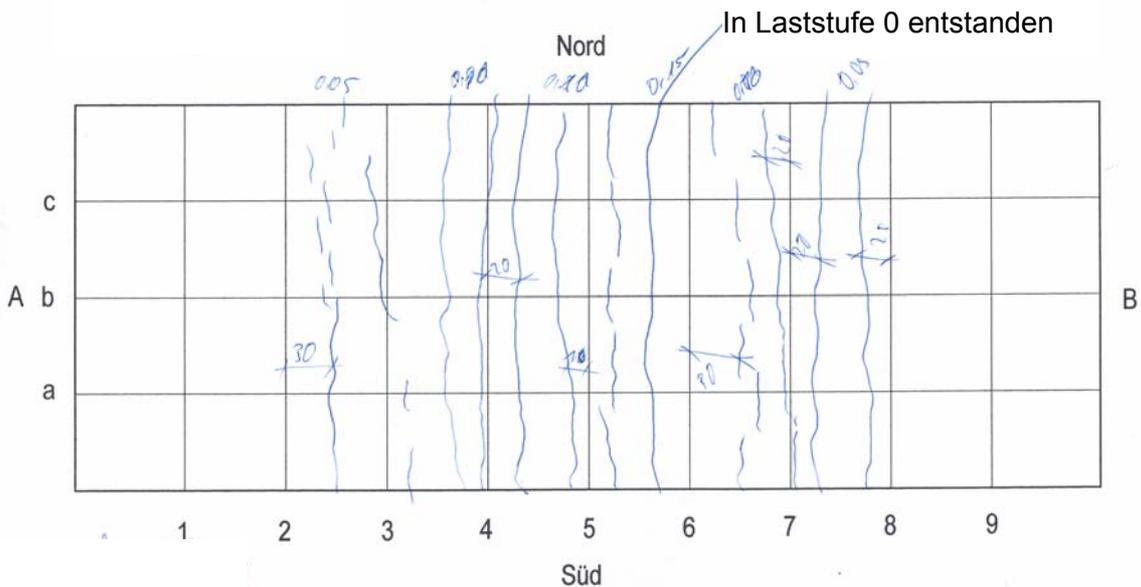


Bild 2.4.2.1.3: Rissbild aus der Laststufe 1

Die **Laststufe 2** diente erneut der Untersuchung der Querverteilung. Hierzu wurde auf die südliche Position 3 eine halbe Kalksandstein-Palette aufgebracht. Die Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 sind in der nächsten Tabelle aufgelistet. Mit der halben Kalksandstein-Palette wurde das rechnerische Moment ohne Berücksichtigung der Querverteilung in Feldmitte auf 15 kNm pro Steg erhöht. Die maximale Querkraft der belasteten Stege lag mit 9,4 kN pro Steg bei fast 66 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und bei 26 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	9,37	18,23	23,32	25,21	23,71	17,89	10,38	0,00
ges. Süd	0,00	9,58	18,55	24,32	27,40	25,86	19,34	10,93	0,00
Mittelwert	0,00	9,48	18,39	23,82	26,31	24,79	18,61	10,66	0,00

Tabelle 2.4.2.1.6: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 2

Die rechnerischen Durchbiegungen sind in der **Tabelle 2.4.2.6** zusammengefasst:

Zustand I	0,00	5,20	9,40	12,20	13,20	12,20	9,40	5,20	0,00
Zustand II	0,00	7,43	13,43	17,43	18,86	17,43	13,43	7,43	0,00

Tabelle 2.4.2.1.7: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

Setzt man die Momente in Feldmitte aus der Laststufe 1 und 2 miteinander ins Verhältnis, so ist eine Momentenzunahme von 29,96 % zu verzeichnen. Der Unterschied der Durchbiegung der Platte in Feldmitte betrug 8,7 %. Setzt man das Verhältnis der unterschiedlichen Durchbiegung ins Verhältnis zur Momentenzunahme, so ergibt sich, dass 71 % der einseitigen Last vom Gesamtsystem gleichmäßig abgetragen wurden und nur 29 % einseitig. Dies bedeutet, dass die Querverteilung etwas schlechter als bei der ersten und fünften Laststufe der dritten Stegverbundplatte war. Dies liegt an der Rissentwicklung, denn je mehr Risse an der Platte vorhanden sind, desto weicher wird sie.

Vergleicht man die vorhandenen Durchbiegungen mit den rechnerischen, so ist zu erkennen, dass die mittlere maximale Durchbiegung in Feldmitte mit fast 7,5 mm über dem rechnerisch ermittelten Wert im Zustand II lag. Bezogen auf den Zustand I war die vorhandene Durchbiegung bereits doppelt so groß. Im Diagramm sind die beiden Tabellen graphisch aufbereitet:

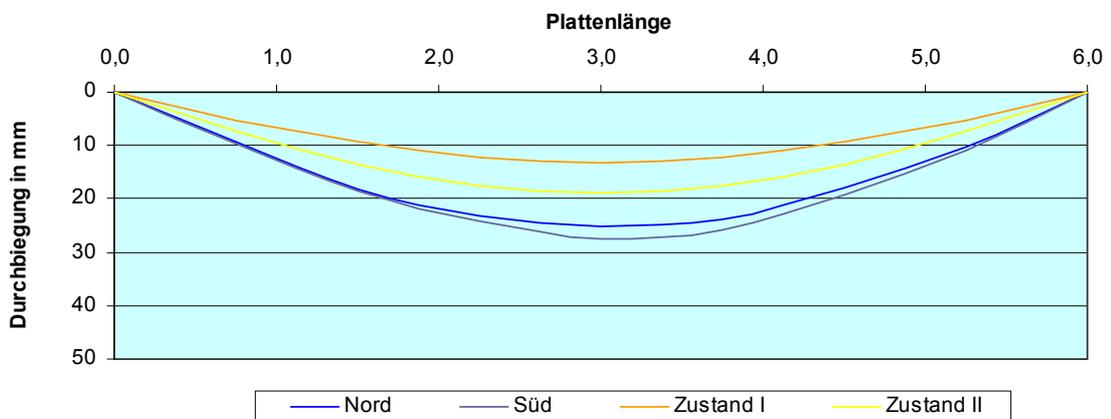


Diagramm 2.4.2.1.3: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 2

Die *dritte Laststufe* wurde erzeugt, indem auf die nördliche Position 3 eine weitere halbe Palette aufgelegt wurde, wie das nachfolgende Bild zeigt: Hierdurch entstand wiederum eine symmetrische Belastung.



Bild 2.4.2.1.4: Laststufe 3 der SVP 4-20-6,0

Das in der Laststufe 2 angegebene Moment von 15 kNm trat nun bei allen vier Stegen in Feldmitte auf. Es waren somit 89 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 43 % des rechnerischen Bruchmoments erreicht. Die gemessenen Durchbiegungen aus der Laststufe 3 sind in der nächsten Tabelle aufgelistet:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	11,47	22,65	29,29	31,62	28,70	22,09	13,75	0,00
ges. Süd	0,00	10,42	19,23	24,59	26,37	24,51	19,28	11,11	0,00
Mittelwert	0,00	10,95	20,94	26,94	28,99	26,60	20,68	12,43	0,00

Tabelle 2.4.2.1.8: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 3

Wie die Tabelle eindeutig zeigt, verdrehte sich die Platte in Querrichtung. Durch das Aufbringen der weiteren Palette ging die Platte im Süden 1 mm nach oben, während sie im Norden um fast 6,5 mm nach unten ging. Durch das Herstellen der symmetrischen Laststellung ist nun ein Unterschied der Durchbiegung in Querrichtung von 5,25 mm vorhanden. Dies ist begründbar mit der stärkeren Rissbildung im nördlichen Plattenbereich durch das Aufbringen der zweiten Palette.

Die rechnerischen Durchbiegungen in den Zuständen I und II entsprechen denen aus der *Tabelle 2.4.2.1.7*. Die graphische Gegenüberstellung der vorhandenen zu den rechnerischen Durchbiegungen ist im *Diagramm 2.4.2.1.4* dargestellt.

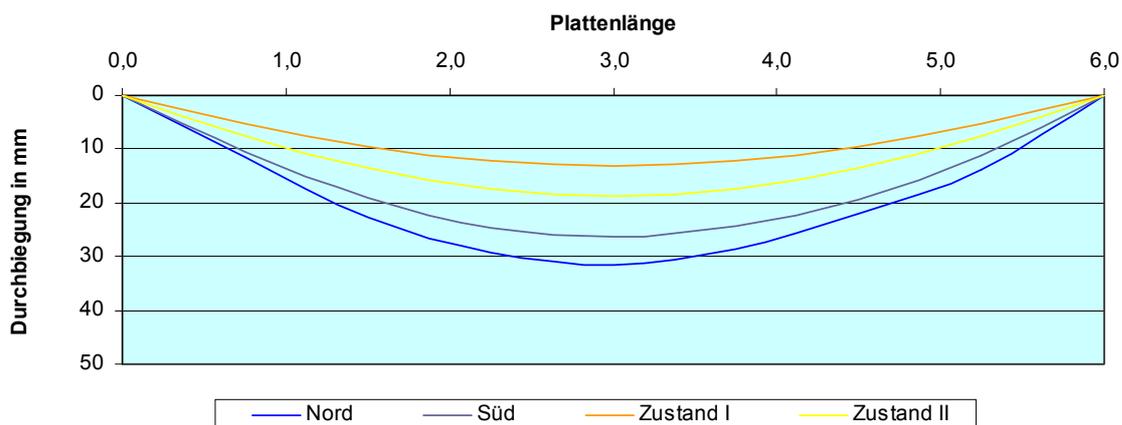


Diagramm 2.4.2.1.4: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 3

Es entstanden im mittleren Bereich einige neue Risse. Es schlossen sich aber auch bereits vorhandene Risse, die noch nicht über die gesamte Plattenbreite verliefen, zu einem Riss zusammen. Wie das nachfolgende Rissbild zeigt, war in den Auflagerbereichen A und B kein Riss zu erkennen. Der maximale Abstand zum Auflager betrug immer noch ca. 1,20 m, während knapp 65,5 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 26 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand erreicht waren. Das Rissbild zeigt die neu entstandenen Risse und deren Weiten. Der aus der Laststufe 0 entstandene Riss in Plattenmitte ging bis auf 0,2 mm auf, die übrigen Risse im Mittelbereich aus der Laststufe 1 bis auf 0,15 mm.

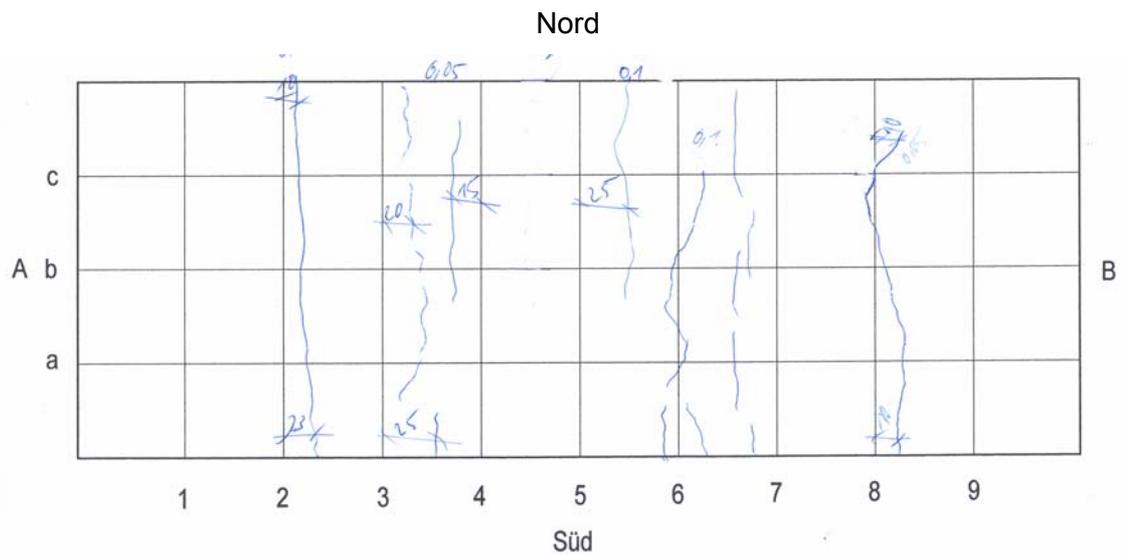


Bild 2.4.2.1.5: Rissbild aus der Laststufe 3

Die *Laststufe 4* bestand darin, die zwei halben Paletten in Plattenmitte durch zwei ganze zu ersetzen. Hierdurch erreichte man ein Moment in Feldmitte von 17,26 kNm pro Steg, was etwa 103 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und somit 49 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach.



Bild 2.4.2.1.6: Laststufe 4 der SVP 4-20-6,0

Die hierdurch entstandenen Durchbiegungen sind in der nächsten Tabelle dargestellt:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	14,43	29,27	37,74	40,89	37,22	28,46	16,38	0,00
ges. Süd	0,00	14,08	28,20	37,47	40,90	38,12	29,18	16,13	0,00
Mittelwert	0,00	14,26	28,73	37,61	40,90	37,67	28,82	16,26	0,00

Tabelle 2.4.2.1.9: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 4

Wie die Tabelle zeigt, waren die Durchbiegungen in Feldmitte an den nördlichen und südlichen Messuhren wieder in etwa gleich groß, so dass sich die asymmetrische Belastung aus der Laststufe 3 wieder aufgehoben hatte. Die errechneten Durchbiegungen in den Zuständen I und II sind in der *Tabelle 2.4.2.1.10* dargestellt.

Zustand I	0,00	8,10	14,90	19,30	20,90	19,30	14,90	8,10	0,00
Zustand II	0,00	11,57	21,29	27,57	29,86	27,57	21,29	11,57	0,00

Tabelle 2.4.2.1.10: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

Der Vergleich der beiden Tabellen zeigt, dass sich die Platte um knapp 37 % mehr durchbog, als die maximale rechnerische Durchbiegung im Zustand II.

Bei dieser Laststellung kann ein Vergleich mit der SVP 1-20-6,0 gezogen werden. Diese Platte hatte die gleichen Abmessungen und den gleichen Bewehrungsgehalt, als auch wurde sie in der gleichen Laststellung dokumentiert. Die gemessene Durchbiegung in Feldmitte lag hier mit 39,2 mm (Mittelwert) um 1,7 mm niedriger als bei der SVP 4-20 6,0. Dies kann daran liegen, dass bei der SVP 1-20-6,0 dieses Lastniveau bereits bei der ersten Laststufe erreicht wurde, während bei der jetzigen Platte das Moment erst bei der vierten Laststufe aufgebracht wurde.

Nachdem man die Messuhren abgelesen hatte, wurden alle Belastungskörper von der SVP gehoben und der Rückgang der Durchbiegung auf Grund der Entlastung gemessen. Diese Werte gibt die nachfolgende Tabelle wieder:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	8,62	17,12	22,06	23,88	21,89	16,81	10,44	0,00
ges. Süd	0,00	8,52	16,73	22,10	24,16	22,43	17,23	9,54	0,00
Mittelwert	0,00	8,57	16,92	22,08	24,02	22,16	17,02	9,99	0,00

Tabelle 2.4.2.1.11: Verformungen nach der Entlastung

Wie der Vergleich der Tabellen zeigt, ging die Platte nach dem Entlasten um fast 17 mm zurück, das einem Rückgang von fast 59 % gleichkam. Die gemessenen Durchbiegungen näherten sich den rechnerischen der Laststufe 4 im Zustand II an, wie das *Diagramm 2.4.2.1.5* veranschaulicht.

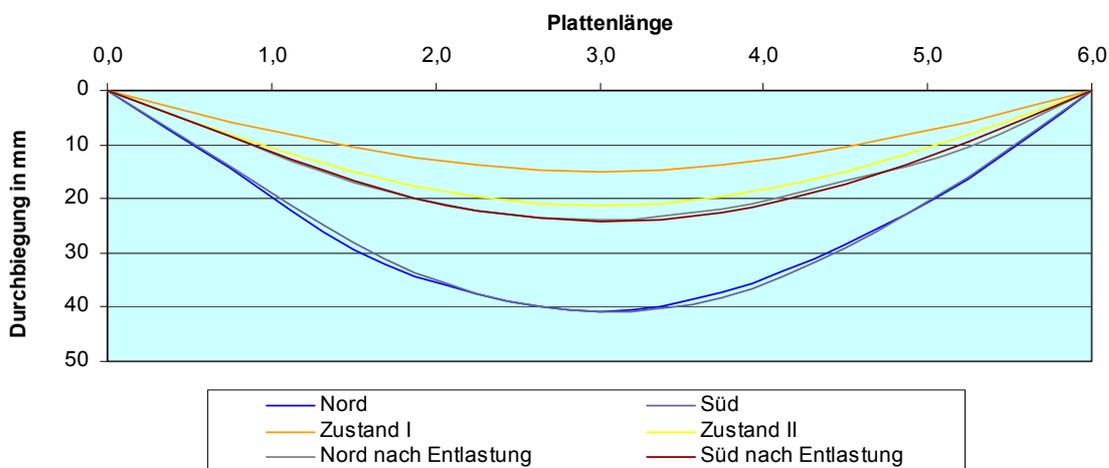


Diagramm 2.4.2.1.5: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 4 und nach der Entlastung

Das zugehörige Rissbild, das die neu entstandenen Risse zeigt, ist nachfolgend aufgeführt.

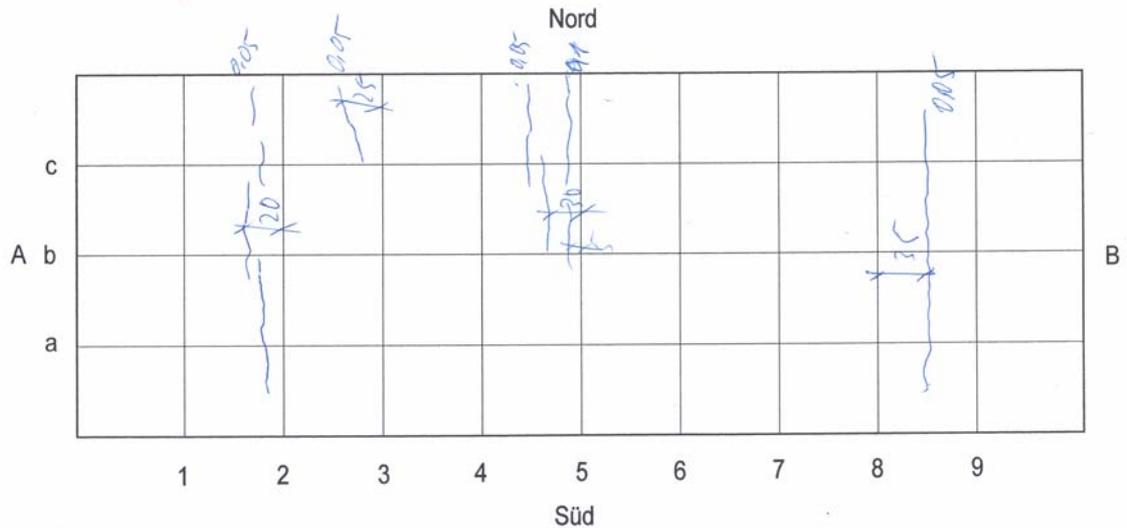


Bild 2.4.2.1.7: Rissbild aus der Laststufe 4

Wie das Rissbild zeigt, sind nur wenig neue Risse entstanden, da sich das Moment nur um 2,25 kNm vergrößerte. Die Risse entstanden jedoch näher am Auflager, waren aber immer noch ca. 1,0 m auf Auflager entfernt. Der Riss in Feldmitte aus der Laststufe 0 hatte bereits eine Weite von 0,3 mm. Die restlichen Risse in Feldmitte lagen zwischen 0,15 und 0,2 mm.

Die Durchbiegung in Feldmitte wurde am nächsten Tag nochmals mit dem Nivelliergerät gemessen und ergab einen Wert von 22,5 mm. Die Platte ging somit über Nacht auf Grund der Entlastung um 1,5 mm zurück.

2.4.2.2 Belasten mit Ortbetoneergänzung als Einfeldträger

Die Platten 4-20-6,0 und 5-20-4,2 wurden beide am Freitag, den 6. September 2003, mit Ortbeton ergänzt. Hierzu wurden nur die Ränder der Stegverbundplatten abgeschalt und zur Seite hin abgestützt, so dass die Stegverbundplatten unterstützungsfrei ausbetoniert werden konnten. Am mittleren Auflager wurden zwischen den beiden Platten 3 cm starke Styroporplatten eingebaut, die ein freies Drehen der einzelnen Platten ermöglichten. Der Beton wurde direkt von der Rutsche des Betonmischers auf die Stegverbundplatten aufgebracht, mit Schaufel und Rechen verteilt und mit einem Flaschenrüttler verdichtet. Zum Höhenabgleich wurde lediglich ein Holzbrett auf je zwei Stege gelegt und der überschüssige Beton somit zwischen den Stegen abgezogen.



Bild 2.4.2.2.1: Abgeschaltete Stegverbundplatten

Die Stegverbundplatten wurden drei Tage später am Montag, den 9. September 2003, ausgeschalt und die SVP 4-20-6,0 am gleichen Tag bis zum Bruchmoment belastet. Die Ortbetoneergänzung wurde in der gleichen Betongüte ausgeführt wie das Fertigteil. An Hand der erstellten Diagramme aus den Betonproben konnte die Würfeldruckfestigkeit der Ortbetoneergänzung zum Zeitpunkt der Belastung von $21,9 \text{ N/mm}^2$ und der E-Modul von 16.600 N/mm^2 bestimmt werden. Die Würfeldruckfestigkeit vom Fertigteil konnte mittels des entsprechenden Diagramms auf $32,7 \text{ N/mm}^2$ und der E-Modul auf 21.973 N/mm^2 bestimmt werden. Zur Berechnung der Durchbiegungen wurden die beiden E-Module entsprechend ihrer Flächenverhältnisse eingesetzt. So ergaben sich ein E-Modul der Gesamtkonstruktion von 19.454 N/mm^2 und eine mittlere Druckfestigkeit von $27,64 \text{ N/mm}^2$. Nach der Erhärtungszeit der Ortbetoneergänzung von 2 Tagen waren teilweise in den Fugen zwischen der Stegverzahnung der Ortbetoneergänzung kleine Haarrisse zu erkennen, die auf Grund des Schwindens des frischen Betons entstanden sind.

Die Krafteinleitung bei der Versuchsdurchführung mit Ortbetonergänzung wurde direkt über die Ortbetonergänzung vorgenommen. Hierzu wurden Holzbretter auf die Ortbetonergänzung gelegt, auf die dann wiederum die Kalksandstein-Paletten gestellt wurden. An Hand dieser Art der Krafteinleitung sollte herausgefunden werden, ob eine Bewehrung für das Hochhängen der Lasten in die Stege erforderlich ist und in wie weit der Verbund über die Stegverzahnung gewährleistet ist.

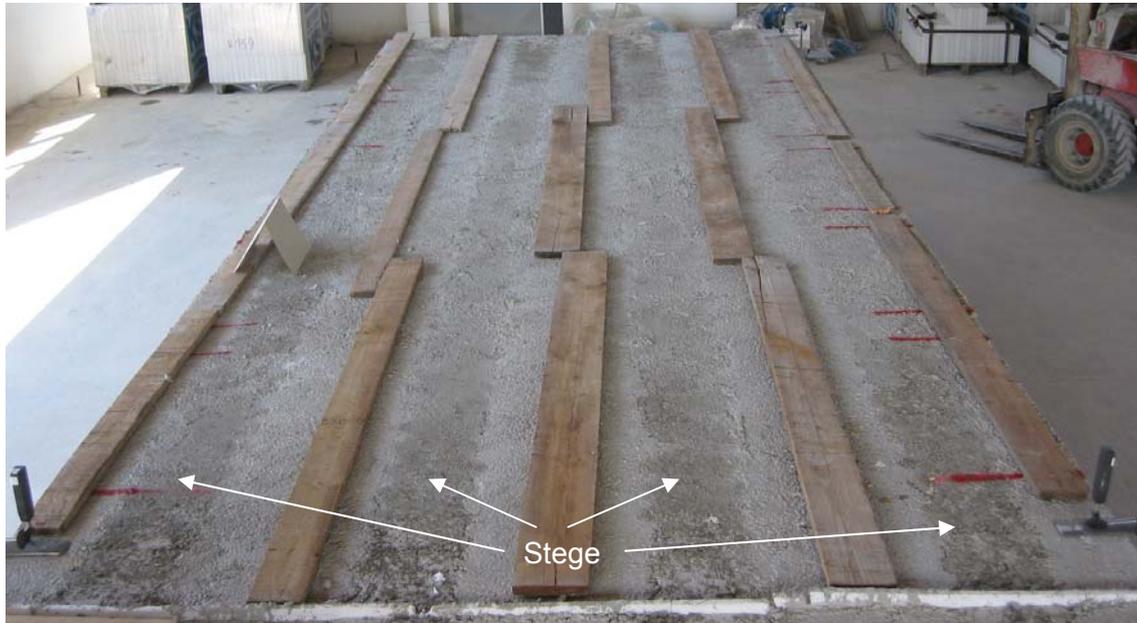


Bild 2.4.2.2.2: Krafteinleitung bei Stegverbundplatten mit Ortbetonergänzung

Das Belastungsschema für die vierte Stegverbundplatte im Endzustand sah wie folgt aus:

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	26,87	73,14	34,83	17,88	31,19	12,38
1	1, 5	7,91	34,78	94,68	45,08	26,91	46,94	18,63
2	1, 5, 3	12,60	47,38	128,98	61,42	31,41	54,79	21,74
3	1, 5, 3, 4	8,74	56,12	152,77	72,75	37,50	65,41	25,96
4	1, 2, 3, 4, 5	8,74	64,86	176,56	84,08	40,41	70,49	27,97
5	1. Reihe voll, 1, 5	7,91	72,77	198,09	94,33	49,41	86,19	34,20
6	1. Reihe voll, 1, 5, 2 (1/2)	4,35	77,12	209,93	99,97	52,46	91,51	36,31
7	1. Reihe voll, 1, 5, 2	4,37	81,49	221,83	105,63	55,50	96,81	38,42
8	1. Reihe voll, 1, 5, 2, 3(1/2)	6,30	87,79	238,98	113,80	57,75	100,74	39,97

Tabelle 2.4.2.2.1: Schema zur Belastung der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung

Nach der Ortbetonergänzung wird nun mit dem Aufbringen einer Palette die Hälfte der Platte aktiviert, so dass die Lasten auf einen Bereich von 1,20 m einwirken. Nachdem die beiden verwendeten Betone zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung unterschiedliche E-Moduli aufwiesen, wurde für das Bemessungsmoments eine Ersatzbreite für den Querschnitt ermittelt, der sich am Verhältnis der beiden E-Moduli orientierte. Somit ergab sich ein Bemessungsmoment von 51,43 kNm, das zu einem maximalen Moment im Gebrauchszustand von 36,74 kNm und einem rechnerischen Bruchmoment von 77,15 kNm führte. Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit im Endzustand lag bei 80,26 kN pro Lastezugsbreite einer Palette. Hieraus ergab sich eine maximale Querkraft unter Gebrauchslast von 57,33 kN und eine maximale Querkraft im Bruchzustand von 144,47 kN.

Das Eigengewicht der Stegverbundplatte hatte sich durch die Ortbetonergänzung von 4,04 t auf 7,16 t erhöht, das eine Durchbiegung von 3,1 cm in Feldmitte hervorrief. Auf Grund der Vorbelastung wies die Platte bereits vor der Ortbetonergänzung eine bleibende Verformung von 2,25 cm auf, so dass die Platte durch den Betoniervorgang um 8,5 mm weiter nach unten ging. Die zulässige Durchbiegung von 2,4 cm ($l/250$) war hier bereits um das 1,3-fache überschritten. In der nächsten Tabelle sind die interpolierten Werte der Durchbiegung aus dem Eigengewicht mit Ortbetonergänzung in den Achtpunkten der Plattenlänge dargestellt.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Verformung	0,00	13,56	23,25	29,06	31,00	29,06	23,25	13,56	0,00

Tabelle 2.4.2.2.1: Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Endzustand aus dem Eigengewicht

Die rechnerischen Durchbiegungen im Zustand I und II sind in der nächsten Tabelle wiedergegeben:

Zustand I	0,00	2,50	4,60	6,00	6,50	6,00	4,60	2,50	0,00
Zustand II	0,00	3,57	6,57	8,57	9,29	8,57	6,57	3,57	0,00

Tabelle 2.4.2.2.2: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0 im Endzustand

Die Tabellenwerte sind im nachfolgenden Diagramm graphisch gegenübergestellt:

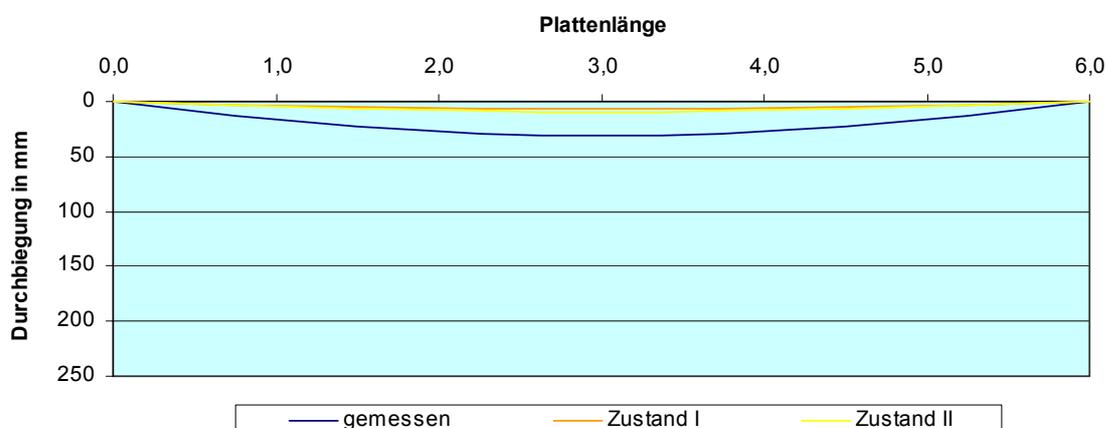


Diagramm 2.4.2.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung aus der Laststufe 0

Wie sich bereits aus den beiden Tabellen erkennen lässt, waren die vorhandenen Durchbiegungen gegenüber dem Zustand I bereits fast 4,8 mal so hoch und bezogen auf den Zustand II um das 3,3-fache größer. Betrachtet man hingegen nur die Zunahme der Durchbiegung der Platte von 8,5 mm, so ist diese höher als die Durchbiegung im Zustand I und niedriger als im Zustand II.

Durch den Betoniervorgang hatten sich keine neuen Risse gebildet; auch die Rissweiten blieben in der Plattenmitte bei 0,15 - 0,20 mm und in der Nähe der beiden Auflagerbereiche bei 0,05 – 0,10 mm. Mit der Ortbetonergänzung erreichte man bereits 71 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und dementsprechend fast 35 % vom rechnerischen Bruchmoment. Die Auflagerkraft lag mit 17,88 kN bei 31 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 12 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.4.2.2.3: Durchbiegung der SVP 4-20-6,0 nach der Ortbetonergänzung

Die *erste Laststufe* bestand darin, ein Moment in Feldmitte von 34,78 kNm zu erzeugen. Dies entspricht knapp 95 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und 45 % des rechnerischen Bruchmoments. Der Momentenzuwachs von 7,91 kNm in Feldmitte wurde durch das Aufbringen von Kalksandstein-Paletten auf die Positionen 1 und 5 hervorgerufen.



Bild 2.4.2.2.4: Laststufe 1 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung

Nach dem Aufbringen der Belastungskörper wurden folgende Durchbiegungen der Platte gemessen:

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	15,16	25,94	32,40	34,61	32,38	25,88	15,11	0,00
ges. Süd	0,00	15,22	25,97	32,46	34,29	32,44	25,95	15,19	0,00
Mittelwert	0,00	15,19	25,96	32,43	34,45	32,41	25,92	15,15	0,00

Tabelle 2.4.2.2.3: Verformungen aus der Laststufe 1

Wie die Tabelle zeigt, nahm die Durchbiegung in Feldmitte im Mittel um 3,5 mm zu. Betrachtet man die rechnerischen Durchbiegungen, so ist eine Zunahme im Zustand I von 2,6 mm und im Zustand II von 3,72 mm zu verzeichnen. Die an der SVP entstandene Erhöhung der Durchbiegung kann somit mit der im Zustand II gleich gesetzt werden.

Zustand I	0,00	3,40	6,20	8,10	8,70	8,10	6,20	3,40	0,00
Zustand II	0,00	4,86	8,86	11,57	12,43	11,57	8,86	4,86	0,00

Tabelle 2.4.2.2.4: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1 im Endzustand

Die graphische Gegenüberstellung der rechnerischen und gemessenen Durchbiegungen ist im nächsten Diagramm dargestellt:

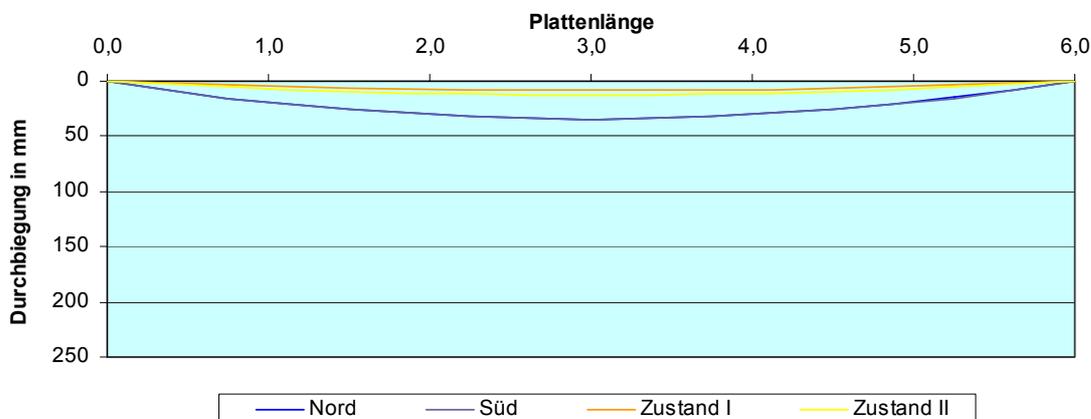


Diagramm 2.4.2.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 1 im Endzustand

Das Rissbild der Platte (*Bild 2.4.2.2.5*) zeigte, dass vier neue Risse entstanden waren. Drei davon hatten eine Rissweite von 0,10 mm und einer am nördlichen Plattenrand 0,15 mm. Die Weiten der bereits vorhandenen Risse lagen in Feldmitte bei 0,20 – 0,25 mm und in Richtung des Auflagers bei 0,1 mm. An den Auflagerbereichen waren keine Risse erkennbar. Die vorhandene maximale Querkraft an den Auflagern lag bei 26,91 kN, was fast 47 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 19 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.

Die Zunahme der Risse durch die Laststufe 1 ist im nächsten Bild dargestellt:

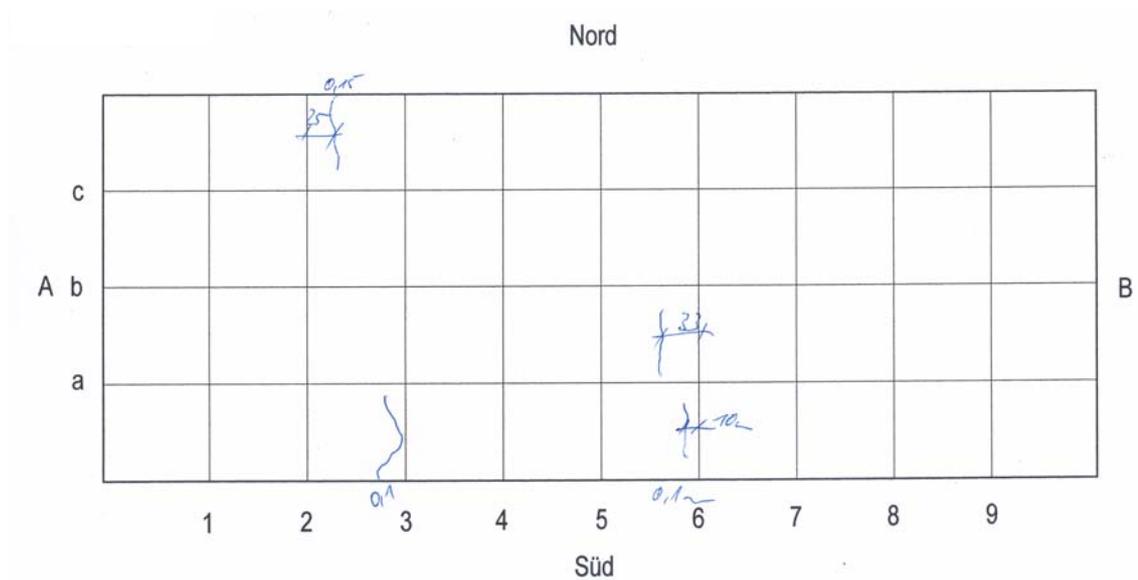


Bild 2.4.2.2.5: Rissbild aus der Laststufe 1 mit Ortbetonergänzung

Für die **zweite Laststufe** wurden zwei Kalksandstein-Paletten auf die Position 3 aufgebracht. Der hierdurch herbeigeführte Momentenzuwachs von 4,69 kNm erzeugte ein Moment von 47,38 kNm in Feldmitte. Das entsprach 129 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast, das wiederum etwa 61 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die vorhandene Querkraft erreichte mit 31,41 kN etwa 55 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 22 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.4.2.2.6: Laststufe 2 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung

Der Momentenzuwachs verursachte eine mittlere Erhöhung der Durchbiegung von 10,15 mm auf 44,6 mm. Dies entspricht dem 1,86-fachen Wert der zulässigen Durchbiegung. Die gemessenen Durchbiegungen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	19,34	33,19	41,84	44,76	41,82	33,09	19,16	0,00
ges. Süd	0,00	19,41	33,28	42,02	44,44	41,99	33,27	19,40	0,00
Mittelwert	0,00	19,38	33,23	41,93	44,60	41,91	33,18	19,28	0,00

Tabelle 2.4.2.2.5: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 2

Die rechnerischen Verformungen sind in der *Tabelle 2.4.2.2.6* aufgelistet.

Zustand I	0,00	4,40	8,00	10,40	11,20	10,40	8,00	4,40	0,00
Zustand II	0,00	6,29	11,43	14,86	16,00	14,86	11,43	6,29	0,00

Tabelle 2.4.2.2.6: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 2 im Endzustand



Während sich die rechnerische Durchbiegung im Zustand II von 12,43 auf 16,00 mm in Feldmitte erhöhte, wuchs die gemessene von 34,45 auf 44,6 mm an. Betrachtet man hingegen das Verhältnis der Zunahme der Durchbiegungen, so ist zu erkennen, dass beide eine Vergrößerung von 30 % aufwiesen. Die Zunahme des Moments in Feldmitte lag bei 36 %.

Bild 2.4.2.2.7: Durchbiegung der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetoneergänzung bei Laststufe 2

Das nächste Diagramm stellt die rechnerischen den vorhandenen Durchbiegungen gegenüber.

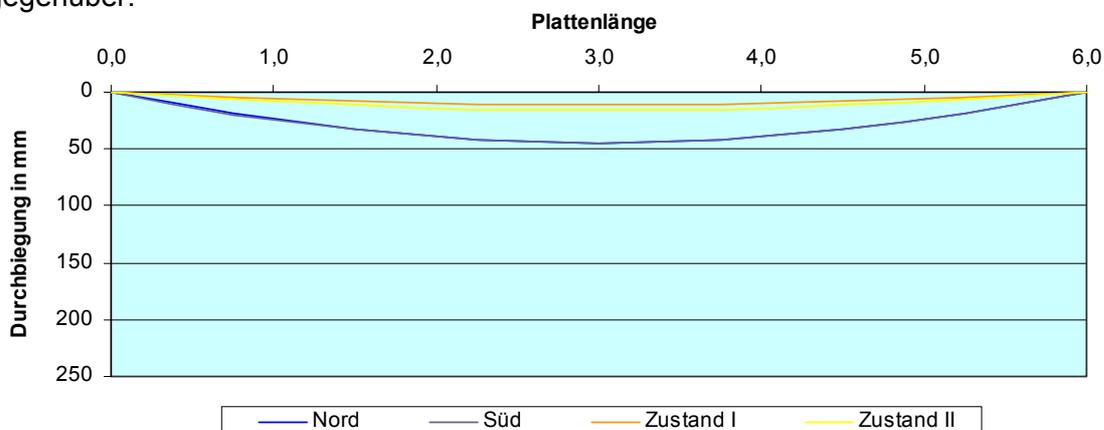


Diagramm 2.4.2.2.3: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 2 im Endzustand

Dem Diagramm der Durchbiegungen wird das der Risszunahme gegenübergestellt:

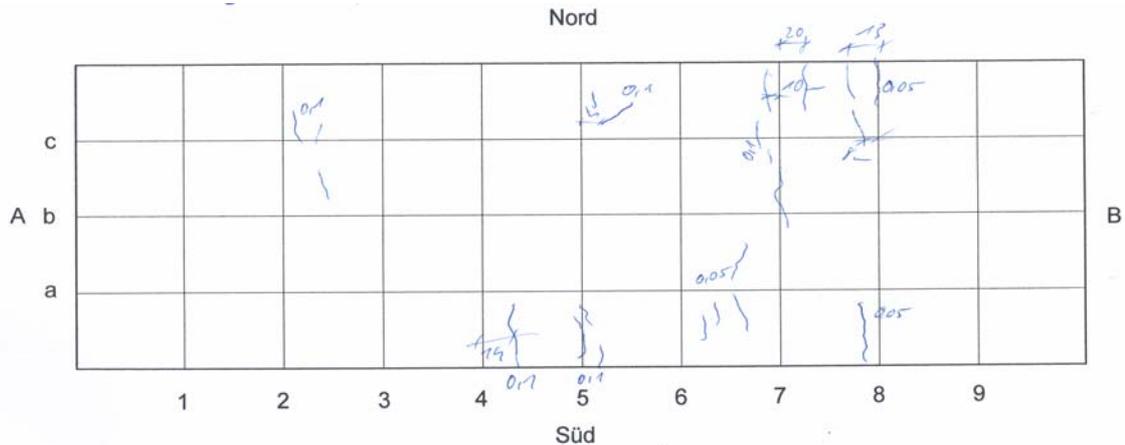


Bild 2.4.2.2.7: Rissbild aus der Laststufe 2 mit Ortbetoneingussung

Wie aus dem Bild zu erkennen ist, sind zwischen den Rasterlinien 6 und 8 die meisten neuen Risse entstanden. Diese vereinen teilweise die bereits vorhandenen Risse zu einem über die gesamte Plattenbreite verlaufendem Riss. Die Weiten der neuen Risse lagen am Plattenrand bei 0,05 mm und in der Plattenmitte bei 0,10 mm. Die bereits bestehenden Risse in Plattenmitte gingen auf 0,25 – 0,30 mm auf, die in Auflagernähe befindlichen Risse hatten eine Rissweite von 0,20 mm. Der Abstand der Risse zur Auflagermitte lag bei ca. 1,20 m.



Bild 2.4.2.2.8: Laststufe 3 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetoneingussung

Die *dritte Laststufe* erzeugte ein Moment in Feldmitte von 56,12 kNm, was etwa 153 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und somit fast 73 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Hierfür wurden zwei weitere Paletten auf die Position 4 gestellt. Die hieraus entstandenen Durchbiegungen sind in der *Tabelle 2.4.2.2.7* wiedergegeben.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	27,55	48,08	61,89	67,11	63,20	49,65	28,38	0,00
ges. Süd	0,00	28,67	48,24	62,14	66,56	62,54	50,08	28,87	0,00
Mittelwert	0,00	28,11	48,16	62,02	66,84	62,87	49,86	28,63	0,00

Tabelle 2.4.2.2.7: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 3

Die Durchbiegung in Feldmitte erhöhte sich von 44,60 auf 66,94 mm, das entsprach einer Erhöhung von 50 %, bei einem Momentenzuwachs von 18 %. Betrachtet man die rechnerischen Durchbiegungen, so ist eine Zunahme der Durchbiegung von 16,00 auf 19,14 mm herauszulesen, das einer Erhöhung von 19 % gleich kommt und somit etwa dem der Momentenerhöhung entspricht.

Zustand I	0,00	5,30	9,70	12,50	13,40	12,50	9,70	5,30	0,00
Zustand II	0,00	7,57	13,86	17,86	19,14	17,86	13,86	7,57	0,00

Tabelle 2.4.2.2.8: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 3 im Endzustand

Das nachfolgende Diagramm stellt die Tabellen 2.4.2.2.7 und 2.4.2.2.8 graphisch gegenüber.

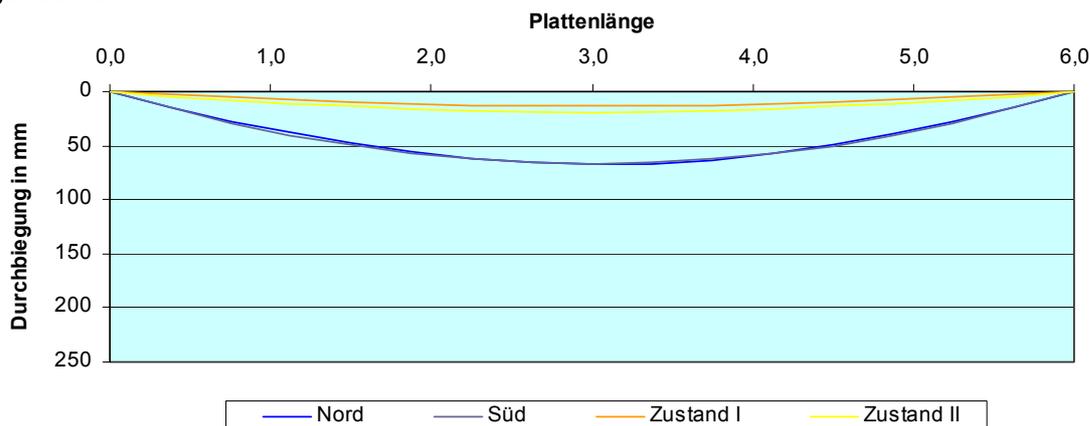


Diagramm 2.4.2.2.4: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 3 im Endzustand

Bei der Rissbeobachtung war festzustellen, dass sich jetzt die meisten Risse am Plattenrand bildeten, die Weiten von 0,10 mm – 0,15 mm aufwiesen (siehe Bild 2.4.2.2.9). Die bereits vorhandenen Risse gingen in der Plattenmitte bis auf 0,35 mm und in Richtung Auflager bis zu 0,20 mm. Bei dieser Laststufe war der erste Riss in einem Abstand von ca. 90 cm vom Auflager zu erkennen. Die vorhandene Querkraft von 37,5 kN entsprach 65 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 26 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Die aus der Laststufe 3 neu entstandenen Risse sind im nächsten Bild wiedergegeben.

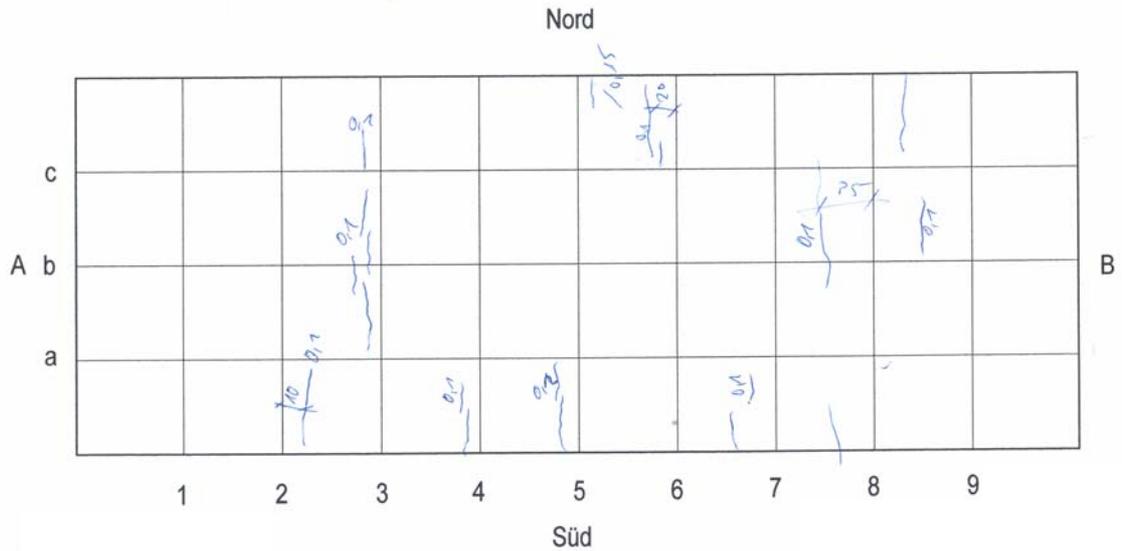


Bild 2.4.2.2.9: Rissbild aus der Laststufe 3 mit Ortbetonergänzung



Die *vierte Laststufe* schloss die erste Reihe der Belastungskörper, so dass in Feldmitte ein Moment von 64,86 kNm vorhanden war. Dies waren fast 177 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast bzw. 84 % des rechnerischen Bruchmoments. Der Momentenzuwachs von 15 % rief eine Erhöhung der Durchbiegung von 53 % hervor. Die Erhöhung der rechnerischen Durchbiegung im Zustand II bestätigt den Momentenzuwachs von 15 %. An dieser Stelle muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass der gewählte Ansatz ($I_{II} = 0,7 \cdot I_I$) nur für den Gebrauchszustand gültig ist, da höhere Lasten zu erheblich größeren Krümmungen und Durchbiegungen führen. Die Durchbiegung der Platte ist gut im nebenstehenden Bild zu erkennen.

Bild 2.4.2.2.10: Laststufe 4 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung

Die nachfolgenden beiden Tabellen geben die gemessenen und rechnerischen Durchbiegungen wieder.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	41,87	73,37	95,05	102,87	95,98	74,89	42,26	0,00
ges. Süd	0,00	42,04	73,42	95,32	102,03	95,45	75,42	42,90	0,00
Mittelwert	0,00	41,95	73,40	95,18	102,45	95,71	75,16	42,58	0,00

Tabelle 2.4.2.2.9: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 4

Zustand I	0,00	6,00	11,10	14,40	15,50	14,40	11,10	6,00	0,00
Zustand II	0,00	8,57	15,86	20,57	22,14	20,57	15,86	8,57	0,00

Tabelle 2.4.2.2.10: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 4 im Endzustand

Die graphische Gegenüberstellung der beiden Tabellenwerte ist im nächsten Diagramm zusammengestellt:

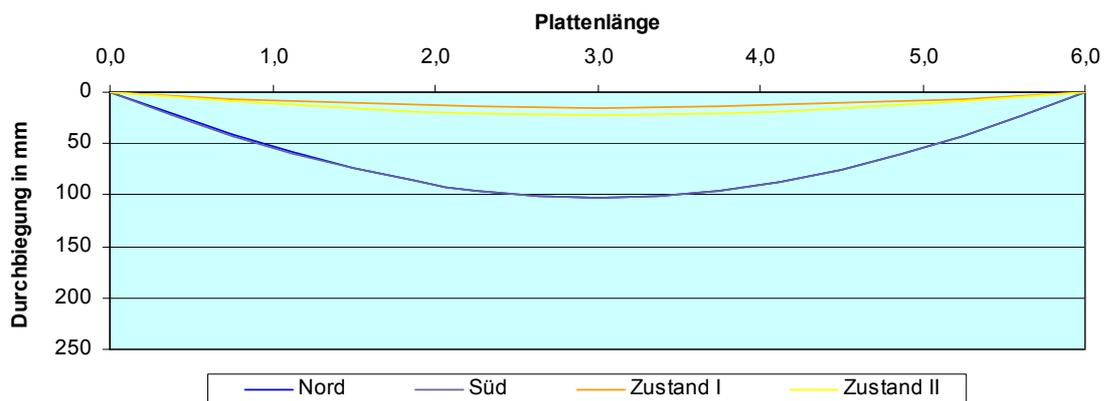


Diagramm 2.4.2.2.4: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 4 im Endzustand

Das Rissbild, das die neu entstandenen Risse zeigt, ist im nächsten Bild festgehalten.

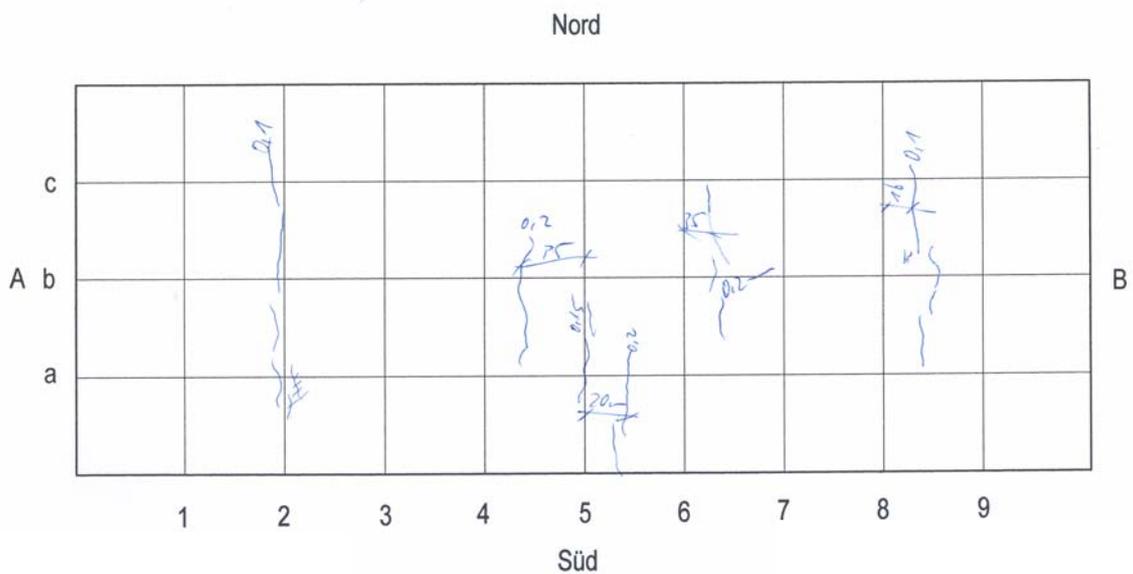


Bild 2.4.2.2.11: Rissbild aus der Laststufe 4 mit Ortbetonergänzung

Das Rissbild zeigt, dass sich der Riss 80 cm vor dem Auflager B vergrößerte. Die neu entstandenen Risse wiesen bereits eine Stärke von bis zu 0,2 mm auf. Etwa 1,20 m vom Auflager A entfernt entstand ebenfalls ein neuer Riss. Die Rissweiten in Feldmitte beliefen sich auf 0,45 mm und in Richtung der Auflager auf 0,30 mm. Der Rissabstand zum Auflager betrug noch ca. 90 cm, das etwa $5,4 \cdot d$ entsprach. Die vorhandene Querkraft lag bei 40,41 kN, das wiederum 70 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 28 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.



Bild 2.4.2.2.12 Risse aus der Laststufe 4 in Feldmitte

Die Risse in Feldmitte reichten vereinzelt bis zur Ortbetoneergänzung, wie das oben stehende Bild zeigt.

Die **Laststufe 5** bestand darin, in die zweite Ebene der Belastungskörper auf die Positionen 1 und 5 jeweils zwei Kalksandstein-Paletten aufzubringen.



Bild 2.4.2.2.13: Laststufe 5 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetoneergänzung

Durch die zusätzlichen Paletten entstand in Feldmitte ein Moment von 72,77 kNm, das 198 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und 94 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die Auflagerkraft von 49,41 kN erreichte 86 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 34 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Die an der Platte aufgetretenen Durchbiegungen sind in der nächsten Tabelle zusammengefasst.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	64,34	114,90	149,89	162,39	150,53	116,28	64,86	0,00
ges. Süd	0,00	64,82	114,89	150,15	160,24	150,12	117,08	65,87	0,00
Mittelwert	0,00	64,58	114,89	150,02	161,31	150,33	116,68	65,36	0,00

Tabelle 2.4.2.2.11: Verformungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 5

Nach den vorhandenen Verformungen sind nachfolgend die rechnerischen in einer Tabelle zusammengefasst.

Zustand I	0,00	7,00	12,70	16,50	17,80	16,50	12,70	7,00	0,00
Zustand II	0,00	10,00	18,14	23,57	25,43	23,57	18,14	10,00	0,00

Tabelle 2.4.2.2.12: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 5 im Endzustand

Die maximale Durchbiegung in Feldmitte von 161 mm war mittlerweile bereits auf das 6,3-fache der rechnerischen im Zustand II angewachsen. Der Zunahme der Durchbiegung von 57 % steht ein Momentenzuwachs von 12 % gegenüber. Die große Zunahme der Durchbiegung ist vor allem auf die mittlerweile sehr starke Rissbildung zurückzuführen.

Im nächsten Diagramm sind die Durchbiegungen der Laststufe 5 graphisch zusammengefasst.

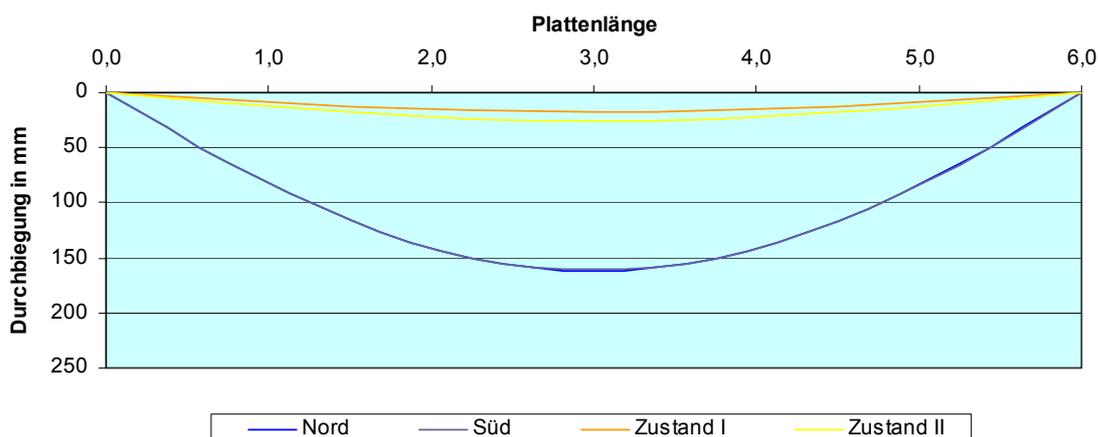


Diagramm 2.4.2.2.5: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 5



Wie das Diagramm zeigt, war die Durchbiegung der Platte in Feldmitte mittlerweile bei über 15 cm angekommen. Um die enormen Längenunterschiede von der Oberkante zur Unterkante der Platte auszugleichen, sind hauptsächlich die bereits bestehenden Risse weiter aufgegangen. Es sind lediglich drei neue Risse hinzugekommen, die jedoch ca. 60 cm vom Auflager entfernt waren, eine Weite von 0,1 mm aufwiesen und über die gesamte Plattenbreite verliefen. Die bereits bestehenden Risse in Feldmitte erreichten mittlerweile eine Weite von 0,45 – 0,50 mm. Die alten Risse in Richtung Auflager hatten Weiten von 0,25 – 0,35 mm. Aufgrund dieser großen Rissweiten wurde aus Sicherheitsgründen auf eine weitere Dokumentation der Risse von unten verzichtet.

Bild 2.4.2.2.14: Verformungen aus der Laststufe 5

Die bereits bestehenden Risse an den Seiten der Platten reichten weiter in die Ortbetonergänzung. Alte Risse, die bisher nur im Fertigteil verliefen, gingen weiter auf, so dass insgesamt mehr Risse in der Ortbetonergänzung vorhanden waren. An der Plattenoberseite waren jedoch noch keine Risse zu erkennen.

Die **6. Laststufe** verursachte in Feldmitte ein Moment von 77,12 kNm. Mit dieser Laststellung wurde das maximale Moment aus der Gebrauchslast zu fast 210 % und das rechnerische Bruchmoment zu fast 100 % erreicht. Der Momentenzuwachs von 4,35 kNm wurde durch zwei halbe Paletten erzeugt, die auf die Position 2 gestellt wurden. Es wurden zunächst nur halbe Paletten aufgelegt, um einen kleineren Momentenzuwachs zu erzeugen. Die Querkraft (52,46 kN) erreichte knapp 92 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und somit 36 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.4.2.2.15: Laststufe 6 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung

Wie das Bild zeigt, konnten bei dieser Laststellung nicht mehr alle Messuhren abgelesen werden. Auf der Nordseite musste die mittlere und auf der Südseite zwei Messuhren abgebaut werden, da die Durchbiegungen zu groß wurden. Die interpolierten Werte sind in der Tabelle „fett“ geschrieben.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	96,87	175,88	231,90	246,05	229,77	174,45	96,20	0,00
ges. Süd	0,00	98,53	176,12	229,67	246,27	229,98	176,00	97,56	0,00
Mittelwert	0,00	97,70	176,00	230,79	246,16	229,87	175,22	96,88	0,00

Tabelle 2.4.2.2.13: Verformungen aus der Laststufe 6

Den gemessenen Verformungen werden in der nächsten Tabelle die rechnerischen in den Zuständen I und II gegenübergestellt.

Zustand I	0,00	7,30	13,40	17,40	18,80	17,40	13,40	7,30	0,00
Zustand II	0,00	10,43	19,14	24,86	26,86	24,86	19,14	10,43	0,00

Tabelle 2.4.2.2.14: Rechnerische Verformungen der SVP 4-20-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 6 im Endzustand

Der Vergleich der beiden Tabellen zeigt, dass die gemessene Durchbiegung in Feldmitte um fast 53 % zugenommen hat und somit ca. 9,2 mal so hoch ist wie die rechnerische im Zustand II. Dieser große Unterschied ist auch im nächsten Diagramm deutlich zu erkennen.

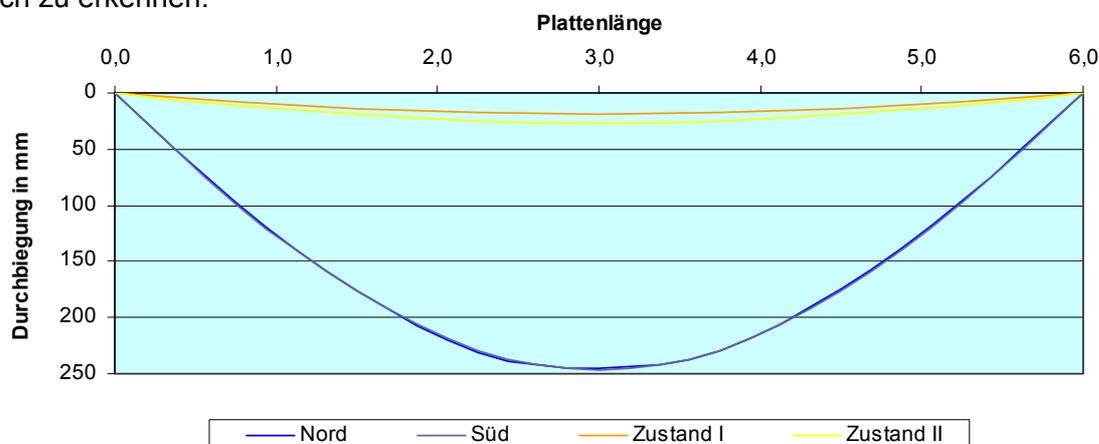


Diagramm 2.4.2.2.6: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 4-20-6,0 aus der Laststufe 6



Die Risse in Feldmitte gingen weiter auf. Es sind nur noch wenige neue Risse entstanden. Am Plattenrand konnte beobachtet werden, dass mittlerweile die meisten Risse in Plattenmitte in die Ortbetonergänzung ragten. An der Plattenoberseite waren noch keine Risse erkennbar. Es konnte ein besenförmiges Aufreißen der Risse an den Seitenflächen der Platte beobachtet werden. Die in Auflagernähe befindlichen Risse gingen nicht bis zur Ortbetonergänzung. Nach dieser Laststellung wurden alle Messuhren aus Sicherheitsgründen abgebaut.

Bild 2.4.2.2.16: Durchbiegung der Platte aus der Laststufe 6

In Feldmitte war weiterhin zu erkennen, dass sich ein Riss am südlichen Plattenrand zwischen der Ortbetonergänzung und dem Fertigteil gebildet hatte. Auf Grund der großen Durchbiegung und den damit verbundenen stark unterschiedlichen Längenänderungen der Druck- und Zugzone, begann sich der Verbund zwischen Ortbetonergänzung und Fertigteilplatte zu lösen.

Die **Laststufe 7** wurde erzeugt, indem die zwei halben Paletten durch ganze ersetzt wurden. Hierdurch wurde das Moment in Feldmitte auf 81,49 kNm erhöht. Dies entsprach fast 222 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 106 % des rechnerischen Bruchmoments. Die aus dieser Laststellung entstandene Querkraft von 55,50 kN entsprach etwa 97 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 38 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.4.2.2.17: Laststufe 7 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung



Bei dieser Laststufe konnte die Durchbiegung nicht mehr festgestellt werden, da die Platte kein Gleichgewicht mehr fand und die Durchbiegung stetig aber sehr langsam weiter zunahm. Die Durchbiegung der Platte ist im nachfolgenden Bild nochmals verdeutlicht.

Bild 2.4.2.2.18: Durchbiegung der Platte aus der Laststufe 7

An der Ortbetonergänzung waren seitlich neue Risse zu erkennen. Mit zunehmender Nähe zu den Auflagern wurden sie kleiner und geradliniger. In der Plattenmitte waren sie stark verzweigt.

Zwischen der Plattenunterkante und der Abfangkonstruktion in Feldmitte war nur noch wenig Spielraum, so dass mit dem Aufbringen weiterer Belastungskörper das Aufliegen der SVP auf die Abfangkonstruktion zu erwarten war. Hierzu wurden für die **8. Laststufe** zwei halbe Paletten auf die Position 3 gestellt. Das Moment in Feldmitte stieg somit auf 87,79 kNm an, das 240 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 114 % der rechnerischen Bruchlast entsprach.



Bild 2.4.2.2.19: Laststufe 8 der SVP 4-20-6,0 mit Ortbetonergänzung

Wie zu erwarten war, legte sich die SVP nach dem Aufbringen der Kalksandstein-Paletten auf die Abfangkonstruktion auf. Eine deutliche Versagensart war nicht zu erkennen. Die Länge der Risse an der Ortbetonergänzung in Feldmitte war maximal $\frac{2}{3}$ der Plattenstärke, wie dies die nächsten Bilder zeigen.



Bild 2.4.2.2.20: Rissbild in Feldmitte



Bild 2.4.2.2.21: Rissbild in Auflagernähe

2.4.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Bei der Betrachtung des Rissbildes an der Plattenunterseite nach der Entlastung der Platte waren unter anderem auch Längsrisse zu erkennen. Die Rissweiten in Feldmitte der Querrisse lagen bei ca. 1,5 mm, wie das nächste Bild zeigt. Zu den seitlichen Rändern der Platte verzweigten sich einige. An manchen Stellen brachen auch kleine Betonstücke aus der Platte heraus.

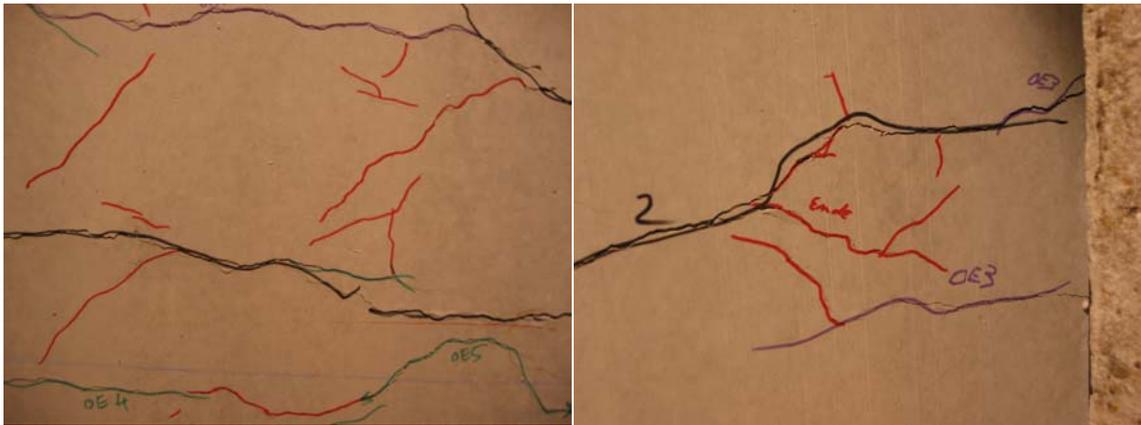


Bild 2.4.3.1: Rissbild in Plattenmitte

Bild 2.3.2: Rissbild am Plattenrand

Der am südlichen Plattenrand aus der Laststufe 6 entstandene Riss zwischen Ortbetoneergänzung und Fertigteilplatte erreichte eine Weite von 0,8 – 1,0 mm.



Bild 2.4.3.3: Riss zwischen Ortbetoneergänzung und Fertigteilplatte

Wie anfangs bereits erwähnt sollte durch die direkte Krafteinleitung untersucht werden, ob Bewehrung für das Hochhängen der Lasten in die Stege notwendig ist und ob der Verbund über die Stegverzahnung gewährleistet ist. Bei der Betrachtung der Stegverbundplatte nach dem Entlasten an der Plattenoberseite waren weder Risse an den Fugen der Stegverzahnung noch an anderen Stellen der Plattenoberfläche zu erkennen. Dies zeigte, dass der Stegverbund sehr gut funktionierte und keine Bewehrung für das Hochhängen der Lasten in die Stege erforderlich war.

Das nächste Diagramm stellt die vorhandenen Durchbiegungen in Feldmitte der SVP 1-20-6,0 und SVP 4-20-6,0 im Bauzustand den jeweiligen Momenten in Feldmitte gegenüber.

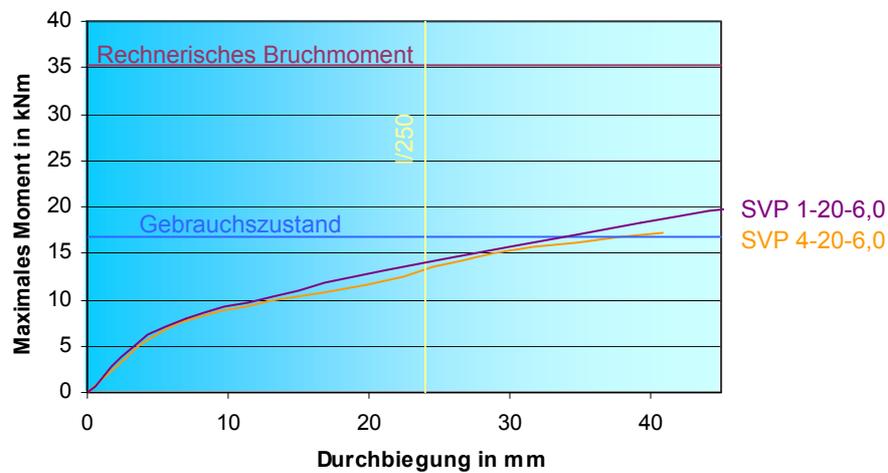


Diagramm 2.4.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen der SVP 1-20-6,0 und 4-20-6,0 zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Wie das Diagramm zeigt, verlaufen die Kurven der beiden Stegverbundplatten im Bauzustand am Anfang nahezu identisch. Mit dem Erreichen des Momentes in Feldmitte von 10 kNm wichen die beiden Platten etwas voneinander ab, so dass sich die vierte Stegverbundplatte beim Gebrauchszustand etwas mehr durchbog als die erste. Die zulässige Durchbiegung von 2,4 cm überschritten beide Platten kurz vor dem Erreichen des maximalen Momentes im Gebrauchszustand.

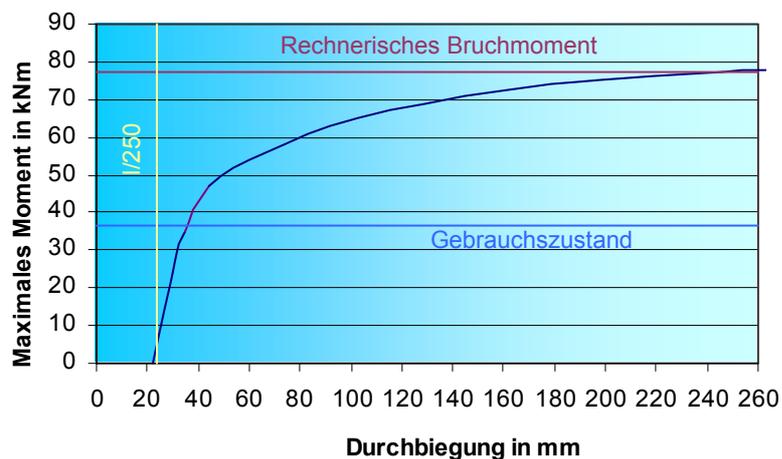


Diagramm 2.4.3.2: Gegenüberstellung der Durchbiegung zu den Momenten bei der Belastung im Endzustand

Vergleicht man die Durchbiegung in Feldmitte im Endzustand mit der zulässigen Durchbiegung ($l/250$), so ist zu erkennen, dass diese fast nach der Entlastung der Platte aus der Vorbelastung erreicht war. Diese hohe Durchbiegung durch die Ortbetonergänzung beruhte einerseits auf den bereits gerissenen Zustand der Platte durch die Vorbelastung und andererseits auf den niedrigeren E-Modul des verwendeten Betons.

Im nächsten Diagramm sind die maximalen Rissbreiten den zugehörigen maximalen Momenten der jeweiligen Laststufe gegenübergestellt. Zunächst stellt das Diagramm die Momente und Durchbiegungen aus der Vorbelastung dar.

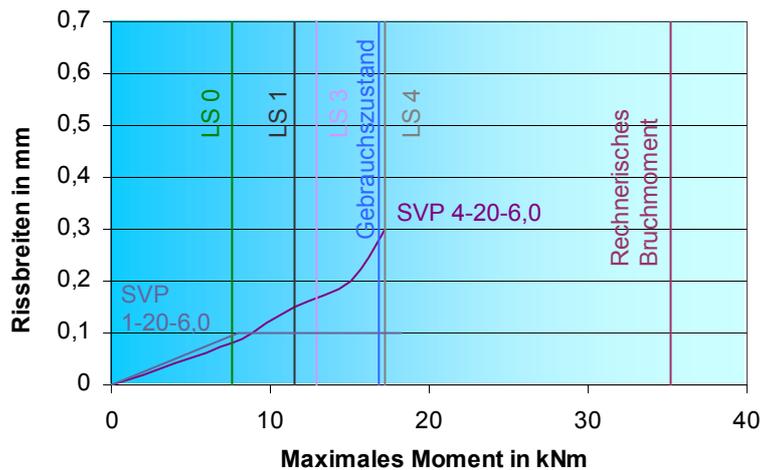


Diagramm 2.4.3.3: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Das Diagramm zeigt deutlich, dass mit vier Laststufen etwas mehr als das maximale Moment aus der Gebrauchslast auf die SVP aufgebracht wurde. Die Kurve bei der SVP 4-20-6,0 ist hauptsächlich vom Riss in der Plattenmitte geprägt, der aus der Belastung durch das Eigengewicht entstanden war. In der Kurve ist die Anzahl der Risse nicht enthalten. Aus ästhetischen Gesichtspunkten ist nach der DIN 1045-1 eine Rissweite von weniger als 0,4 mm anzustreben. Diese Vorgabe ist bei der SVP 4-20-6,0 eingehalten. Des Weiteren ist eine rechnerische Rissweite bei Stahlbetonbauteilen von 0,3 mm in den meisten Umgebungsklassen für die quasi-ständige Einwirkungskombination zulässig. Für manche Klassen kann der Wert sogar auf 0,4 mm erhöht werden.

Vergleicht man diese Stegverbundplatte mit der SVP 1-20-6,0, so ist zu erkennen, dass die Rissweiten hier höher waren. Bei der ersten SVP lagen die Rissweiten bei 0,1 mm bis zum rechnerischen Bruchmoment, wobei die Anzahl der Risse dafür größer war.

Die Rissweiten sind nachfolgend den zugehörigen Momenten in Bezug auf die Belastung der SVP im Endzustand gegenübergestellt.

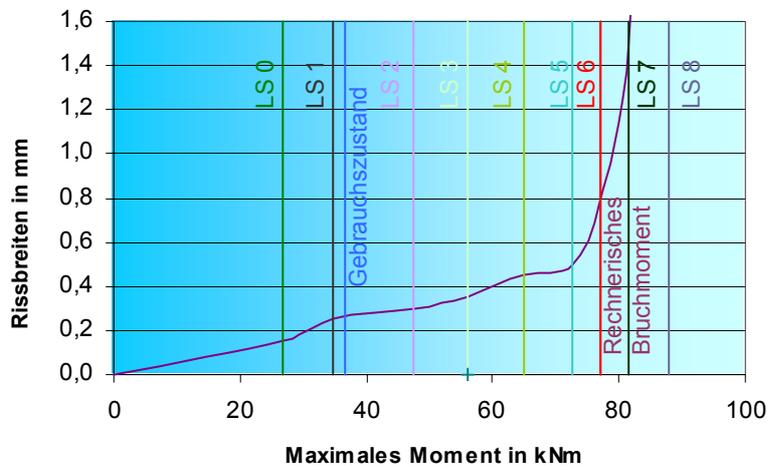


Diagramm 2.4.3.4: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Endzustand

Das Diagramm verdeutlicht, dass beim maximalen Moment aus der Gebrauchslast die Rissbreite bei knapp 0,3 mm lag. Dies bedeutet, dass die Rissweite zur Wahrung der ästhetischen Gesichtspunkte (0,4 mm) eingehalten war. Die Rissbreitenbeschränkung nach der Regel 11.2 der DIN 1045-1 ist nur für die Anforderungsklasse F für die quasi-ständige Einwirkungskombination eingehalten. Die Rissweiten stiegen fast konstant an, bis sie sich nach der Laststufe 5 schlagartig vergrößerten.

2.5 Stegverbundplatte 5-20-4,2

2.5.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die fünfte Stegverbundplatte wurde am Mittwoch, den 4. September 2002, in der Frühe hergestellt. Die Längs- und Querbewehrung wurde analog der zweiten Versuchsplatte eingelegt. Die Längsbewehrung lag bei $2,92 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand $17,5 \text{ cm}$) und in Querrichtung von $2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 25 cm). Für den Betoniervorgang wurden die Höhen analog der vorherigen Platte eingestellt. Wie auch hier das Ergebnis zeigte, hatte sich diese Art der Herstellung für die Versuchsplatten bewährt. Die Stege waren gut verdichtet und die vorgegebenen Maße wurden eingehalten.

2.5.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

2.5.2.1 Vorbelasten

Die Platte wurde zunächst am Freitag, den 6. September, auf die Höhe der Gebrauchslast vorbelastet. Nach dem Entfernen der Belastungskörper wurde sie am gleichen Tag eingeschalt und ausbetoniert. Die Ortbetoneergänzung wurde gleichzeitig mit der SVP 4-20-6,0 ausgeführt.

Für die fünfte Stegverbundplatte im Bauzustand ergab sich analog der zweiten ein Bemessungsmoment von $11,66 \text{ kNm}$ pro Steg, das zu einem maximalen Moment im Gebrauchszustand von $8,33 \text{ kNm}$ pro Steg und zu einem rechnerischen Bruchmoment von $17,49 \text{ kNm}$ pro Steg führte. In Bezug auf die Querkraft ergab sich ein Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit von $14,62 \text{ kN}$ pro Steg und eine maximale Querkraft unter Gebrauchslast von $10,44 \text{ kN}$ pro Steg und eine maximale Querkraft im Bruchzustand von $26,32 \text{ kN}$ pro Steg.

Für die Vorbelastung wurden zwei Laststufen aufgebracht, so dass knapp 102 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast erreicht wurden.

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	3,68	44,13	21,01	3,50	33,52	13,30
1	1	2,39	6,07	72,82	34,68	5,75	55,06	21,85
2	1, 3	4,78	8,46	101,52	48,34	8,00	76,61	30,40

Tabelle 2.5.2.1.1: Schema zur Vorbelastung der SVP 5-20-4,2

Nach der Dauer der Lagerung der Stegverbundplatte konnte zum Zeitpunkt der Vorbelastung eine Würfeldruckfestigkeit von 20 N/mm^2 und ein E-Modul von 15.000 N/mm^2 aus dem entsprechenden Diagramm der Probewürfel herausgelesen werden.

Das Eigengewicht betrug 2,80 t. Mit einer Wichte von 25 kN/m^3 beträgt das rechnerische Eigengewicht 2,68 t und bestätigt somit, dass die Maße der Platte im Großen und Ganzen eingehalten waren.



Bild 2.5.2.1.1: Laststufe 0 der SVP 5-20-4,2

Nach dem Auflegen der Platte auf die Versuchseinrichtung und dem Ausrichten der Messuhren wurde die Durchbiegung auf Grund ihres Eigengewichts zu 3 mm gemessen. Die rechnerischen Durchbiegungen in den Zuständen I und II sind in der nächsten Tabelle wiedergegeben.

Zustand I	0,00	0,80	1,50	2,00	2,10	2,00	1,50	0,80	0,00
Zustand II	0,00	1,14	2,14	2,86	3,00	2,86	2,14	1,14	0,00

Tabelle 2.5.2.1.2: Rechnerische Verformungen der SVP 5-20-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

Die rechnerischen Durchbiegungen sind den gemessenen im nächsten Diagramm graphisch gegenübergestellt:

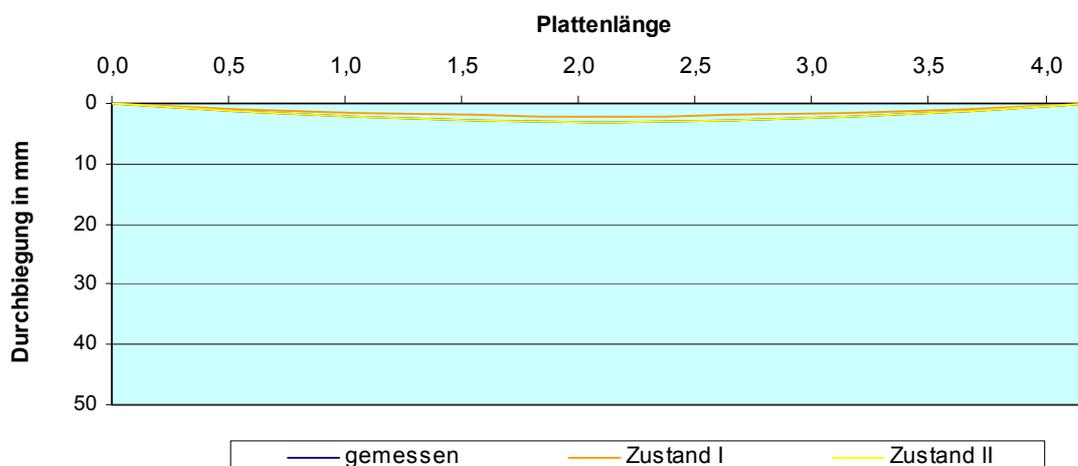


Diagramm 2.5.2.1.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 5-20-4,2 aus der Laststufe 0

Der Vergleich der gemessenen Durchbiegung von 3 mm in Feldmitte mit der *Tabelle 2.5.2.1.2* zeigt, dass dies dem rechnerischen Wert im Zustand II entspricht. Die Betrachtung der Stegverbundplatte hingegen ergab, dass keine Risse an der Versuchsplatte erkennbar waren, das auf den niedrigen E-Modul zurückzuführen ist. Durch das Eigengewicht der Platte wurde ein Moment in Feldmitte von 3,68 kNm erzeugt, das etwa 44 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und somit 21 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die Querkraft an den Auflagern von 3,5 kN pro Steg lag bei etwa knapp 34 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 13 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Als *erste Laststufe* wurden zwei Paletten auf die Position 1 aufgebracht. Durch diese Laststellung wurde ein Moment in Feldmitte von 6,07 kNm hervorgerufen, das etwa 73 % des maximalen Moments unter Gebrauchslast entsprach. Bezogen auf das rechnerische Bruchmoment waren fast 35 % erreicht. Die maximale Querkraft von 5,75 kN erreicht 55 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 22 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.5.2.1.2: Laststufe 1 der SVP 5-20-4,2

Die gemessenen Durchbiegungen aus der Laststufe 1 sind in der nächsten Tabelle wiedergegeben.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	2,58	3,88	4,58	4,70	4,31	3,43	2,02	0,00
ges. Süd	0,00	2,21	3,54	4,28	4,45	4,07	3,20	1,82	0,00
Mittelwert	0,00	2,40	3,71	4,43	4,58	4,19	3,32	1,92	0,00

Tabelle 2.5.2.1.3: Verformungen der SVP 5-20-4,2 aus der Laststufe 1

Die Durchbiegungen in den Zuständen I und II sind in der nächsten Tabelle aufgelistet.

Zustand I	0,00	1,30	2,40	3,20	3,60	3,20	2,40	1,30	0,00
Zustand II	0,00	1,86	3,43	4,57	5,14	4,57	3,43	1,86	0,00

Tabelle 2.5.2.1.4: Rechnerische Verformungen der SVP 5-20-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

Die Gegenüberstellung der Durchbiegungen aus den beiden Tabellen zeigt, dass sich die gemessenen Durchbiegungen zwischen den rechnerischen aus dem Zustand I und II befinden. Die Rissbetrachtung an der Plattenunterseite ergab, dass keine Risse zu sehen waren und die Platte sich somit im Zustand I befand.

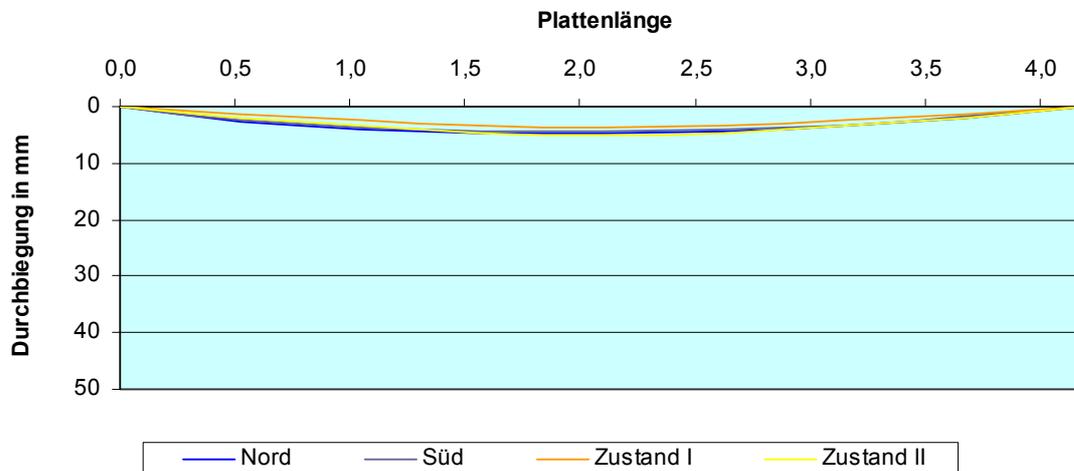


Diagramm 2.5.2.1.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 5-20-4,2 aus der Laststufe 1

Für die *Laststufe 2* wurden zwei weitere Paletten auf die Position 3 gehoben. Hierdurch erreichte man eine Momentenzunahme von etwa 39 %, so dass das Moment in Feldmitte knapp 102 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und somit 48 % des rechnerischen Bruchmoments entspricht. Die maximale Querkraft lag bei 8 kN pro Steg und erreicht knapp 77 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 30 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.5.2.1.3: Laststufe 2 der SVP 5-20-4,2

Nach dem Ablesen der Messuhren ergab sich eine Erhöhung der Durchbiegung von 2,43 mm, so dass sich die Platte in Feldmitte nun um 7 mm durchbog.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	3,48	5,39	6,65	7,12	6,93	5,97	3,67	0,00
ges. Süd	0,00	3,03	5,02	6,33	6,92	6,72	5,55	3,28	0,00
Mittelwert	0,00	3,26	5,21	6,49	7,02	6,83	5,76	3,48	0,00

Tabelle 2.5.2.1.5: Verformungen aus der Laststufe 2

Vergleicht man die vorhandenen Durchbiegungen mit den rechnerischen, so stellt man fest, dass die vorhandenen erneut knapp unter denen des Zustands II lagen.

Zustand I	0,00	2,00	3,60	4,70	5,10	4,70	3,60	2,00	0,00
Zustand II	0,00	2,86	5,14	6,71	7,29	6,71	5,14	2,86	0,00

Tabelle 2.5.2.1.6: Rechnerische Verformungen der SVP 5-20-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 2

Die Rissbetrachtung an der Plattenunterseite zeigte, dass zwei Risse unter den neu aufgelegten Belastungskörpern mit einer Weite von 0,1 mm entstanden sind. Es verlief jeweils ein Riss vom südlichen und nördlichen Plattenrand bis etwa zur Plattenmitte, wo sie dann endeten.

Die Stegverbundplatte ging nach dem Entlasten um knapp 2,5 mm zurück, so dass eine bleibende Verformung von etwa 4,5 mm in Plattenmitte bestehen blieb.

Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ges. Nord	0,00	2,22	3,54	4,46	4,78	4,65	4,00	2,46	0,00
ges. Süd	0,00	1,91	3,16	3,99	4,38	4,28	3,57	2,16	0,00
Mittelwert	0,00	2,07	3,35	4,23	4,58	4,47	3,79	2,31	0,00

Tabelle 2.5.2.1.7: Verformungen der SVP 5-20-4,2 nach der Entlastung

Die Durchbiegungen aus den letzten drei Tabellen sind im nächsten Diagramm graphisch festgehalten.

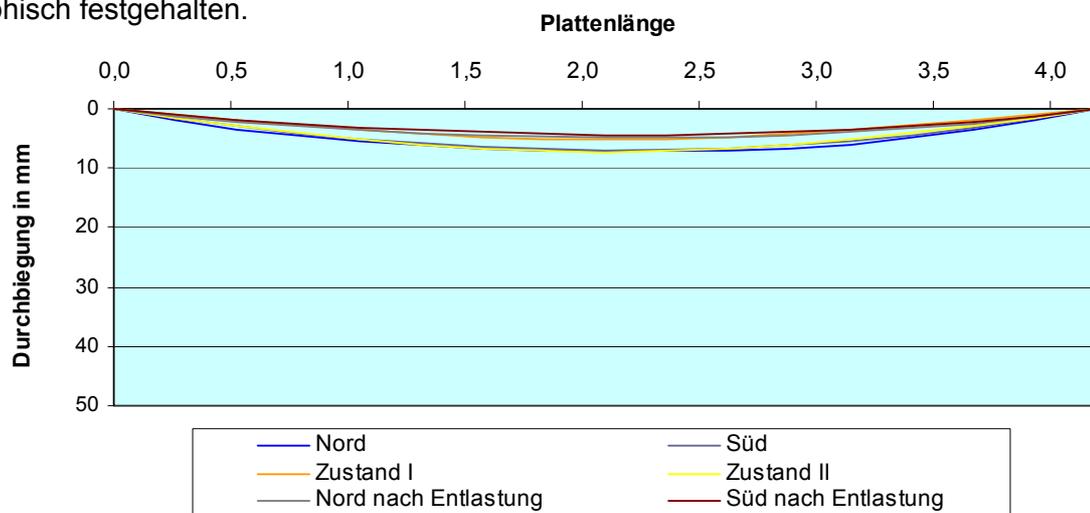


Diagramm 2.5.2.1.3: Verformungen der SVP 5-20-4,2 aus der Laststufe 2 und nach der Entlastung

2.5.2.2 Belasten mit Ortbetongergänzung als Einfeldträger

Die Ortbetongergänzung wurde, wie bereits oben erwähnt, noch am gleichen Tag nach dem Entfernen der Vorbelastung aufgebracht. Der Betoniervorgang wurde analog und gleichzeitig mit der vierten Platte vorgenommen. Die fünfte Stegverbundplatte wurde am Dienstag, den 10. September 2003, als Platte im Endzustand belastet. Die Last wurde analog der vierten Stegverbundplatte durch Unterlegen von Holzbrettern direkt in die Ortbetongergänzung eingeleitet. Mit dieser Lasteinleitung wurde untersucht, ob eine Bewehrung zum Hochhängen der Lasten in die Stege erforderlich ist. Außerdem konnte mit dieser Lasteinleitung die Funktionsweise der Kraftübertragung über den Stegverbund untersucht werden. Anhand der entsprechenden Diagramme aus den Betonproben konnten die Würfeldruckfestigkeit des Fertigteils mit 33 N/mm^2 und der E-Modul von 22.192 N/mm^2 bestimmt werden. Die Ortbetongergänzung wies anhand des Diagramms eine Druckfestigkeit von $22,98 \text{ N/mm}^2$ und einen E-Modul von 17.075 N/mm^2 auf. Dem Flächenverhältnis von Fertigteile und Ortbeton entsprechend ergab sich somit eine Druckfestigkeit der gesamten Platte von $28,3 \text{ N/mm}^2$ und einem zugehörigen E-Modul von 19.792 N/mm^2 . Das Gewicht der Stegverbundplatte erhöhte sich durch das Ausbetonieren der Stegzwischenräume von 2,8 t auf 5,06 t.

Auf Grund der unterschiedlichen Betoniertage hatte die Stegverbundplatte im Gesamten unterschiedliche Steifigkeiten. Für den Bemessungswert des aufnehmbaren Moments wurde somit eine ideale Querschnittsbreite im Verhältnis der E-Moduli ermittelt, so dass sich ein maximales Moment von $22,72 \text{ kNm}$, bezogen auf eine ideale Breite von 1,03 m, ergab. Hieraus kann ein maximales Moment im Gebrauchszustand von $16,23 \text{ kNm}$ und ein rechnerisches Bruchmoment von $34,08 \text{ kNm}$ ermittelt werden. Der Bemessungswert der ohne Querbewehrung aufnehmbaren Querkraft lag bei $36,12 \text{ kN}$ pro 1,20 m Einzugsbreite einer Palette. Die maximale Querkraft unter Gebrauchslast lag bei $25,84 \text{ kN}$ und die maximale Querkraft im Bruchzustand bei $65,11 \text{ kN}$.



Bild 2.5.2.2.1: SVP 5-20-4,2 mit Ortbetongergänzung

Im Endzustand wurden vier Laststufen aufgebracht, die insgesamt 106 % des rechnerischen Bruchmoments erzeugten.

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	13,28	81,83	38,97	12,65	48,96	19,43
1	1,3	9,54	22,82	140,62	66,96	21,65	83,80	33,25
2	1,3,2	18,09	31,37	193,30	92,05	26,15	101,22	40,17
3	1. Reihe voll, 1(1/2)	20,74	34,02	209,63	99,82	29,89	115,69	45,91
4	1. Reihe voll, 1	22,86	36,14	222,69	106,04	32,88	127,27	50,50

Tabelle 2.5.2.2.1: Schema zur Belastung der Platte 5-20-4,2 im Endzustand

Durch das Ausbetonieren der Stegzwischenräume bog sich die Platte um 0,5 mm durch, so dass eine maximale Durchbiegung in Feldmitte von 5 mm vorlag. Die Durchbiegungen in den Zuständen I und II sind in der nächsten Tabelle dargestellt.

Zustand I	0,00	0,60	1,10	1,40	1,50	1,40	1,10	0,60	0,00
Zustand II	0,00	0,86	1,57	2,00	2,14	2,00	1,57	0,86	0,00

Tabelle 2.5.2.2.2: Rechnerische Verformungen der SVP 5-20-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0 im Endzustand

Wie der Vergleich der beiden Tabellen zeigt, war die vorhandene Durchbiegung in Feldmitte von 5 mm etwa doppelt so hoch wie die rechnerische im Zustand II. Die Zunahme der Durchbiegung von 0,5 mm hingegen entsprach etwa einem Drittel von der maximalen Durchbiegung im Zustand I. Die hohe Anfangsverformung ist teilweise auf die Vorbelastung als auch auf den niedrigen E-Modul zurückzuführen. Das vorhandene Moment in Feldmitte von 13,28 kNm entsprach knapp 82 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und zugleich 39 % des rechnerischen Bruchmoments. Die zulässige Durchbiegung von 2,4 cm war erst zu knapp 21 % erreicht. Die vorhandene Querkraft von 12,65 kN lag bei knapp fast 49 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast bzw. 19 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Die Risse an der Plattenunterseite aus der Vorbelastung gingen nicht weiter auf, so dass ihre Rissweiten weiterhin 0,1 mm betragen.

Das nachfolgende Diagramm stellt die Durchbiegungen graphisch gegenüber.

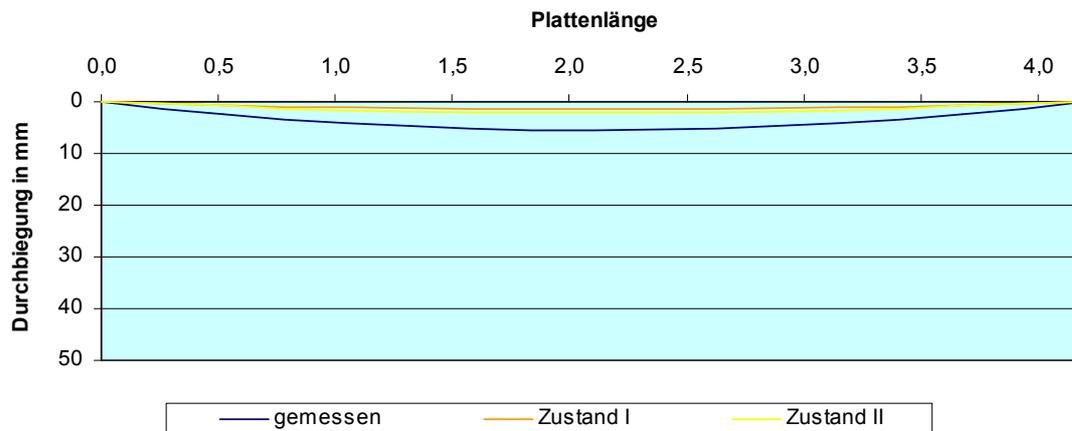


Diagramm 2.5.2.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegung der SVP 5-20-4,2 mit Ortbetoneergänzung aus der Laststufe 0

Für die Belastung der SVP 5-20-4,2 wurden als *erste Laststufe* vier Paletten auf die Positionen 1 und 3 aufgebracht. Hierdurch wurde ein Moment in Feldmitte von 22,82 kNm erzeugt, das knapp 140 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und 67 % des rechnerischen Bruchmoments entspricht. Die vorhandene Querkraft an den Auflagern erreichte fast 84 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 33 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.5.2.2.2: Laststufe 1 der SVP 5-20-4,2 mit Ortbetoneergänzung

Die Platte ging durch die Belastung um knapp 2,5 mm nach unten, so dass die Durchbiegung bei 7,91 mm lag. Der zulässige Wert von 2,4 cm war somit zu knapp 33 % erreicht. Die maximale rechnerische Durchbiegung im Zustand II war um das 2-fache überschritten, wie die nächste Tabelle zeigt.

Zustand I	0,00	1,10	2,00	2,50	2,70	2,50	2,00	1,10	0,00
Zustand II	0,00	1,57	2,86	3,57	3,86	3,57	2,86	1,57	0,00

Tabelle 2.5.2.2.3: Rechnerische Verformungen in den Zuständen I und II

Der große Unterschied zu den Durchbiegungen im Zustand II lag daran, dass das maximale Moment im Gebrauchszustand überschritten war und der Ansatz zur Berechnung der Durchbiegungen im gerissenen Zustand somit nicht mehr galt, da die höheren Belastung zu größeren Krümmungen und Durchbiegungen führen.

Die vorhandenen Durchbiegungen sind den rechnerischen im nächsten Diagramm gegenübergestellt.

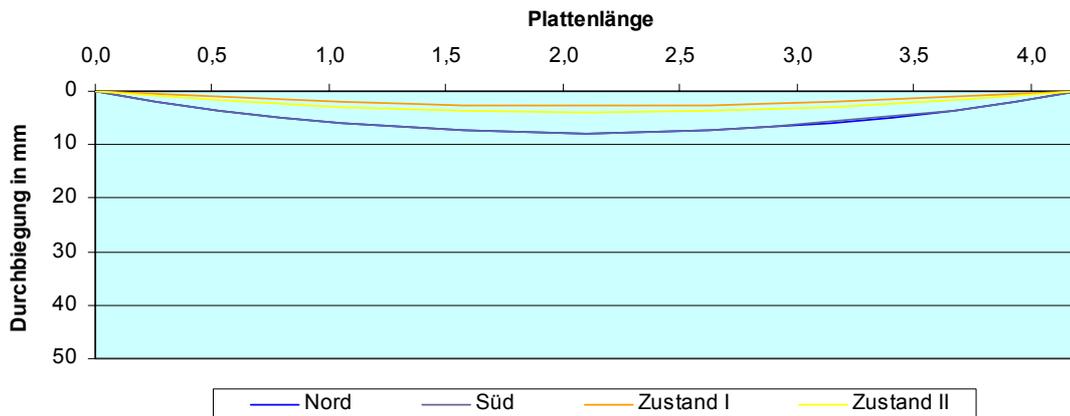


Diagramm 2.5.2.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegung der SVP 5-20-4,2 mit Ortbetonergänzung aus der Laststufe 1

Die Rissbetrachtung an der Plattenunterseite ergab, dass sich in Plattenmitte zwei neue Risse mit einer Weite von 0,1 mm und am nördlichen Plattenrand, etwa ein Drittel der Plattenlänge vom Auflager B entfernt, ein weiterer Riss mit einer Weite von 0,05 mm gebildet hatten. Die Risse aus der Vorbelastung gingen nicht weiter auf. An der Seite der Platte konnten in Plattenmitte Risse am Fertigteil beobachtet werden.

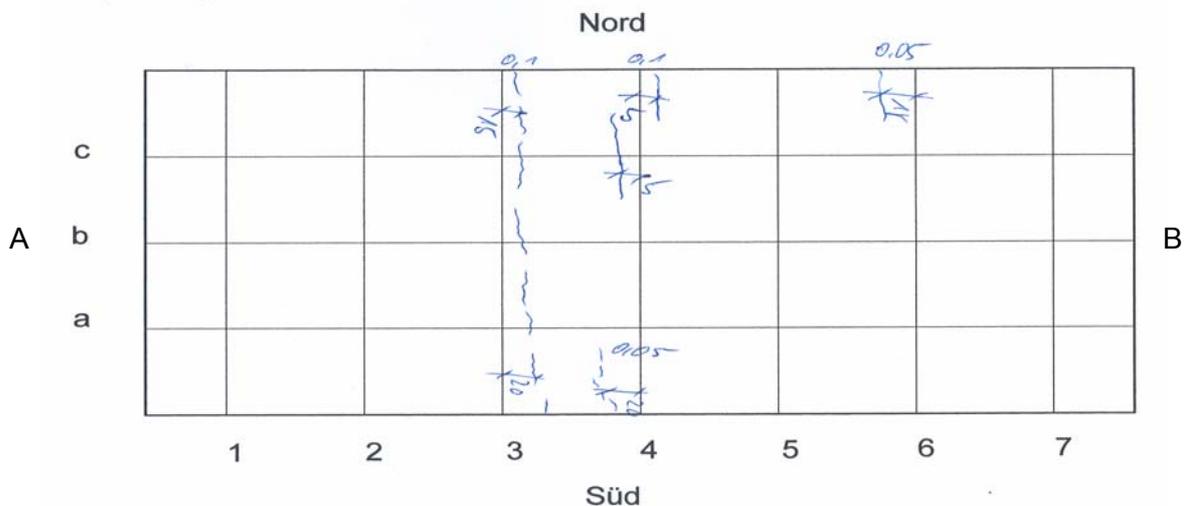


Bild 2.5.2.2.3: Rissbild der SVP 5-20-4,2 mit Ortbetonergänzung bei der Laststufe 1

Für die **zweite Laststufe** wurden zwei weitere Kalksandstein-Paletten zwischen die vorhandenen Belastungskörper gestellt, so dass die erste Ebene voll war. Hierdurch wurde ein Moment in Feldmitte von 31,37 kNm erzeugt, was 193 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und 92 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die maximal vorhandene Querkraft von 26,15 kN entsprach 101 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 40 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.5.2.2.3: Laststufe 2 der SVP 5-20-4,2 mit Ortbetonergänzung

Dass man sich durch die Erhöhung des Moments sehr nahe am rechnerischen Bruchmoment befand, war bei der Betrachtung der Messuhren deutlich zu erkennen. Die Durchbiegung wurde um den Faktor 3,4 größer, so dass ein maximaler Wert von fast 2,7 cm erreicht wurde. Die rechnerische Durchbiegung im Zustand II hingegen lag bei 5,14 mm. Der zulässige Wert von 2,4 cm wurde mit dieser Laststufe knapp überschritten.

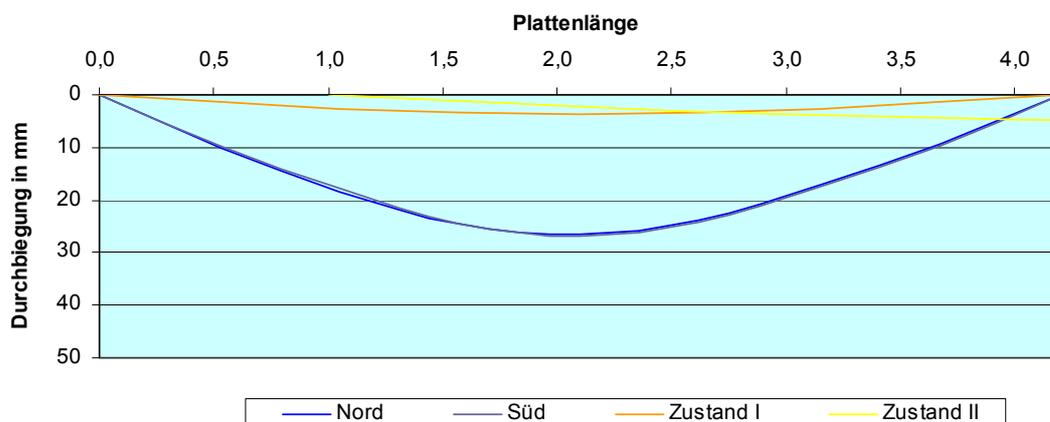


Diagramm 2.5.2.2.3: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der SVP 5-20-4,2 mit Ortbetonergänzung aus der Laststufe 2

Die Durchbiegung in Feldmitte verdoppelte sich fast, so dass sich die Platte nun um 4,0 cm durchbog. Die rechnerische Durchbiegung in Feldmitte im Zustand II beträgt 5,57 mm und war somit um mehr als den Faktor 7 überschritten. An der Plattenunterseite entstand etwa 1 m vom Auflager A entfernt ein weiterer Riss, der eine Weite von 0,2 mm hatte. Die übrigen Risse in Richtung zum Auflager lagen bei 0,3 – 0,4 mm, die in Plattenmitte hingegen erreichten Weiten von 0,6 – 0,8 mm. Die Risse aus der Vorbelastung blieben bei der Weite von 0,2 mm stehen. Die maximale Querkraft erreichte zu fast 116 % die maximale Querkraft unter Gebrauchslast und somit 46 % von der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Nachdem noch kein direktes Versagen erkennbar und noch Platz zwischen der Abfangkonstruktion und der Platte war, wurden die halben Paletten durch ganze ersetzt und bildete somit die *vierte Laststufe*. Hierdurch wurde ein Moment von 36,14 kNm in Feldmitte erzeugt, das 223 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und 106 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die Messuhren wurden aus Sicherheitsgründen bereits vor dieser Laststufe abgebaut. Die Platte senkte sich weiter sehr stark ab und die Risse an der Plattenunterseite gingen weiter auf. Es brachen bereits einzelne Betonstücke an der Unterseite heraus. Die Risse an der Seite der Platte ragten in Plattenmitte zu etwa zwei Drittel in die Ortbetonergänzung hinein.

Bild 2.5.2.2.5: Herausbrechen von Betonstücken



Die Stegverbundplatte bewegte sich auch nach dem Aufbringen der Belastung konstant sehr langsam nach unten. Nachdem nur noch wenig Platz zwischen der Unterseite der Platte und der Abfangkonstruktion war, wurden die beiden äußeren Paletten der zweiten Ebene auf die mittlere Position gestellt. Bereits beim Aufbringen der ersten Palette setzte die Stegverbundplatte auf die Holzbalken auf. Ein weiteres Absenken der Abfangvorrichtung war nicht mehr möglich, da auf Grund der starken Durchbiegung die Platte bereits fast die Auflager berührte.

Bild 2.5.2.2.6: Auflagerdetail



Bild 2.5.2.2.7: Laststufe 5 der SVP 5-20-4,2 mit Ortbetonergänzung

Die Risse an der Plattenunterseite gingen weiter auf, so dass zum Teil sogar die Querbewehrung zu erkennen war. Es brachen weiterhin Betonstücke von der Unterseite der Platte heraus. Die Risse an der Ortbetonergänzung verzweigten sich und gingen in Feldmitte bis zur Oberkante der Ortbetonergänzung. Sie hatten zum Teil eine Weite von 3,0 mm.

Mit einer maximalen Querkraft von 32,88 kN wurden 127 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 51 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand erreicht.

2.5.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse



Bild 2.5.3.1: Rissbild an der Plattenseite

Nach dem Entfernen der Kalksandstein-Paletten waren an der Plattenoberseite nur kleine Risse in Feldmitte und dort nur am Plattenrand zu erkennen. Auf Grund der großen Durchbiegung und den daraus entstandenen stark unterschiedlichen Längenänderungen der Druck- und Zugzone, bildete sich bei der letzten Laststufe ein Riss zwischen der Ortbetonergänzung und dem Fertigteil. Er hatte eine Weite von 0,4 mm und verlief auf einer Länge von ca. 30 cm zwischen den beiden stark ausgeprägten Rissen in Feldmitte.

Im nächsten Diagramm werden die Durchbiegungen in Feldmitte den zugehörigen maximalen Momenten bei der Belastung ohne Ortbetonergänzung gegenübergestellt.

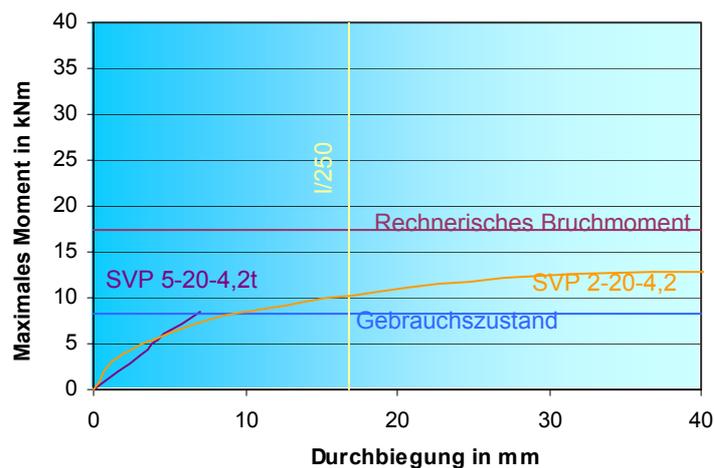


Diagramm 2.5.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Aus dem Diagramm ist erkennbar, dass die zulässige Durchbiegung von 1,68 cm sowohl bei der zweiten als auch bei der jetzigen SVP im Gebrauchszustand nicht erreicht wurde. In Höhe des maximalen Moments im Gebrauchszustand waren die Durchbiegungen etwa halb so groß.

Das nächste Diagramm stellt die vorhandenen Durchbiegungen der SVP 5-20-4,2 im Endzustand den zugehörigen maximalen Momenten gegenüber.

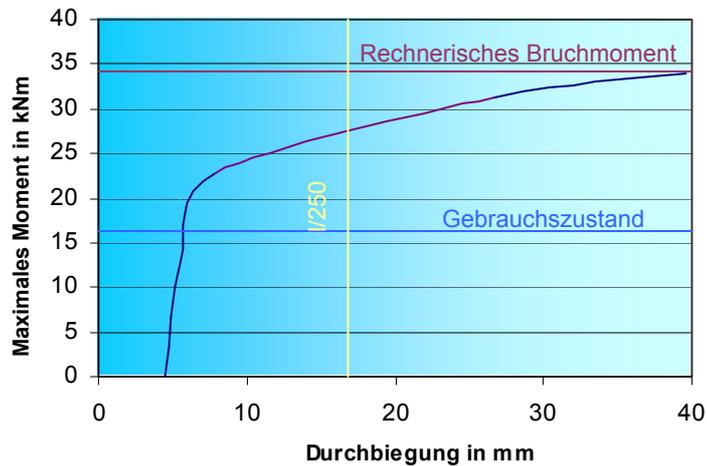


Diagramm 2.5.3.2: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung im Endzustand

Auch im Endzustand wurde die zulässige Durchbiegung erst nach dem maximalen Moment im Gebrauchszustand erreicht.

Im nächsten Diagramm sind die Rissbreiten an der Plattenunterseite den Momenten aus den Laststufen im Bauzustand gegenübergestellt.

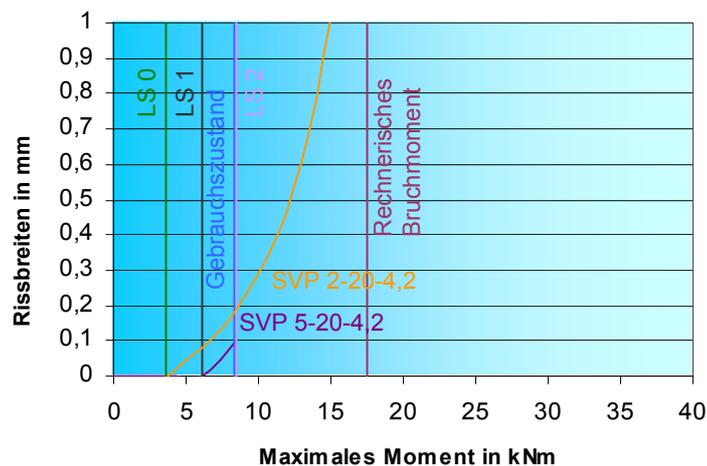


Diagramm 2.5.3.3: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Wie aus dem Diagramm herauszulesen ist, waren bei der fünften Stegverbundplatte auf Grund des Eigengewichts und der ersten Laststufe keine Risse entstanden. Mit dem Erreichen des maximalen Moments aus der Gebrauchslast entstanden Risse mit

einer Weite von 0,1 mm. Die zweite Stegverbundplatte hatte auf Grund ihres Eigengewichts keine Risse, bei der ersten Laststufe waren dann bereits Risse mit einer Weite von 0,1 mm vorhanden. In Höhe des maximalen Moments im Gebrauchszustand waren dann bereits Weiten von 0,2 mm vorhanden.

Das nächste Diagramm zeigt die Rissbreiten und die zugehörigen maximalen Momente bei der Belastung im Endzustand.

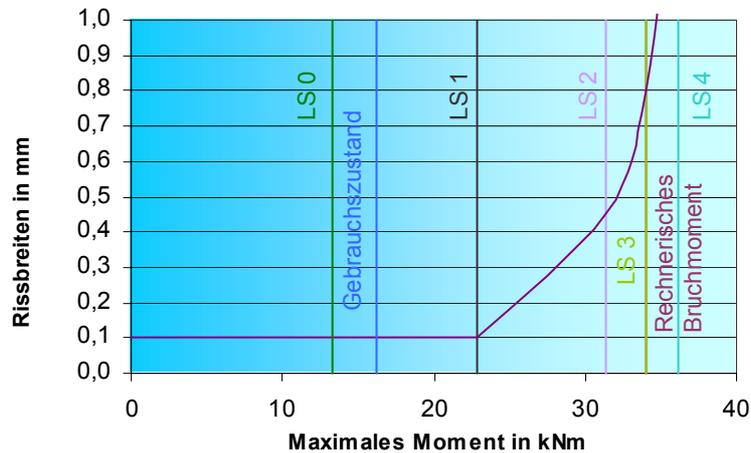


Diagramm 2.5.3.4: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Endzustand

Durch das Aufbringen der Ortbetonergänzung sind keine neuen Risse entstanden. Bei der Laststufe 1 hatten sich die Risse nicht vergrößert und die neuen Risse hatten ebenfalls eine Weite von 0,1 mm. Nach dieser Laststufe stiegen die Rissweiten dann bis zur nächsten Laststufe auf 0,45 mm an. Danach geht die Kurve der Rissbreiten fast senkrecht nach oben, was auf das Versagen der Platte zurückzuführen ist.

2.6 Stegverbundplatte 6-16-4,2

2.6.1 Herstellung der Stegverbundplatte



Die sechste Stegverbundplatte wurde am Montag, den 9. September 2002, hergestellt und am darauf folgenden Mittwoch belastet. Sie war die zweite Platte mit einer Steghöhe von 16 cm, so dass die Höhe der Stege wie bei der dritten Stegverbundplatte mit einer Holzschablone hergestellt wurde. Die in den Stegzwischenräumen liegenden Transporthaken wurden jeweils erst dann per Hand eingebaut, wenn die Bewehrung und die Schalung bereits auf die Palette aufgebracht waren. Bei dieser Platte wurden die Transporthaken zum ersten Mal unter die Längsbewehrung gelegt. Beim Befestigen dieser an der Schalung wurde einer zu weit nach oben gehoben, so dass ein Stab der Längsbewehrung an der Plattenoberseite sichtbar war und somit in diesem Bereich keinen Verbund mit dem Beton hatte.

Bild 2.6.1.1: Transporthaken der SVP 6-16-4,2

Die Längsbewehrung lag bei $3,57 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand 22 cm) und die Querbewehrung bei $2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 25cm). Nach dem Ausschalen und Auflegen der Platte war erkennbar, dass die Unterseite stark porös war. Die erste Vermutung einer schlechten Verdichtung wurde vom Fertigteilwerk nicht bestätigt. Die Ursache hierfür war zu viel Schalöl an der Stahlpalette. An den Stegen waren keine Nester zu erkennen, so dass ein guter Verdichtungsgrad erzielt wurde. Lediglich Betonüberstände an der Verzahnung mussten vor dem Belasten mit dem Hammer entfernt werden.

2.6.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Für die sechste Platte war die Belastung bis zum Bruchmoment vorgesehen, wobei eine Zwischenlaststufe das maximale Moment im Gebrauchszustand darstellen sollte. Der Bemessungswert des aufnehmbaren Moments lag bei $10,05 \text{ kNm}$ pro Steg. Das maximale Moment im Gebrauchszustand entsprach dementsprechend $6,7 \text{ kNm}$ pro Steg, was mit den vorhandenen Belastungskörpern nicht genau erreicht werden konnte. So stellt die zweite Laststufe fast 110 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast dar. Das rechnerische Bruchmoment lag bei $14,07 \text{ kNm}$ pro Steg. Der Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft lag bei $12,98 \text{ kNm}$ pro Steg. Die maximale Querkraft unter Gebrauchslast lag bei $9,27 \text{ kN}$ pro Steg und die maximale Querkraft im Bruchzustand bei $23,36 \text{ kN}$ pro Steg.

Die nächste Tabelle stellt die aufgebrauchten Laststufen tabellarisch dar.

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	3,10	46,23	22,01	2,94	31,71	12,58
1	2 (1/2)	2,39	5,49	81,90	39,00	4,19	45,19	17,93
2	2	4,26	7,36	109,81	52,29	5,19	55,98	22,21
3	2, 3(1/2)	5,59	8,69	129,66	61,74	7,06	76,15	30,22
4	2, 3	6,65	9,75	145,49	69,28	8,55	92,22	36,59
5	1(1/2), 2, 3	7,97	11,07	165,19	78,66	9,19	99,12	39,33
6	1, 2, 3	9,03	12,13	181,01	86,19	9,69	104,51	41,47
7	1. Reihe voll, 2 (1/2)	11,42	14,52	216,68	103,18	10,94	118,00	46,82

Tabelle 2.6.2.1: Schema zur Belastung der SVP 6-16-4,2

Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung konnte eine Druckfestigkeit von 20 N/mm² und ein E-Modul von 15.000 N/mm² aus dem Diagramm der Betonproben herausgelesen werden. Das Eigengewicht der Platte betrug 2,36 t. Das rechnerische Gewicht der Platte (Betonwichte = 25 kN/m³) mit 2,35 t bestätigt, dass die Maße der Platte eingehalten waren. Die Durchbiegung auf Grund ihres Eigengewichts betrug 2,5 mm. Das Moment in Feldmitte betrug 3,10 kNm und stellte somit etwa 46 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand dar. Bezogen auf das rechnerische Bruchmoment waren 22 % erreicht. Mit einer maximalen Querkraft von 2,94 kN pro Steg wurden ca. 31 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 13 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand erzielt.



Bild 2.6.2.1: Laststufe 0 der SVP 6-16-4,2

Der vorhandenen Durchbiegung in Feldmitte von 2,5 mm stehen die Durchbiegungen in den Zuständen I und II in der nächsten Tabelle gegenüber.

Zustand I	0,00	1,30	2,50	3,20	3,40	3,20	2,50	1,30	0,00
Zustand II	0,00	1,86	3,57	4,57	4,86	4,57	3,57	1,86	0,00

Tabelle 2.6.2.2: Rechnerische Verformungen der SVP 6-16-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

Wie der Vergleich zeigt, betrug die vorhandene Durchbiegung in Feldmitte nur etwa 74 % der rechnerischen im Zustand I. Die zulässige Durchbiegung von 1,68 cm war zu fast 15 % erreicht. An der Plattenunterseite waren keine Risse erkennbar.

Mit der *ersten Laststufe* erreichte man ein Moment von 5,49 kNm in Feldmitte, was fast 82 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand darstellte. Das vorhandene Moment in Feldmitte erreichte somit 39 % des rechnerischen Bruchmoments. Hierzu wurden zwei halbe Paletten in der Plattenmitte aufgebracht. Mit der Auflagerkraft von 4,19 kN wurden etwa 45 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 18 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand erreicht.



Bild 2.6.2.2: Laststufe 1 der SVP 6-16-4,2

Die Durchbiegung in Feldmitte vergrößerte sich von 2,5 mm auf 6,65 mm, was einem Zuwachs von 266 % entspricht. Die rechnerischen Durchbiegungen sind in der nächsten Tabelle aufgelistet.

Zustand I	0,00	2,20	4,00	5,30	5,70	5,30	4,00	2,20	0,00
Zustand II	0,00	3,14	5,71	7,57	8,14	7,57	5,71	3,14	0,00

Tabelle 2.6.2.3: Rechnerische Verformungen der SVP 6-16-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 1

An der Plattenoberkante gingen in Feldmitte Risse, die aus der Laststufe 1 entstanden waren, bis zu den Stegen. Aber auch neu entstandene Risse erreichten bereits die äußeren Stege. Im südlichen Plattenbereich gingen zwei Risse bis in die Stege.

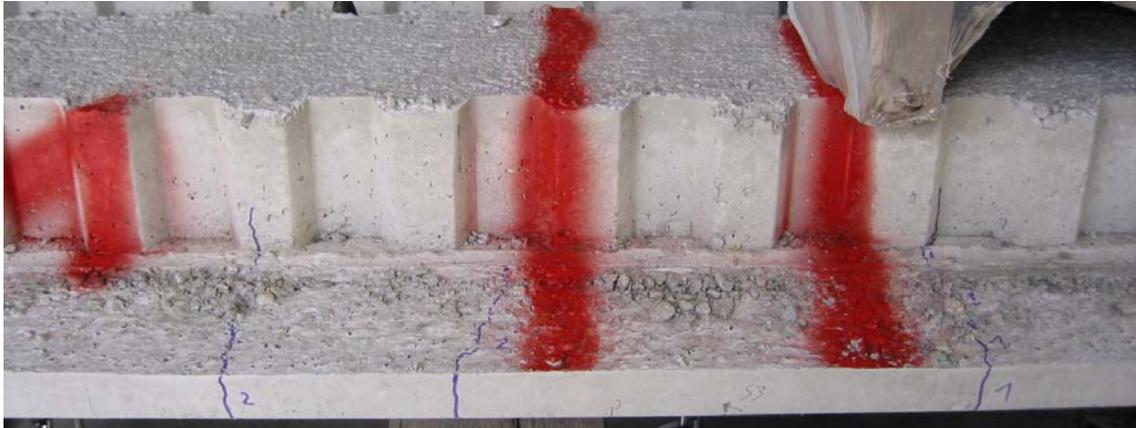


Bild 2.6.2.5: Risse aus der Laststufe 2 im südlichen Plattenbereich

Die *dritte Laststufe* wurde erzeugt, indem auf die Position 3 zwei halbe Paletten aufgebracht wurden. Hierdurch entstand ein Moment in Feldmitte von 7,36 kNm, das fast 130 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und somit knapp 62 % des rechnerischen Bruchmoments darstellte. Die Durchbiegung der Platte stieg um 7,48 mm an, so dass sich die Platte in Feldmitte um 25,73 mm durchbog. Es entstanden nur noch wenig neue Risse an der Plattenunterseite. Die neuen Risse hatten eine Weite von 0,05 – 0,2 mm, während die alten Risse auf 0,2 und 0,25 mm aufgingen. Die Risse an der Plattenoberseite gingen weiter in die Stege, bzw. auch die neuen Risse ragten teilweise bis in die Stege hinein. In Bezug auf die Querkraft stellte diese Lastkombination knapp 76 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 30 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand dar.

Für die *vierte Laststufe* wurden die beiden halben Paletten durch ganze ausgetauscht.



Bild 2.6.2.6: Laststufe 4 der SVP 6-16-4,2

Die SVP wies nach dem Stillstand der Messuhren eine Durchbiegung von 34,47 mm auf. Dies entsprach einer Zunahme von 34 %. Der Momentenzuwachs hingegen betrug nur 12 %. Mit dem Moment in Feldmitte von 9,75 kNm befand man sich bei 145 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und bei 69 % des rechnerischen Bruchmoments. Die maximale Querkraft dieser Laststellung erreicht die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu 92 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu knapp 37 %.

Die Rissentwicklung war relativ unbedeutend. Es bildeten sich nur vereinzelt in der Nähe des Auflagerbereichs B neue Risse mit Weiten von 0,05 bis 0,2 mm. Die alten Risse blieben bei den Weiten von 0,2 - 0,25 mm stehen.

Die **fünfte Laststufe** bestand daraus, auf die Position 1 zwei halbe Paletten aufzulegen. Mit dieser Laststellung wurden in Feldmitte 165 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und somit knapp 79 % des rechnerischen Bruchmoments erzeugt. Die maximale Querkraft von 9,19 kN pro Steg erreichte 99 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 39 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Die Platte senkte sich um weitere 12,42 mm, so dass die Durchbiegung in Feldmitte fast 47 mm



betrug. An der Plattenunterseite entstanden zum Auflager A hin neue Risse mit Weiten von 0,1 – 0,3 mm. Diese neu entstandenen Risse reichten teilweise bereits bis zu den Stegen an der Plattenoberseite. Die alten Risse an der Plattenunterseite und in Feldmitte hatten eine Weite von 0,3 – 0,4 mm und die in Richtung zu den Auflagern von 0,2 – 0,25 mm.

Bild 2.6.2.7: Risse an der Plattenoberseite in der Nähe vom Auflager A aus der Laststufe 5

Durch das Ersetzen der halben Paletten mit ganzen auf der Position 1 entstand die **sechste Laststufe**. Diese Laststellung erzeugte ein Moment in Feldmitte von 12,13 kNm pro Steg, das 181 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 86 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die maximale Querkraft von 9,69 kN pro Steg erreichte fast 105 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und knapp 42 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Die Durchbiegung in Feldmitte stieg auf 68 mm an. Diese Zunahme wurde von der Rissbildung untermauert. An der Unterseite der Platte entstanden in Feldmitte neue Risse in Querrichtung mit Weiten von 0,25 – 0,40 mm. In der Nähe vom Auflager B entstanden ebenfalls Risse mit einer Breite von 0,05 mm. Lediglich im Auflagerbereich A konnte zum ersten Mal ein etwa 10 cm langer Riss in Längsrichtung beobachtet werden. Der maximale Rissabstand zum Auflager betrug 50 cm.



Bild 2.6.2.8: Laststufe 6 der Platte 6-16-4,2

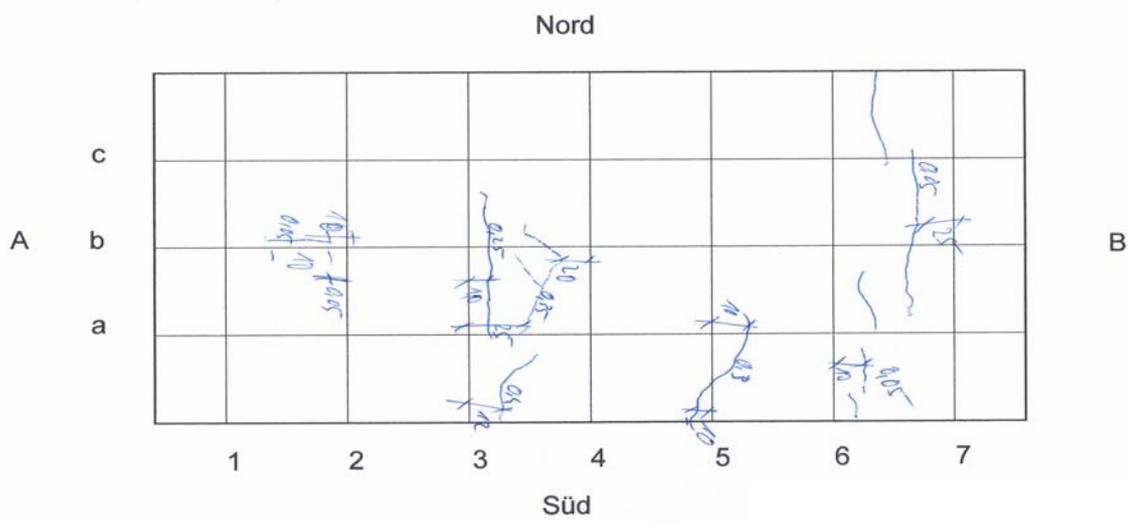


Bild 2.6.2.9: Rissbild der neu entstandenen Risse aus der Laststufe 6

Die alten Risse hatten Weiten von 0,4 – 0,6 mm in Feldmitte und in Auflagernähe von 0,2 – 0,25 mm. Die neuen Risse gingen in Feldmitte bis zur Oberkante der Platte und teilweise sogar bis in die Stege. Die Risse, die bereits im oberen Drittel des Steges waren, verzweigten sich und deuteten so auf das baldige Versagen der Platte hin. Auch die Risse, die an der Seite der Fertigteilplatte entstanden, verzweigten sich im südlichen Teil.



Bild 2.6.2.10: Risse an der Oberseite der SVP 6-16-4,2 am nördlichen Plattenrand

Auf Grund der Rissbildung wurden die Messuhren abgebaut, bevor auf die Position 1 zwei halbe Paletten in die zweite Ebene gestellt wurden. Hierdurch entstand ein Moment von 14,52 kNm, das fast 217 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 103 % des rechnerischen Bruchmoments darstellte. Beim Auflegen der zweiten halben Palette krachte die Stegverbundplatte auf einen Schlag auf die Abfangvorrichtung auf. Das Versagen der Platte war das Ausbrechen der Druckzone, das mit dem Ausreißen von drei Bewehrungsstäben untermauert wurde. Die maximale Querkraft von 10,94 kN pro Steg erreichte 118 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 47 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

2.6.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse



Bild 2.6.3.1: Ausbruch der Druckzonen der SVP 6-16-4,2

Am nördlichen Plattenrand riss ein Stab der Längsbewehrung aus der Platte heraus, der keine ausreichende Betondeckung zum Rand hin hatte. Dies erklärt den aus dem *Bild 2.6.2.10* erkennbaren hektischen Rissverlauf am Plattenrand. Zwei weitere Längsbewehrungsstäbe rissen aus der Fertigteilplatte heraus. Einer davon wurde bereits unter Punkt 2.6.1 beschrieben. Er wurde beim Einbau eines Transporthakens zu weit nach oben gehoben, so dass er keine Betondeckung nach oben mehr hatte. Der zweite Stab lag zwischen den Stegen 1 und 2 vom Süden her betrachtet. Das schlagartige Versagen der SVP ist auf das Herausbrechen dieser Bewehrungsstäbe zurückzuführen. Zum ersten Mal waren bei dieser SVP auch Risse in Längsrichtung, sowohl an der Plattenunterseite als auch an der Oberseite zu erkennen. Nachdem bereits drei Stäbe auf Grund zu geringer Betondeckung herausplatzten, kann die Annahme getroffen werden, dass auch weitere Stäbe unsachgemäß eingebaut wurden und somit diese Längsrisse entstanden sind.

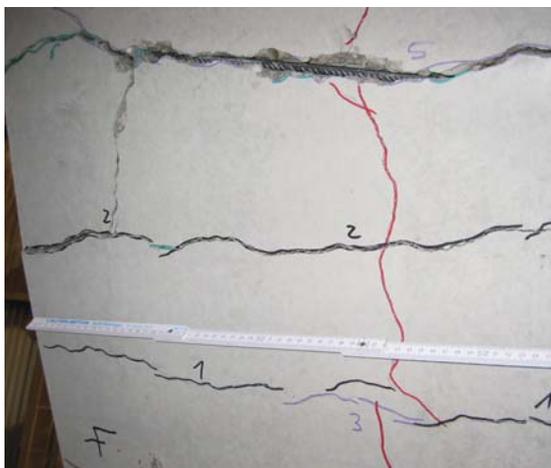


Bild 2.6.3.2: Risse an der Unter- und Oberseite der SVP 6-16-4,2

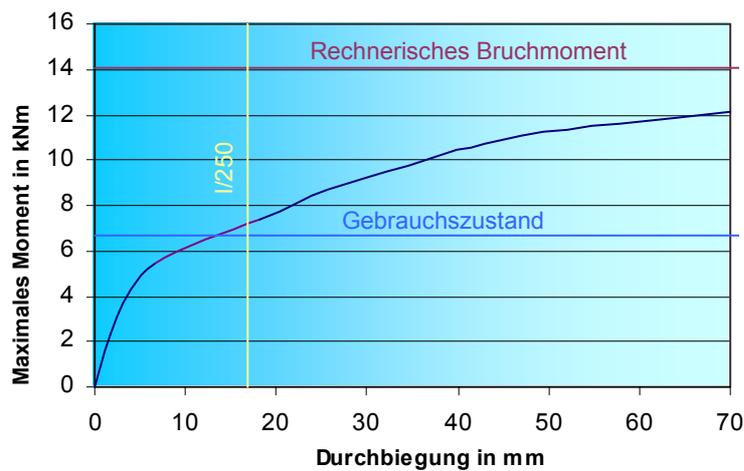


Diagramm 2.6.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Wie das Diagramm zeigt, ist die zulässige Durchbiegung von 1,68 cm kurz nach dem Erreichen des maximalen Moments aus der Gebrauchslast erreicht. Die Durchbiegungen nehmen anfänglich langsam zu und steigen dann ab einem Moment von etwa 5 kNm stark an.

Anschließend sind die Rissweiten den einzelnen Laststufen und zugehörigen Momenten gegenübergestellt.

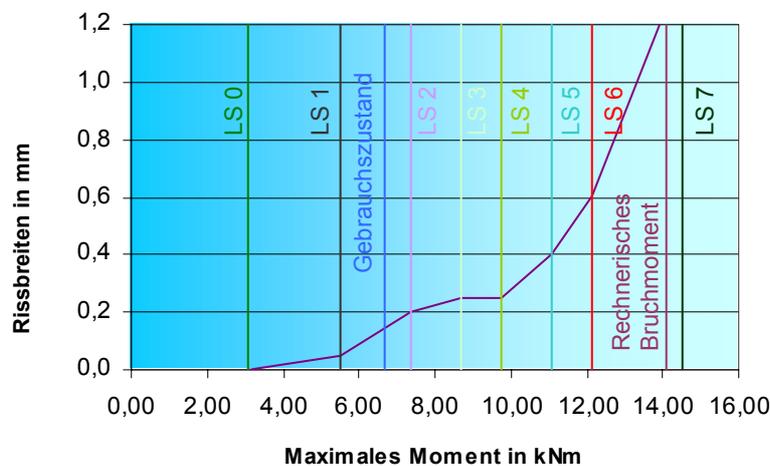


Diagramm 2.6.3.2: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Aus dem Diagramm ist erkennbar, dass durch das Eigengewicht keine Risse entstanden sind. Jedoch mit dem Aufbringen der ersten Laststufe. Zwischen der ersten und dritten Laststufe gingen die Risse stark auf, bevor sie bei der vierten Laststufe gleich groß blieben. Bis zum Erreichen des maximalen Moments aus der Gebrauchslast wiesen die Risse eine Weite von 0,15 mm auf und liegen somit unter den rechnerischen Werten nach der DIN 1045-1, 11.2, Tabelle 1.1. Danach stiegen sie bis zum Erreichen des Bruchmoments wieder drastisch an.

2.7 Stegverbundplatte 7-16-6,0

2.7.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die siebte Stegverbundplatte wurde am Dienstag, den 10. September 2002, hergestellt. Die Bewehrung in Längsrichtung lag bei $7,48 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand $10,5 \text{ cm}$) und in Querrichtung bei $2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 25 cm). Bei einer Steghöhe von 16 cm und einer Stützweite von $6,0 \text{ m}$ ist eine Druckbewehrung von $2,26 \text{ cm}^2/\text{Steg}$ erforderlich. Zu diesem Zweck wurden in allen vier Stegen (analog der SVP 3-16-6,0) Gitterträger eingebaut, an denen die Druckbewehrung befestigt wurde. Da der Gitterträger als Obergurt bereits einen Stab mit dem Durchmesser 12 mm hatte, musste nur noch ein weiterer Stab mit dem Durchmesser von 12 mm eingelegt werden, um die $2,26 \text{ cm}^2$ Druckbewehrung pro Steg zu erhalten. Nach dem Ausschalen der Platte stellte sich heraus, dass die Unterseite der Platte auf Grund des vielen Schalöls erneut porös war. Die Platte hatte ein Eigengewicht von $3,40 \text{ t}$ und stimmte mit den geforderten Abmessungen im Großen und Ganzen überein. Dies ergibt sich auch aus der Gegenüberstellung mit dem rechnerischen Gewicht von $3,29 \text{ t}$. Weiterhin wurden die Transporthaken zu nahe nebeneinander und zu weit in der Mitte eingebaut, so dass sich beim Anhängen mittels Gehänge ein Einfeldträger mit zwei großen Kragarmen gebildet hätte. So wurde die Platte von unten mit dem Gabelstapler auf die Versuchsvorrichtung gelegt.

2.7.2 Versuchsdurchführung und Auswertung der Vorbelastung

Die Stegverbundplatte sollte zunächst bis zum maximalen Moment aus der Gebrauchslast vorbelastet werden. Nach der Ortbetoneergänzung sollte sie dann zusammen mit der achten SVP als Durchlaufträger im Endzustand bis zum Bruchmoment belastet werden. Das Vorbelasten wurde anhand von zwei Laststufen durchgeführt, so dass knapp 76% des Gebrauchsmoments aufgebracht wurden. Das Bemessungsmoment lag bei $20,5 \text{ kNm}$ pro Steg, das zu einem maximalen Moment im Gebrauchszustand von $13,67 \text{ kNm}$ pro Steg und einem rechnerischen Bruchmoment von $28,7 \text{ kNm}$ pro Steg führte.

Die einzelnen Stufen der Vorbelastung sind nachfolgend zusammengestellt:

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0	6,39	46,76	22,26	4,26	35,56	14,11
1	1	1,98	8,37	61,24	29,16	8,1	67,62	26,83
2	1,5	3,96	10,35	75,73	36,06	8,76	73,13	29,02

Tabelle 2.7.2.1: Schema zur Vorbelastung der SVP 7-16-6,0

Die Würfeldruckfestigkeit der Stegverbundplatte konnte zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung mit 20 N/mm^2 und der E-Modul mit 15.000 N/mm^2 aus dem Diagramm der entnommenen Betonproben herausgelesen werden. Nach dem Auflegen der Platte auf die Versuchseinrichtung bog sie sich um $1,7 \text{ cm}$ durch. Die Durchbiegung der Platte ist im nachfolgenden Bild bereits erkennbar.



Bild 2.7.2.1: Laststufe 0 der SVP 7-16-6,0

Vergleicht man die maximale Durchbiegung in Feldmitte dieser Platte mit der SVP 3-16-6,0, so ist erkennbar, dass sich die dritte Platte um etwa 4 mm weniger, bei jedoch höherem Eigengewicht ($3,86 \text{ t}$), durchbog. Einer der Gründe hierfür kann die poröse Unterseite der Platte sein, des weiteren wurde bei dieser Platte die Längsbewehrung nicht ordentlich eingebaut, so dass z. B. ein Stabbündel vorhanden war und ein Teil der Stäbe in Auflagernähe nicht genügend Betondeckung hatten.

Der Vergleich der vorhandenen Durchbiegung in Feldmitte mit denen der Zustände I und II zeigt, dass der gemessene Wert zwischen den beiden rechnerischen lag. Die zulässige Durchbiegung von $2,4 \text{ cm}$ war zu etwa 71% erreicht.

Zustand I	0,00	5,70	10,40	13,50	14,60	13,50	10,40	5,70	0,00
Zustand II	0,00	8,14	14,86	19,29	20,86	19,29	14,86	8,14	0,00

Tabelle 2.7.2.2: Rechnerische Verformungen der SVP 7-16-6,0 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

An der Plattenunterseite waren bereits Risse in Feldmitte mit einer Weite von $0,05 \text{ mm}$ entstanden. Sie verliefen mit einigen Unterbrechungen über die gesamte Plattenbreite und waren zum Teil schon an den Seiten des Fertigteils sichtbar. Das maximale Moment von $6,39 \text{ kNm}$ pro Steg entsprach ca. 47% des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und gleichzeitig 22% des rechnerischen Bruchmoments. Die maximale Querkraft von $4,26 \text{ kN}$ pro Steg erreichte fast 36% der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 14% der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Für die *erste Laststufe* wurden auf die Position 1 zwei Kalksandstein-Paletten aufgelegt. Hierdurch wurde in Feldmitte ein Moment von 8,37 kNm pro Steg erzeugt. Dieses Moment entsprach etwa 61 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und somit 29 % des rechnerischen Bruchmoments. Die Durchbiegung in Feldmitte stieg auf etwa 30 mm an, was bereits eine Überschreitung des zulässigen Wertes von 25 % darstellte. Der Vergleich mit der maximalen Durchbiegung aus dem Zustand II (28,29 mm) zeigt, dass die vorhandene leicht über diesem Wert lag. Die große Anzahl der Risse an der Plattenunterseite mit Weiten von 0,05 mm hatten eine große Durchbiegungserhöhung zur Folge. Die bereits bestehenden Risse gingen nicht weiter auf. Ein Teil der neu entstandenen Risse war an der Plattenoberseite sichtbar und ragte wiederum teilweise bis zu den äußersten Stegen.

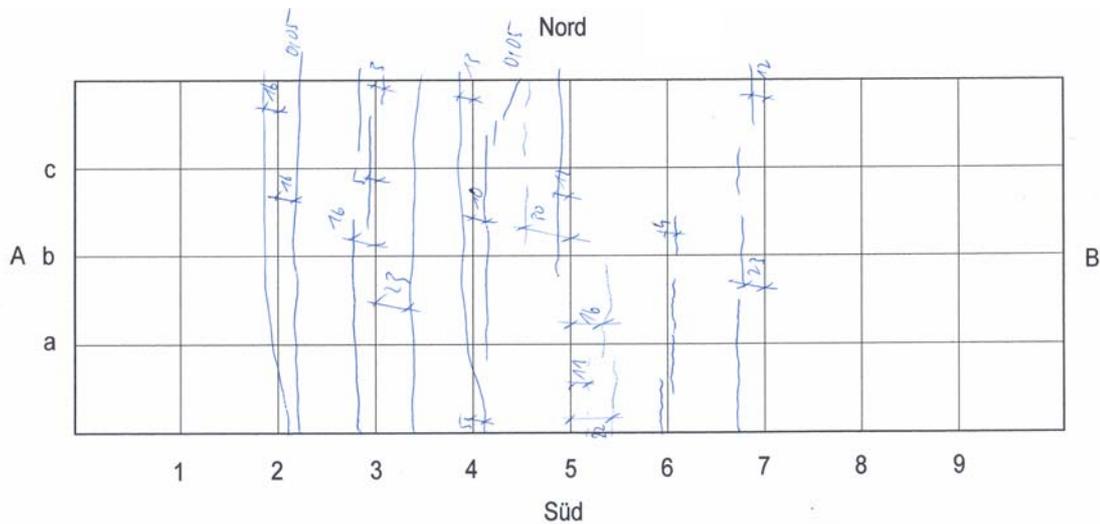


Bild 2.7.2.2: Rissbild der SVP 7-16-6,0 im Bauzustand aus der Laststufe 1

Bei der dritten Stegverbundplatte wurde mit dieser Laststellung auf Grund des höheren Eigengewichts ein Moment von 9,22 kNm hervorgerufen. Diese Platte bog sich jedoch nur um 18 mm durch, was etwa 60 % der hier gemessenen Durchbiegung darstellt.

Die *zweite Laststufe* bestand daraus, auf die Position 5 zwei weitere Belastungskörper aufzulegen, so dass ein maximales Moment von 10,35 kNm pro Steg erzeugt wurde. Das aufgebrachte Moment in Feldmitte entsprach knapp 76 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und somit 36 % des rechnerischen Bruchmoments. Die maximale Querkraft von 8,76 kN pro Steg entsprach 73 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 29 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.7.2.3: Laststufe 2 der SVP 7-16-6,0

Die Durchbiegung in Feldmitte wurde im Mittel mit 45,4 mm gemessen, das etwa 27 % mehr war, als die rechnerische Durchbiegung im Zustand II. An der Plattenunterseite entstanden vor allem am Auflager B neue Risse mit Weiten von 0,05 und 0,1 mm. Die bereits bestehenden Risse gingen auf 0,1 mm auf.

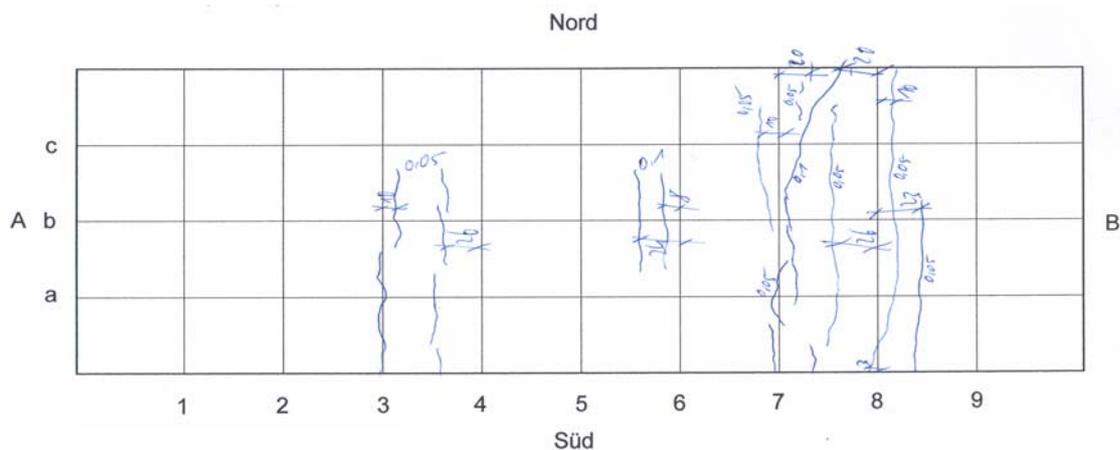


Bild 2.7.2.4: Rissbild der SVP 7-16-6,0 im Bauzustand aus der Laststufe 2

Nach der Entlastung der SVP wurde die Durchbiegung am nächsten Tag mit 3,25 cm gemessen, das bedeutete, dass die Platte wieder um knapp 1,3 cm nach oben gegangen war.

2.7.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Nachdem die siebte Stegverbundplatte mit der dritten von den Abmessungen und dem Bewehrungsgehalt identisch war, kann ein direkter Vergleich zwischen den beiden Platten gezogen werden. Das nachfolgende Diagramm stellt die Durchbiegungen der beiden Platten gegenüber.

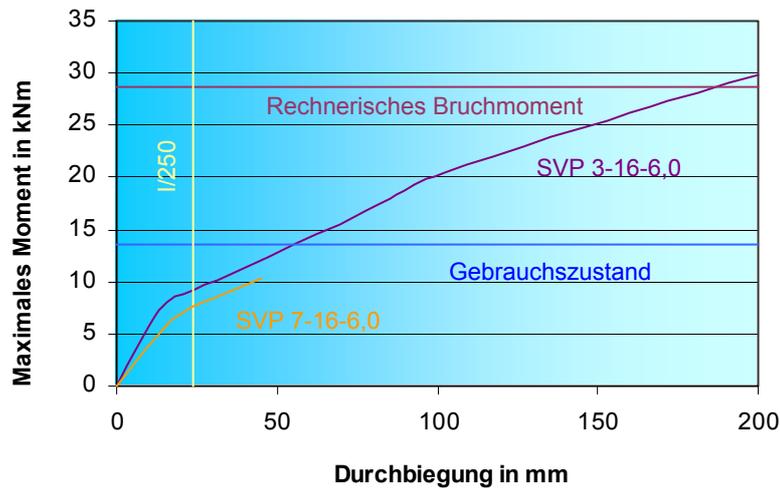


Diagramm 2.7.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Wie die Gegenüberstellung der beiden Platten zeigt, bog sich die siebte Platte stärker durch als die dritte. Beide überschritten die zulässige Durchbiegung von 2,4 cm bereits vor dem Erreichen des maximalen Moments im Gebrauchszustand.

Das nächste Diagramm stellt die maximalen Rissbreiten den erzeugten Momenten in Feldmitte gegenüber.

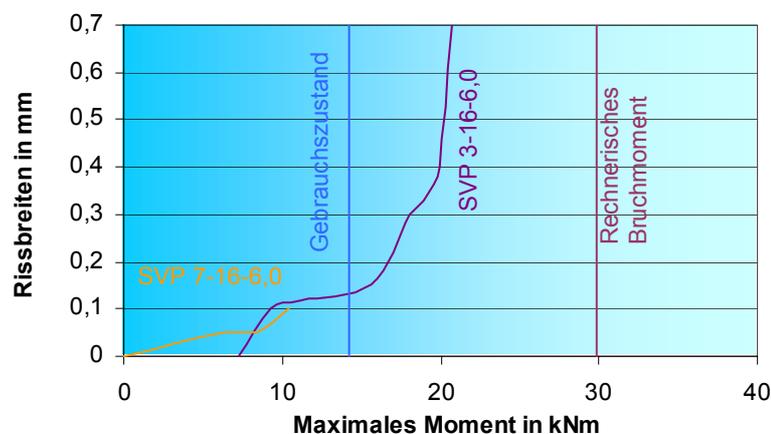


Diagramm 2.7.3.2: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Wie die beiden Kurven zeigen, ist lediglich bei einem Moment von etwa 8 kNm eine Übereinstimmung vorhanden. Während die Rissentwicklung bei der siebten Stegverbundplatte bereits bei der Belastung durch das Eigengewicht angefangen hatte, begann sie bei der dritten Platte erst bei der Belastung mit den Kalksandstein-Paletten. Welche Rissweite die siebte Stegverbundplatte in Höhe des maximalen Moments im Gebrauchszustand gehabt hätte, kann leider nicht gesagt werden, da diese nicht so hoch belastet wurde und die Kurve zum Ende hin sehr steil nach oben geht.

2.8 Stegverbundplatte 8-16-4,2

2.8.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die achte Stegverbundplatte wurde am Mittwoch, den 11. September 2002, hergestellt. Die Bewehrungsmenge war identisch mit der SVP 6-16-4,2, so dass die Längsbewehrung bei $3,57 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand 22 cm) und die Querbewehrung bei $2,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 25 cm) lag. Die Unterseite der Platte war wie bei den vorherigen Platten porös. Die Transporthaken waren an der richtigen Stelle eingebaut, so dass die Platte wieder mittels Gehänge auf die Versuchsvorrichtung aufgelegt werden konnte.



Bild 2.8.1.1: Transport der SVP 8-16-4,2



Die Stegverbundplatte hatte ein Eigengewicht von $2,34 \text{ t}$, das fast dem rechnerischen Gewicht von $2,35 \text{ t}$ entsprach. Am Auflagerbereich A hatten drei Bewehrungsstäbe zur Plattenoberseite hin keine bzw. keine ausreichende Betondeckung. Dies war auf einen unsachgemäßen Einbau bei der Herstellung zurückzuführen, wie dies das *Bild 2.8.1.2* beispielhaft an einem Bewehrungsstab zeigt.

Bild 2.8.1.2: Bewehrungsstab im Auflagerbereich der SVP 8-16-4,2

2.8.2 Versuchsdurchführung und Auswertung der Vorbelastung

Die Stegverbundplatte wurde wie die siebte Platte zunächst in zwei Laststufen vorbe- lastet. Nach dem Entlasten und der Ortbetonergänzung wurde sie mit der siebten Plat- te als Durchlaufträger im Endzustand bis zur Bruchlast belastet. Nachdem die achte SVP die gleichen Abmessungen und den gleichen Bewehrungsgehalt wie die sechste Platte aufwies, waren auch die Bezugsmomente identisch. Das bedeutete ein Be- messungsmoment von 10,05 kNm pro Steg, ein maximales Moment im Gebrauchszu- stand von 6,70 kNm und ein rechnerisches Bruchmoment von 14,07 kNm.

Das Lastschema für die Vorbelastung sah wie folgt aus:

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Paletten- stellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchs- last	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	3,07	45,84	21,83	2,92	31,49	12,50
1	2 (1/2)	2,39	5,46	81,51	38,81	4,19	45,19	17,93
2	2	4,26	7,33	109,42	52,11	5,17	55,76	22,13

Tabelle 2.8.2.1: Schema zur Vorbelastung der SVP 8-16-4,2

Die Vorbelastung der SVP wurde am Freitag, den 13. September 2002, durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung konnten die Würfeldruckfestigkeit der Stegverbundplatte von 20 N/mm² und der E-Modul von 15.000 N/mm² aus dem entspre- chenden Diagramm der Betonproben herausgelesen werden. Mit dem Eigengewicht von 2,34 t wurde in Feldmitte ein Moment von 3,07 kNm hervorgerufen, das wiederum knapp 46 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und fast 22 % vom rech- nerischen Bruchmoment entsprach. Der Vergleich der gemessenen Durchbiegung von 3,5 mm mit dem zulässigen Wert von 16,8 mm zeigt, dass nur etwa 21 % davon er- reicht waren. Verglichen mit den Durchbiegungen in den Zuständen I und II zeigte sich, dass die Werte des Zustands I erreicht waren. Das zeigte sich auch an der Plat- tenunterseite, da keine Risse zu erkennen waren. Die maximale Querkraft von 2,92 kN pro Steg erreichte 31 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 13 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Die sechste SVP bog sich auf Grund ihres Eigengewichts (2,36 t) um 2,5 mm durch, was 1 mm weniger war als bei der achten.

Für die *erste Laststufe* wurden zwei halbe Paletten in die Plattenmitte aufgebracht. Hierdurch entstand ein Moment von 5,46 kNm, das etwa 82 % des maximalen Mo- ments im Gebrauchszustand und fast 39 % des rechnerischen Bruchmoments ent- sprach. Die Durchbiegung in Feldmitte nahm um etwas mehr als 100 % zu, so dass sich die Platte nun um 7,64 mm durchbog. Dies entsprach etwa 45 % der zulässigen Durchbiegung von 16,8 mm.

Zustand I	0,00	2,20	4,00	5,30	5,70	5,30	4,00	2,20	0,00
Zustand II	0,00	3,14	5,71	7,57	8,14	7,57	5,71	3,14	0,00

Tabelle 2.8.2.2: Rechnerische Verformungen der SVP 8-16-4,2 im Zustand I und Zustand II aus der Laststufe 0

Der Vergleich der maximalen Durchbiegungen mit den Rechenwerten der Zustände I und II zeigt, dass sie zwischen den beiden Werten lagen. Bei der Rissbetrachtung an der Plattenunterseite war ein Riss in Feldmitte mit einer Weite von 0,1 mm erkennbar, der über die gesamte Plattenbreite verlief. Dieser Riss war bereichsweise auch an der Plattenoberseite erkennbar. Er reichte jedoch noch nicht bis zu den Stegen. Die maximale Querkraft unter Gebrauchslast wurde bei dieser Laststellung zu 45 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu fast 18 % erreicht.

Im Vergleich zur sechsten Stegverbundplatte war die Zunahme bei gleicher Palettenstellung gleich groß. Die Platte bog sich zwar mit 6,65 mm um 1 mm mehr durch, doch dieser Unterschied bestand bereits bei der Durchbiegung aus der Belastung mit dem Eigengewicht.

Die *zweite Laststufe* entsprach einem Feldmoment von 7,33 kNm, das 109 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast entsprach. Bezogen auf das rechnerische Bruchmoment waren 52 % erreicht. Das Moment in Feldmitte wurde erzeugt, indem die zwei halben Paletten durch ganze ersetzt wurden.



Bild 2.8.2.1: Laststufe 2 der Vorbelastung der SVP 8-16-4,2

Die Durchbiegung in Feldmitte wurde mit fast 27 mm gemessen, was wiederum eine Zunahme von über 100 % darstellte. Mit dem Überschreiten des maximalen Moments aus der Gebrauchslast nahm die Rissbildung in Plattenmitte stark zu. Die neuen Risse hatten Weiten von 0,2 – 0,3 mm und der bereits bestehende Riss in Feldmitte ging auf 0,3 mm auf. Das Rissbild der neu entstandenen Risse ist im nächsten Bild dargestellt.

Nach dem Entlasten ging die Durchbiegung der SVP auf 19,0 mm zurück.

Diese Laststellung erzeugte eine maximale Querkraft von 5,17 kN pro Steg, was fast 56 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 22 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.

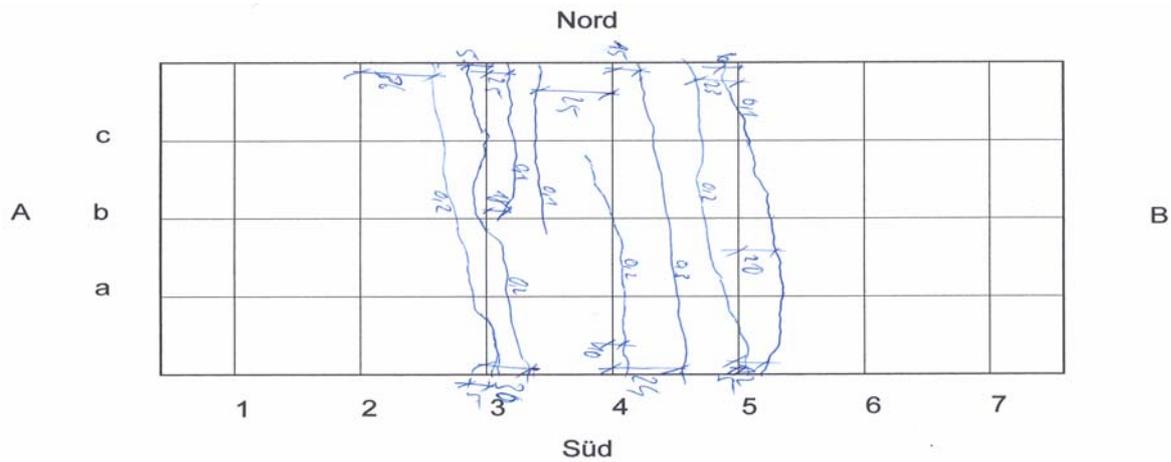


Bild 2.8.2.2: Rissbild der Laststufe 2 aus der Vorbelastung der SVP 8-16-4,2

Die sechste Stegverbundplatte hatte eine maximale Durchbiegung in Feldmitte bei gleicher Laststellung von 18,25 mm. Der Unterschied von knapp 9 mm ist auf die ungenaue Bewehrungsführung in Kombination mit der porösen Unterseite zurückzuführen.

2.8.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Nachdem die sechste und die achte Platte von den Abmessungen und der Bewehrung identisch waren, können sie direkt miteinander verglichen werden.

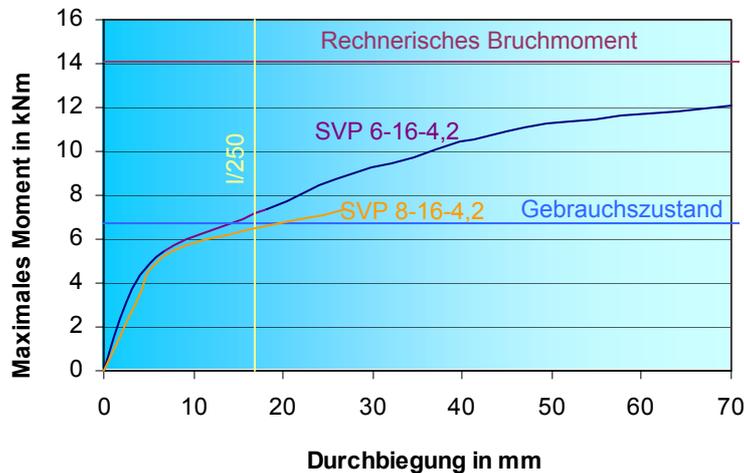


Diagramm 2.8.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Wie das Diagramm deutlich zeigt, waren die Durchbiegungen bis zu einem Moment von etwa 5 kNm fast identisch, bevor sie dann bei der achten Stegverbundplatte größer wurden. Dies änderte sich über die gesamte Dauer der Vorbelastung der achten Platte nicht. Die achte Platte erreichte somit den zulässigen Wert der Durchbiegung knapp vor dem Erreichen des maximalen Moments im Gebrauchszustand. Die sechste SVP überschreitet den zulässigen Wert bei einem maximalen Moment von etwa 7 kNm, was etwas über dem maximalen Moment im Gebrauchszustand lag.

Das nächste Diagramm stellt die Rissweiten der sechsten und achten Stegverbundplatte den maximalen Momenten aus den Laststufen gegenüber.

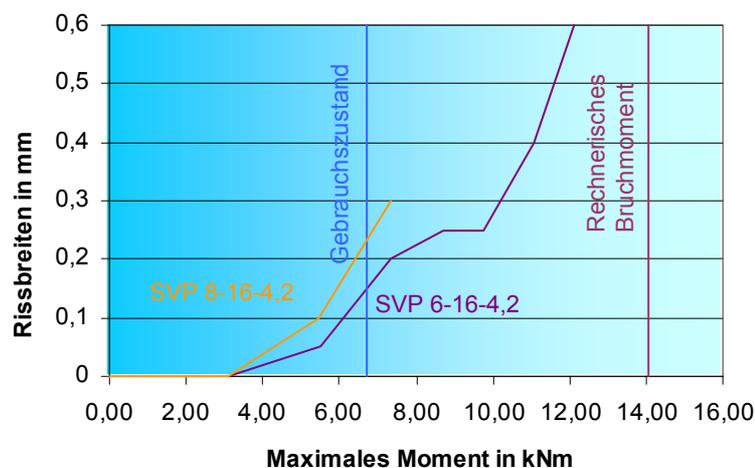


Diagramm 2.8.3.2: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

Während die beiden SVP bei der Gegenüberstellung der Durchbiegungen erst kurz vor dem maximalen Moment aus der Gebrauchslast voneinander abweichen, war dies bei den Rissweiten schon vorher der Fall. Die achte Stegverbundplatte hatte somit in Höhe des maximalen Moments im Gebrauchszustand Rissweiten von 0,21 mm, während die sechste Platte bei gleichem Moment Rissweiten von 0,15 mm aufwies.

Die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse lag wahrscheinlich bei der porösen Oberfläche und der ungenauen Bewehrungslage in der Fertigteilplatte.

2.9 Stegverbundplatte 7-16-6,0 und 8-16-4,2 als Durchlaufträger

2.9.1 Herstellung der Ortbetoneergänzung mit Stützbewehrung



Nach dem Vorbelasten der achten Stegverbundplatte wurden die Kalksandstein-Paletten wieder von der Stegverbundplatte heruntergehoben. Danach wurde in die Stegzwischenräume die Stützbewehrung eingelegt. Das für die Stützbewehrung maßgebende Moment ergibt aus der gleichmäßigen Verteilung der Gebrauchslast über beide Felder. So ergab sich am mittleren Auflager ein Stützmoment von 32,81 kNm. Anhand dieses Moments ergab sich die Bewehrung von 3,09 cm² pro Steg, das von vier Stäben mit einem Durchmesser von 10 mm (3,14 cm²) abgedeckt wurde. Diese Stäbe lagerten auf kleinen Gitterträgererelementen, die die Betondeckung nach oben gewährleisteten. Das Abschalen der Seitenflächen der beiden Platten wurde wie bei den Versuchsplatten vier und fünf vorgenommen.

Bild 2.9.1.1: Stützbewehrung in den Stegzwischenräumen

Zwischen den beiden Fertigteilen war am Mittelaufleger 5 cm Luft, so dass sich nach der Erhärtung der Ortbetoneergänzung die Druckzone vollständig ausbilden konnte. Die Ortbetoneergänzung wurde am Freitag, den 11. September 2002, aufgebracht. Diese Versuchsanordnung diente vor allem zur Untersuchung der Durchlaufwirkung mit der Auswirkung auf den Stützenbereich. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Rissentwicklung über der Stütze gelegt. Dies sollte Aufschluss über die Bewehrungsführung und das Verbundverhalten zwischen der Ortbetoneergänzung und der Stegverbundung geben.

2.9.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Nachdem die Ortbetoneergänzung der beiden Platten zwar am gleichen Tag aufgebracht wurde, die SVP 7-16-6,0 jedoch einen Tag früher hergestellt wurde, wiesen sie unterschiedliche E-Module auf. Die Platte 7-16-6,0 mit der großen Stützweite hatte somit entsprechend den Flächenverhältnissen eine Druckfestigkeit von 27,89 kN/mm² und einen entsprechenden E-Modul von 19.539 kN/mm². Mit der kürzeren Spannweite von 4,20 m wies die Platte 8-16-4,2 eine Druckfestigkeit von 27,20 kN/mm² und einen E-Modul von 19.413 kN/mm² auf. Die Würfeldruckfestigkeiten und die E-Moduli wurden wie bei den anderen Platten von den Diagrammen herausgelesen.

Das Bemessungsmoment nach der DIN 1045-1 lag somit bei 32,81 kNm. Das maximale Moment im Gebrauchszustand lag bei 29,89 kNm und das rechnerische Bruchmoment bei 62,78 kNm. Der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit lag bei 73,02 kN, die maximale Querkraft unter Gebrauchslast bei 52,16 kN und die maximale Querkraft im Bruchzustand bei 131,44 kN pro 1,20 m Lasteinzugsbreite der Paletten.

Die Stegverbundplatten wurden wie nachfolgend aufgelistet belastet.

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	SVP 7-16-6,0	Auflager B			SVP 8-16-4,2	Querkraft		
		Moment in Feldmitte in kNm	maximales Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Moment in Feldmitte in kNm	maximal vorhandene Querkraft	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	20,88	0,00	0,00	0,00	10,45	13,92	26,69	10,59
1	1, 5, 6, 8	23,73	10,14	46,36	22,08	14,87	24,61	47,18	18,72
2	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8	34,60	23,31	106,57	50,75	16,84	35,81	68,66	27,25
3	1. Reihe voll, 7	43,35	31,02	141,82	67,53	17,76	41,59	79,74	31,64
4	1. Reihe voll, 1, 5, 7	47,81	37,94	173,45	82,60	18,07	51,74	99,20	39,37
5	1. Reihe voll, 1, 5, 6, 7	46,57	40,42	184,79	88,00	21,56	52,16	100,01	39,68
6	1. Reihe voll, 1, 3, 5, 6, 7, 8	55,31	48,13	220,04	104,78	22,47	57,94	111,09	44,08
7	1. Reihe voll, 2. Reihe voll	67,62	58,44	267,17	127,23	17,34	68,66	131,64	52,24

Tabelle 2.9.2.1: Lastschema zur Belastung der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Durch die Ortbetonergänzung bog sich die SVP 7-16-6,0 um 4,7 cm in Feldmitte durch. Die Durchbiegung aus der Vorbelastung lag bei 4,5 cm in Feldmitte. Sie ging nach der Entlastung zwar auf 3,25 cm zurück, so dass sich die Platte auf Grund der Ortbetonergänzung um knapp 1,5 cm senkte. Die SVP 8-16-4,2 ging nach der Entlastung auf 1,9 cm zurück, so dass die Zunahme der Durchbiegung durch die Ortbetonergänzung 4 mm betrug. Die gesamte Durchbiegung bei der achten Platte lag bei 2,3 cm.



Bild 2.9.2.1: Eingeschaltete SVP 7 und 8 als Durchlaufträger



Die Verformung der beiden Platten auf Grund der Ortbetonganzung entsprach der von zwei Einfeldträgern. Mit dem Aufbringen der Ortbetonganzung stellte sich zwar ein Moment in Feldmitte ein, ein Stützmoment am Auflager B konnte sich jedoch nicht ausbilden. Erst durch die Verformung nach dem Erhärten der Ortbetonganzung kann sich langsam ein Stützmoment aus den ständigen Lasten aufbauen. Die Platten wurden nach drei Tagen belastet, so dass die Zeit zu kurz war, um ein Stützmoment aus dem Eigengewicht aufzubauen, das rechnerisch relevant ist.

Bild 2.9.2.2: Ausgeschaltete SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Das *Diagramm 2.9.2.1* stellt die gemessenen Durchbiegungen den rechnerischen in den Zuständen I und II gegenüber. Deutlich ist zu erkennen, dass die gemessenen höher lagen als die rechnerischen. Dies war hauptsächlich auf die Vorbelastung und die dadurch entstandenen Rissbildungen der Platte (maximale Rissweite SVP 8-16-4,2 von 0,3 mm) zurückzuführen. Die zulässigen Verformungen von 1,68 cm bei der kurzen Platte und 2,4 cm bei der langen Platte waren hier bereits überschritten. An der Plattenunterseite entstanden ganz vereinzelt neue kleine Risse, die an die bereits bestehenden anknüpften. In der Plattenmitte der größeren Stützweite lagen die Rissweiten in der Nähe der Auflager bei 0,1 mm und in der Plattenmitte bei 0,2 mm. Bei der kürzeren Platte waren die Risse in Auflagernähe 0,2 mm stark und in der Plattenmitte, wie bereits oben erwähnt, 0,3 mm.

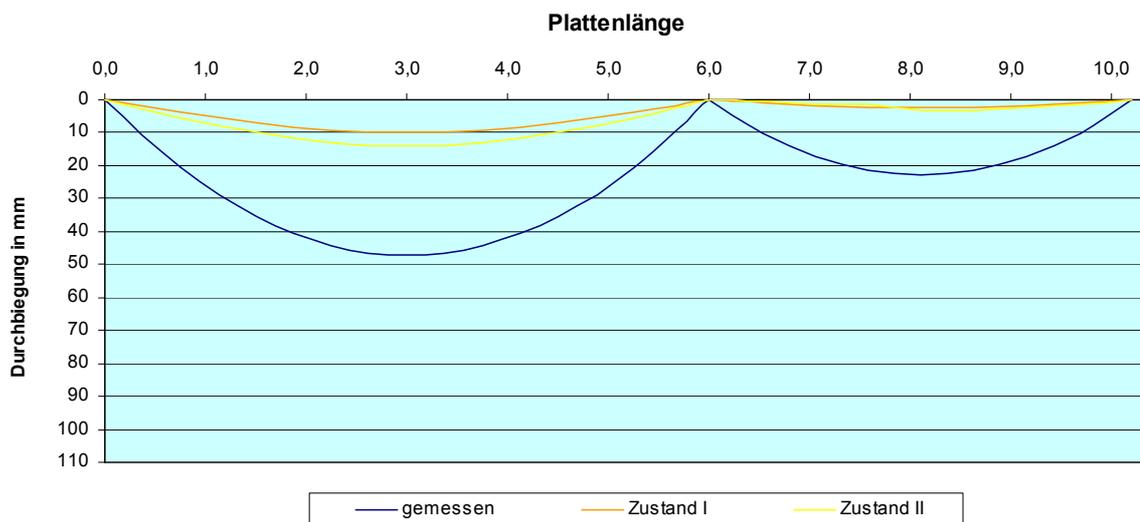


Diagramm 2.9.2.1: Laststufe 0 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Auch die bereits vor der Ortbetonergänzung aufgetretenen Verformungen von 3,25 cm bei der langen und 1,55 cm bei der kurzen Stegverbundplatte trugen zu diesen großen Verformungen bei. Diese großen Verformungen sind wiederum auf den niedrigen E-Modul des verwendeten Betons zurückzuführen. An der Plattenoberseite am Auflager B waren keine Schwindrisse zwischen der glatten Stirnseite der Stege und der dazwischen liegenden Ortbetonergänzung zu erkennen. Die maximale Querkraft erreichte mit 13,92 kN etwa fast 27 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und etwa 11 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Zur Lasteinleitung wurden wie bei der vierten und fünften Stegverbundplatte Holzbretter auf die Ortbetonergänzung gelegt. Sie dienen zur direkten Krafteinleitung des Gewichts der Kalksandstein-Paletten in die Ortbetonergänzung. Für die *erste Laststufe* wurden die Belastungskörper auf die Positionen 1, 5, 6 und 8 gestellt. Dies bedeutete, dass jeweils die beiden äußeren Positionen der Platten mit Kalksandstein-Paletten belegt waren. Einen besseren Überblick verschafft das nächste Bild, in dem die Laststufe 1 festgehalten wurde.



Bild 2.9.2.3: Laststufe 1 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Mit dieser Laststellung wurde bei der siebten Stegverbundplatte ein Moment von 23,73 kNm in Feldmitte erzeugt, bei der kürzeren Platte betrug das Feldmoment 10,45 kNm. Auf Grund der Belastung stellte sich am Auflager B ein Stützmoment von 10,14 kNm ein, das etwa 46 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 22 % des rechnerischen Bruchmoments entspricht. Nach dem sich das Gleichgewicht eingestellt hatte, konnten folgende Durchbiegungen gemessen werden:

SVP 7-16-6,0									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	22,51	38,16	47,49	50,35	46,98	37,48	21,95	0,00
SVP 8-16-4,2									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	11,36	19,19	24,12	25,84	24,42	19,67	11,60	0,00

Tabelle 2.9.2.2: Durchbiegungen der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger aus der Laststufe 1

Wie die Tabelle zeigt, erhöhte sich die maximale Durchbiegung der langen Platte auf 5 cm. Dies war eine Zunahme von 3 mm, während sich das Moment in der Mitte dieses Feldes auf 23,73 kNm erhöhte. Die Durchbiegung der kürzeren Stegverbundplatte in Feldmitte erhöhte sich ebenfalls um 3 mm auf fast 2,6 cm. In Feldmitte wurde ein Moment von 14,87 kNm hervorgerufen, das einer Erhöhung von etwa 42 % entsprach. Die Erhöhung der Momente und die daraus entstandene geringe Durchbiegung der Platten in Feldmitte zeigte, dass die Stützbewehrung am Auflager B aktiviert wurde und sich ein Stützmoment gebildet hatte. Die maximale Querkraft am Auflager B betrug 24,61 kNm, was etwa 47 % der maximalen Querkraft im Gebrauchszustand und fast 19 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand darstellte. Am Auflager B waren an der Oberseite der Platte weder in der Ortbetonergänzung noch in den Stegen Risse erkennbar.

Wie das Diagramm zeigt, sollte sich eine Ausrundung am Auflager B auf Grund des Stützmoments einstellen, in Wirklichkeit jedoch war die vorhandene Durchbiegung der von zwei Einfeldträgern ähnlicher. Dies ist auf die bereits starke Verformung aus der Vorbelastung zurückzuführen.

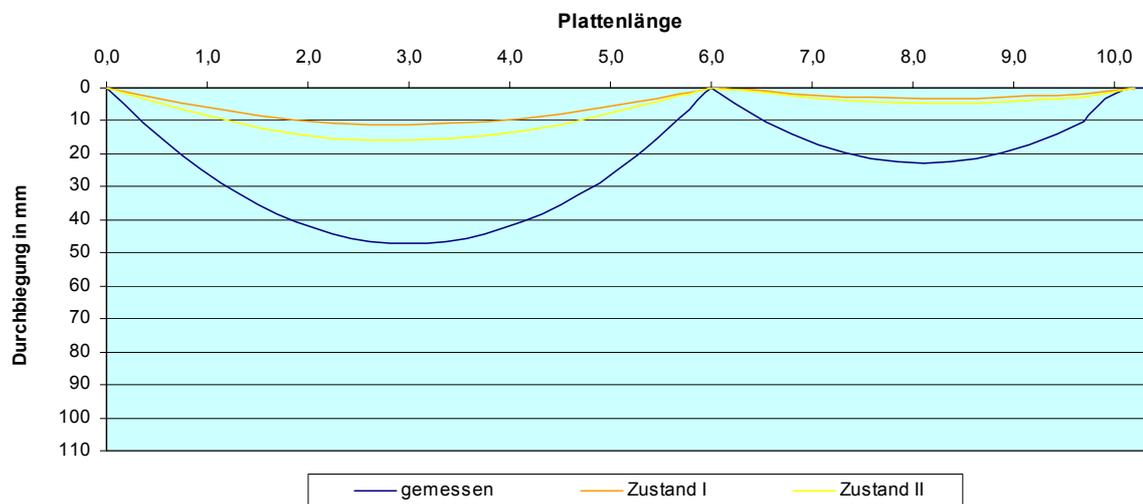


Diagramm 2.9.2.2: Laststufe 1 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

An der Plattenunterseite entstanden bei der siebten Platte zwei neue Risse in Feldmitte, die eine Weite von 0,1 mm hatten. Die alten Risse veränderten ihre Weite nicht. Bei der achten Platte entstand in der Nähe vom Auflager C ein neuer kleiner Riss mit einer Weite von 0,05 mm. Die alten Risse gingen in Feldmitte auf 0,35 mm auf, die Risse in Auflagernähe hingegen blieben bei 0,2 mm.

Für die **zweite Laststufe** wurden auf die lange Platte vier weitere Paletten aufgebracht und auf der kleinen zwei, so dass die erste Ebene der achten Stegverbundplatte geschlossen war.

Mit dem Aufbringen der zweiten Laststufe entstand in Feldmitte der siebten Stegverbundplatte ein Moment von 34,60 kNm und in der Mitte der achten Stegverbundplatte ein Moment von 16,84 kNm. Das Stützmoment am Auflager B lag bei 23,31 kNm, das fast 107 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 51 % des rechnerischen Bruchmoments darstellte. Die maximale Querkraft am Auflager B erreichte mit

35,81 kNm knapp 67 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 27 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 2.9.2.4: Laststufe 2 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Die Durchbiegung in Feldmitte bei der langen Platte vergrößerte sich um fast 2 cm auf 6,9 cm. Bei der Platte mit der kleineren Stützweite vergrößerte sich die Durchbiegung auf 3,1 cm, das eine Zunahme von 6 mm bedeutete. Die vorhandenen Durchbiegungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

SVP 7-16-6,0									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	30,93	52,99	66,18	69,38	65,20	49,02	28,15	0,00
SVP 8-16-4,2									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	12,61	21,79	28,16	31,33	30,54	25,24	14,59	0,00

Tabelle 2.9.2.3: Durchbiegungen der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger aus der Laststufe 2

Wie das nachfolgende Diagramm zeigt, wurden die gemessenen Durchbiegungen bei der großen Stützweite um etwa das dreifache der rechnerischen Durchbiegungen im Zustand II überschritten, bei der kleineren Stützweite waren sie bereits um mehr als das 6-fache überschritten.

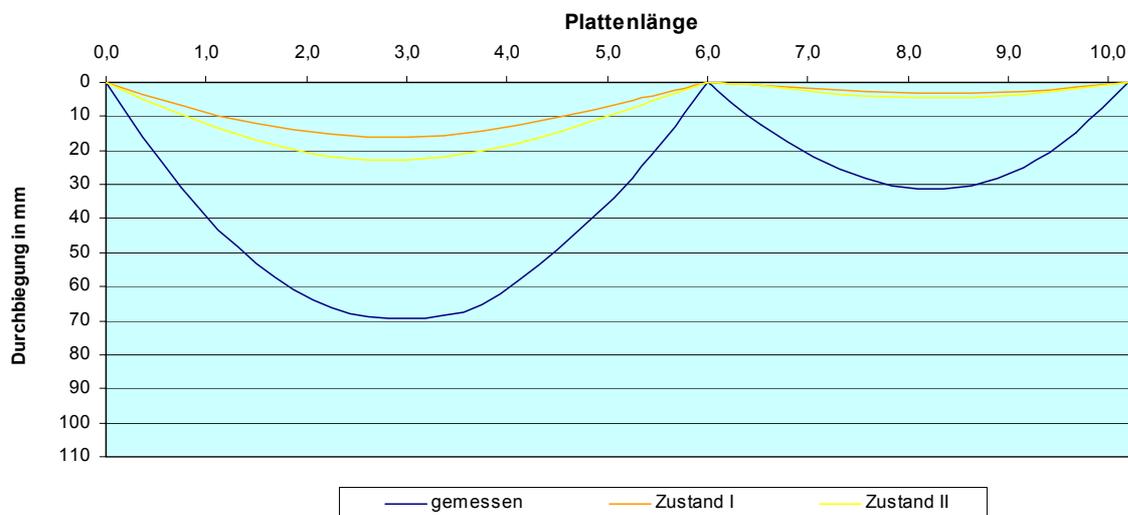


Diagramm 2.9.2.3: Laststufe 2 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Die Zunahme der Durchbiegungen hatte ihre Grundlage in der Rissbildung an der Plattenunterseite.

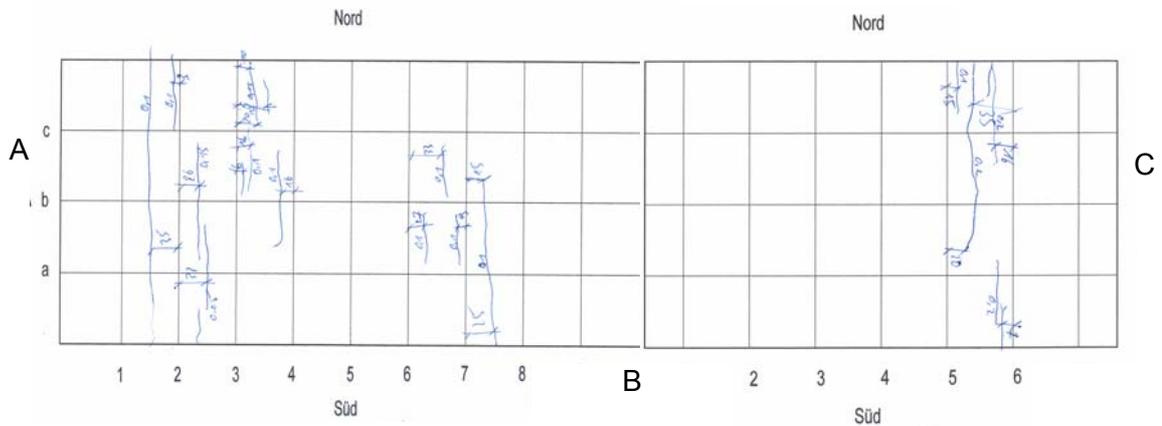


Bild 2.9.2.5: Neu entstandene Risse aus der Laststufe 2 der SVP 7 und 8 als DLT

Es entstanden viele neue Risse mit einer überwiegenden Breite von 0,1 mm. An der längeren SVP gingen die alten Risse in Plattenmitte auf 0,3 mm auf, die in Auflagenähe hatten eine Weite von 0,15 mm. Bei der Platte mit der kürzeren Spannweite entstanden lediglich in der Nähe vom Auflager C neue Risse mit einer Weite von 0,1 und 0,2 mm. Die bereits vorhandenen Risse in Feldmitte gingen auf 0,3 – 0,4 mm, ebenso wie die in Auflagenähe auf.

Im Bereich der Stützbewehrung entstanden an der Plattenoberseite zwei dominante Risse mit einer Weite von 0,15 mm. Sie verliefen hauptsächlich an den Stirnseiten der Stege über die gesamte Plattenbreite. Lediglich im südlichsten Stegzwischenraum bei der großen Platte entstand ein weiterer Riss, der zwischen den zwei Stegen lief. Diese beiden Risse gingen an den Seitenflächen der Stegverbundplatten bereits fast bis zum Fertigteil, wie die unten stehenden Bilder zeigen.



Bild 2.9.2.6: Neu entstandene Risse aus der Laststufe 2 über dem Auflager B

Für die *dritte Laststufe*, die am Auflager B ein Stützmoment von 31 kNm hervorrief, wurden je zwei weitere Paletten auf die mittlere Position der langen und kurzen Platte gestellt. Während bei der siebten Platte die erste Ebene somit geschlossen war, wurde bei der kürzeren SVP bereits in der zweiten Ebene gestapelt. Das Stützmoment entsprach somit fast 142 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und etwa 68 % des rechnerischen Bruchmoments.



Bild 2.9.2.7: Laststufe 3 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Die Vergrößerung des Moments bei der langen Stegverbundplatte auf 43,35 kNm führte zu einer Durchbiegung von knapp 8,3 cm. Bei der kleineren Platte vergrößerte sich das Moment auf 17,76 kNm, das zu einer Durchbiegung von etwa 4,7 cm führte. Die gemessenen Durchbiegungen sind nachfolgend den rechnerischen graphisch gegenübergestellt.

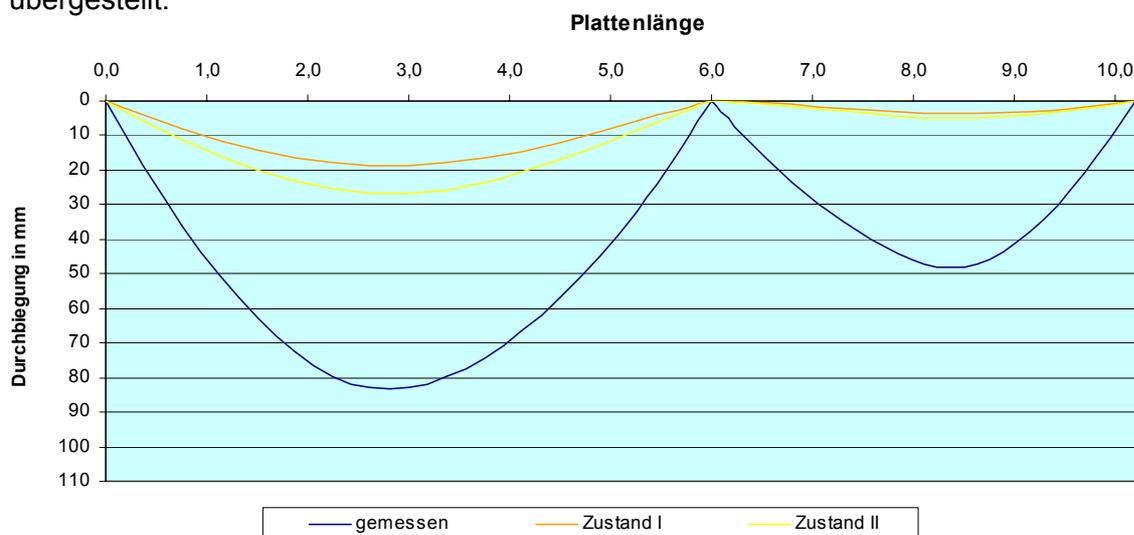


Diagramm 2.9.2.4: Laststufe 3 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

An den Plattenunterseiten waren nur wenig weitere Risse entstanden. Die neuen Risse bei der langen Platte hatten eine Weite von 0,05 bis 0,1 mm, die bei der kürzeren Platte hingegen gingen auf bis zu 0,3 mm auf. Die bereits bestehenden Risse bei der siebten SVP vergrößerten sich in Plattenmitte auf 0,3 – 0,4 mm und zum Auflager hin auf 0,2 mm. Die Risse bei der kurzen Platte hatten in Plattenmitte bereits eine Weite von 0,8 – 1,0 mm und in Auflagernähe von 0,4 mm.

Die maximale Querkraft am Auflager lag bei 41,59 kN, was fast 80 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und somit fast 32 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach. Die Rissbildung an der Oberseite der Platte über dem Auflager B ist in den nachfolgenden beiden Bildern wiedergegeben.



Bild 2.9.2.8: Neu entstandene Risse aus der Laststufe 3 über dem Auflager B

Wie aus den beiden Bildern zu erkennen ist, entstanden bei dieser Laststufe in jedem Stegzwischenraum neue Risse. Sie hatten etwa den gleichen Abstand untereinander wie die Trapezprofilierung bei den Stegen. Die Risse gingen bis an die Seitenflächen der Platten und reichten dort sogar teilweise bis zur Fertigteilplatte. Es entstanden nicht nur Risse zwischen den Stegen, sondern auch in den Stegen. Der übergreifende Rissverlauf weist auf eine sehr gute Verbundwirkung zwischen dem Fertigteil und der Ortbetoneergänzung hin. Es war kein Hinweis auf die Störung des Verbundes zwischen den Stegen und der Ortbetoneergänzung erkennbar. Diese Risse entstanden etwa 15 cm von der Lagermitte entfernt. Die neuen Rissweiten lagen zwischen 0,15 und 0,4 mm, während die alten Risse Weiten von 0,4 - 0,6 mm aufwiesen.

Die **vierte Laststufe** verursachte ein Stützmoment von fast 38 kNm, das etwa 173 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 83 % des rechnerischen Bruchmoments darstellte. Hierfür wurden vier Paletten auf die beiden äußeren Positionen der langen Platte gestapelt.



Bild 2.9.2.9: Laststufe 4 der SVP 7 und 8 als Durchlaufräger

Die Durchbiegungen der beiden Platten ist in der nächsten Tabelle wiedergegeben.

SVP 7-16-6,0									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	45,38	76,72	96,50	101,14	90,80	68,74	37,65	0,00
SVP 8-16-4,2									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	16,12	30,23	39,72	46,95	47,03	37,44	20,85	0,00

Tabelle 2.9.2.4: Durchbiegungen der SVP 7 und 8 als Durchlaufräger aus der Laststufe 4

Wie aus der Tabelle heraus zu lesen ist, betrug die Durchbiegung der großen Platte bereits mehr als 10 cm. Bei der kleineren war es mit fast 4,7 cm knapp die Hälfte. Die Rissentwicklung an der Plattenunterseite wurde aus Sicherheitsgründen nicht mehr festgehalten. Über dem Auflager B bildeten sich neue Risse sowohl zwischen, als auch in den Stegen. Es entstand der erste Längsrisse zwischen den beiden äußersten Stirnflächen der Stege auf der Nordseite.

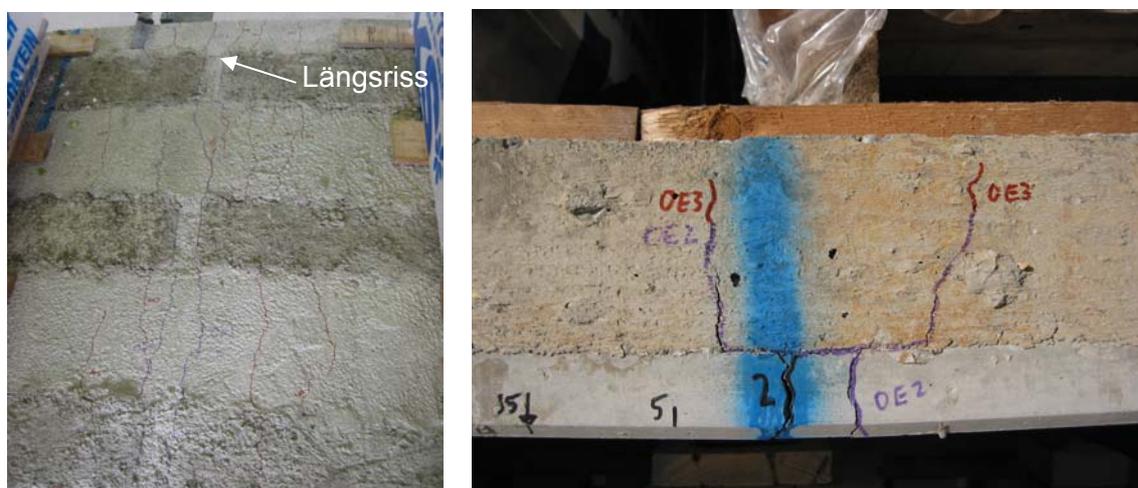


Bild 2.9.2.10: Risse aus der Laststufe 4 über dem Auflager B und in der Mitte der SVP 8-16-4,2

Wie das rechte Bild zeigt, gingen in der Mitte der SVP 8-16-4,2 die Risse bereits fast durch die gesamte Plattenstärke. Auch die Rissweiten an der Plattenunterseite wiesen daraufhin, dass die Platte bald versagen würde. Das Moment in der Mitte des großen Feldes betrug 47,81 kNm und das im kleinen 51,74 kNm. Die maximale Querkraft am Auflager B erreichte mit 51,74 kN die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu 99 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu 39 %.

Die *fünfte Laststufe* bestand daraus, zwei weitere Paletten auf die Position 6 zu stellen. Hierdurch stiegen die Durchbiegungen in Feldmitte bei der großen Platte nur geringfügig an, bei der kleineren hingegen waren es etwa 2,5 cm. Dies ist in der unten stehenden Tabelle wiedergegeben.

SVP 7-16-6,0									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	44,81	77,48	97,35	101,92	91,28	69,03	37,73	0,00
SVP 8-16-4,2									
Messuhr	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gesamt	0,00	23,45	43,04	60,09	73,50	74,60	57,08	30,79	0,00

Tabelle 2.9.2.5: Durchbiegungen der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger aus der Laststufe 5

Die Laststellung und die großen Durchbiegungen sind im unten stehenden Bild zu erkennen.



Bild 2.9.2.11: Laststufe 5 der SVP 7 und 8 als Durchlaufträger

Auf das große Feld wirkte ein Moment in Feldmitte von knapp 47 kNm und auf das kleine von knapp 52 kNm ein.

Das Stützmoment erreichte mit etwa 40,42 kNm fast 185 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 88 % des rechnerischen Bruchmoments. Diese Nähe ist deutlich am Rissbild zu erkennen.



Bild 2.9.2.12: Risse aus der Laststufe 5 über dem Auflager B der SVP 7 und 8

Die maximale Querkraft lag mit 52,16 kN bei 100 % der maximalen Querkraft im unter Gebrauchslast und somit fast 40 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Über dem Auflager B waren wenig neue Risse in Querrichtung entstanden. Es gingen hauptsächlich die bereits bestehenden Risse weiter auf. An der Oberseite der Platte verzweigten sich die Risse am Randbereich. Bei der Beobachtung der Plattenstirnseite war zu erkennen, dass die Risse bereits etwa 11 cm tief waren und somit bis zur Oberkante des Fertigteils verliefen.

Zum Aufbringen der *sechsten Laststufe* wurde bei der achten Stegverbundplatte die zweite Ebene geschlossen und bei der siebten Platte zwei Paletten auf die mittlere Position gestellt. Die Messuhren wurden vor dem Belasten aus Sicherheitsgründen abgebaut, so dass die Durchbiegungen nicht mehr gemessen werden konnten. Mit dem Ablassen der zweiten Palette auf die Position acht, setzte sich die achte SVP auf Grund der großen Durchbiegung und den entsprechenden Rissweiten auf die Abfangkonstruktion auf.

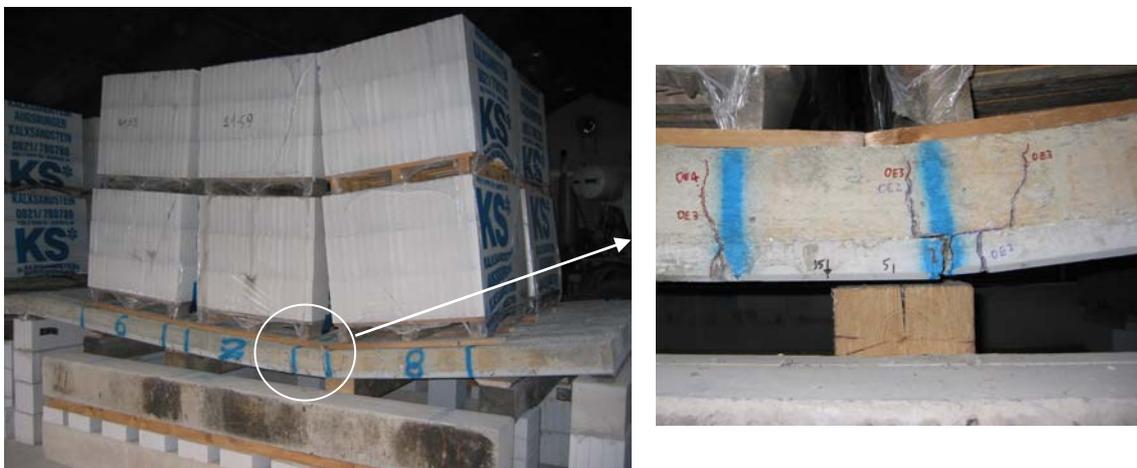


Bild 2.9.2.13: Aufsetzen der SVP 8 bei der Laststufe 6 auf die Abfangvorrichtung

Wie die beiden Bilder zeigen, deutete sich das Versagen der achten Platte auf Grund der Durchlaufwirkung nicht in Feldmitte, sondern weiter zum Auflager C hin, an. Ein Ausbrechen der Druckzone war nicht zu erkennen. Beim weiteren Aufbringen der Paletten auf die mittlere Position der siebten Stegverbundplatte nahmen die Rissweiten im Auflagerbereich B weiter zu.



Bild 2.9.2.14: Risse über dem Auflager B bei der Laststufe 6

Wie die Bilder zeigen, ging einer der Risse bereits zum Teil auf über einen Zentimeter auf. Dieser Riss verlief über die gesamte Plattenbreite und schlängelte sich an den Stirnflächen der Stege der achten SVP entlang. Die Risse im Bereich des Auflagers B gingen teilweise bis in die Fertigteilplatte. Nachdem die achte Stegverbundplatte auf der Abfangkonstruktion auflagerte, bildete sich über dem Auflager B nicht mehr das vollständige Stützmoment aus. Ohne dem Aufliegen der Platte auf der Abfangvorrichtung hätte sich ein Stützmoment von 48,13 kNm gebildet, das 220 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 105 % des rechnerischen Bruchmoments entsprochen hätte. Die maximale Querkraft wäre bei 57,94 kN gelegen, was 111 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 44 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand dargestellt hätte.

Nachdem die siebte Stegverbundplatte hingegen noch etwas Luft zur Abfangvorrichtung hatte, wurden die Lücken in der zweiten Ebene mit Kalksandstein-Paletten geschlossen. Hierdurch hätte sich ein Stützmoment von 58,44 kNm ohne Berührung der Abfangkonstruktion durch die achte Stegverbundplatte gebildet. Somit wären 267 % des maximalen Moments unter Gebrauchslast und 127 % des rechnerischen Bruchmoments erreicht gewesen. Die Maximale Querkraft wäre bei 68,66 kN am Auflager B gewesen, die fast 132 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 52 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand dargestellt hätte.

Mit dem Aufbringen der Belastungskörper gab es plötzlich einen Schlag und auch die längere Stegverbundplatte setzte sich auf die Abfangvorrichtung auf. Nach genauerer Rissbetrachtung über dem Auflager B stellte sich heraus, dass drei Stäbe der Stützbewehrung gerissen waren.

2.9.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Wie die beiden nachfolgenden Bilder zeigen, war auch in diesem Zustand der Stegverbund vollständig intakt.

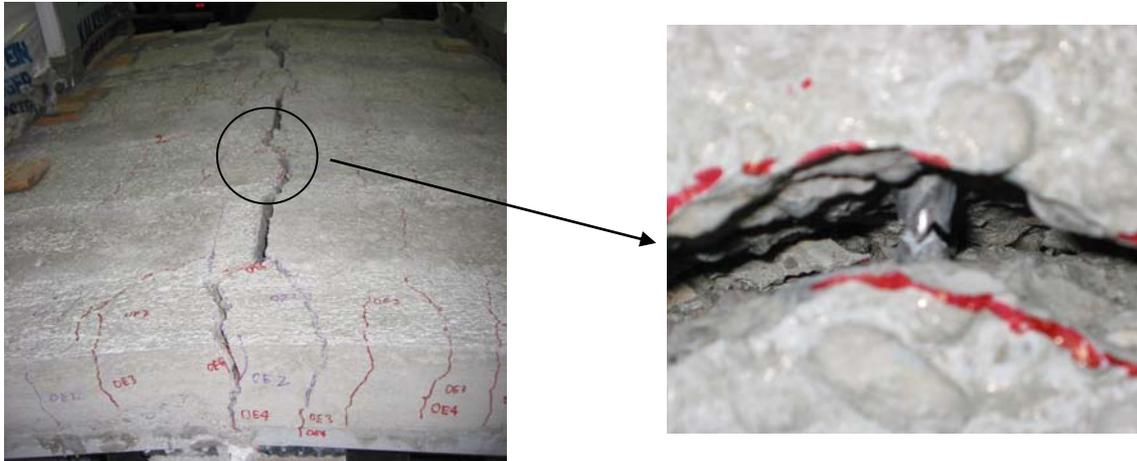


Bild 2.9.3.1: Risse über dem Auflager B bei der Laststufe 7

Auf Grund der Vorbelastung der siebten und hauptsächlich der achten Stegverbundplatte über das maximale Moment im Gebrauchszustand hinaus waren sie bereits stark vorgeschädigt, was sich bei der Belastung im Endzustand bemerkbar gemacht hatte. Die Durchbiegungen der beiden Platten sind deswegen weitaus höher ausgefallen als errechnet.

Das Verlegen der Stützbewehrung in den Stegzwischenräumen hat sich als sehr gut erwiesen. Wie die Rissbilder zeigen, hatten sich überwiegend Risse in Querrichtung gebildet, die etwa im Abstand der Rippen der Stegverzahnung verliefen. Die Stegverzahnung führt also zu dem günstigen Ergebnis kleiner Rissabstände und somit kleiner Rissweiten. Nachdem sich so gut wie keine Risse in Längsrichtung gebildet hatten, kann auf eine Querbewehrung im Stützenbereich verzichtet werden. Dies hat zur Folge, dass für Platten, die im Endzustand über mehrere Felder verlaufen, Stegverbundplatten mit voller Steghöhe eingebaut werden können, die wiederum größere Stützweiten überbrücken. Als weitere Erkenntnis lässt sich aus diesen Versuchsergebnissen ableiten, dass die Verzahnung zwischen den Stegen und der Ortbetonergänzung sehr gut funktionierte, wie die Rissbilder zeigen. Die Risse verliefen bei entsprechendem Lastniveau wie bei einer homogenen Platte, jedoch mit viel kleineren Abständen.



Bild 2.9.3.2: Risse über dem Auflager B

Bei der abschließenden Rissbetrachtung der großen Platte war festzustellen, dass am Plattenrand so gut wie keine Risse vorhanden waren. Der Beton war auf Grund der frühen Belastung so weich, dass er die Verformungen so weit mit machte, dass nur an der Unterseite der Platte Risse entstanden. Bei der kurzen Platte waren mehr Risse am Plattenrand erkennbar.



Bild 2.9.3.3: Risse an der Plattenseite der siebten und achten SVP

Nach dem Ab stapeln der Paletten konnten die Untersichten der Platten in Augenschein genommen werden. Sie bestätigten die oben genannten Ergebnisse. Während sich bei der siebten Stegverbundplatte kaum weitere Risse nach der Ortbetonergänzung gebildet hatten, war die Anzahl der neu entstandenen Risse bei der achten Stegverbundplatte weit aus mehr und deren Weiten viel größer. Der Rissverlauf der größeren Platte war viel geradliniger, während bei der kürzeren Stegverbundplatte die Risse viel hektischer wirkten.

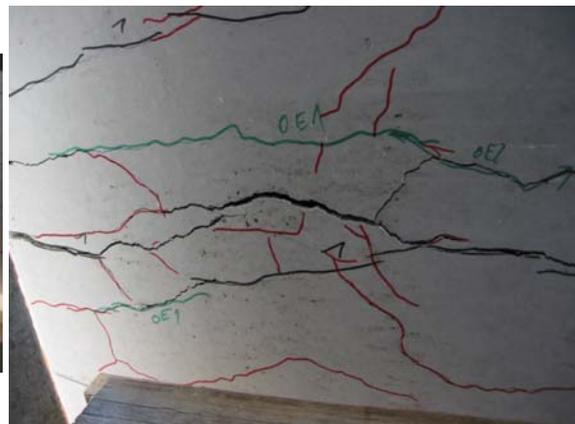


Bild 2.9.3.4: Risse an der Plattenunterseite der siebten und achten SVP

3. STEGVERBUNDPLATTEN MIT HOCHFESTEN BETONGÜTEN

3.1 Allgemeines

Die zweite Versuchsserie bestand aus drei weiteren Stegverbundplatten, die mit hochfestem und zugleich selbst verdichtendem Beton hergestellt wurden. Aus Platzgründen in der Fahrzeughalle wurde eine äußere Wand der Versuchseinrichtung abgebrochen, so dass nur noch die längere Seite für Belastungsversuche zur Verfügung stand. Nachdem nun das Gegengewicht der zweiten Stegverbundplatte fehlte, wurde die Stützweite der Platten auf 6,10 m vergrößert, so dass beide Auflager zentrisch auf Druck beansprucht wurden.

Bei den drei Stegverbundplatten wurden zwei mit einer Steghöhe von 20 cm hergestellt, von denen eine im Bau- und die andere im Endzustand bis zum Bruchmoment belastet wurde. Das Fertigteil der beiden Platten hatte eine Betongüte B 55 und die Ortbetonergänzung B 35. Die dritte Versuchplatte hatte eine Steghöhe von 18 cm und wurde ebenfalls im Endzustand bis zum Bruch belastet. Der Beton der letzten Platte sollte einem B 85 entsprechen, doch entstand bei der Mischung im Betonwerk ein Fehler, so dass ein schwacher B 40 entstand. Wie bei der ersten Versuchsserie wurde der Beton nach der DIN 1045 hergestellt und bei den Berechnungen den vergleichbaren Betongüten nach der DIN 1045-1 gegenübergestellt.



Bild 3.1.1: Verfüllen der Stege mit hochfestem, selbstverdichtendem Beton

Bei der Herstellung der Stegverbundplatten wurden Betone verwendet, die nicht nur hochfest, sondern auch gleichzeitig selbstverdichtend waren. Durch die chemischen Zusatzmittel war die Konsistenz viel flüssiger als bei der ersten Versuchsreihe. Die Füllhöhe der Platte wurde auf 5 cm eingestellt und anschließend, obwohl es sich um einen selbst verdichtenden Beton handelt, mit dem Aussenrüttler verdichtet. Dies war notwendig, um den Beton flächenmäßig auf der Palette zu verteilen. Anschließend wurden die Stege verfüllt, wobei hier bereits das Erstarren des Betons bemerkbar war. Der frische eingebrachte Beton floss förmlich in der Stegschalung auf dem bereits eingebrachten Beton der Platte (siehe Bild 3.1.1). Die Stege wurden nicht mehr nachverdichtet, so dass lediglich die Stegoberflächen zum Höhenausgleich mit der Glättkelle bearbeitet wurden.

Die Platten wurden analog der ersten Versuchsreihe bemessen, so dass die Bewehrung auf die Belastung durch das Eigengewicht, der Ortbetonergänzung und der Verkehrslast von 1,5 kN/m² ausgelegt war.

3.2 Stegverbundplatte 9-20-6,1

3.2.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die erste Stegverbundplatte der zweiten Serie wurde am 24. September 2002 hergestellt. In Längsrichtung wurden $11,22 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand 7 cm) und in Querrichtung $2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 20 cm) eingelegt.

Die Stegverbundplatte wurde nach dem Betoniervorgang in die Härtekammer gebracht, bevor sie am nächsten Tag mit dem Gabelstapler auf die Versuchsvorrichtung aufgelegt wurde. Nach dem Auflegen der Platte wurde die Durchbiegung der Platte in Feldmitte mit $0,55 \text{ cm}$ gemessen.



Bild 3.2.1.1: Hochfeste SVP 1-20-6,1 nach dem Auflegen auf den Versuchsstand



Die Platte wurde nach am gleichen Tag analog den Platten aus der ersten Versuchsreihe eingeschalt, so dass die Ortbetonergänzung unterstützungsfrei aufgebracht werden konnte. Der Ortbeton mit der Güte C 30 wurde am nächsten Tag in die Stegzwischenräume eingebracht. Wie das Bild 3.2.1.2 zeigt, war der Beton des Fertigteils noch so weich, dass sich die Stegverbundplatte nach dem Betoniervorgang weit durchbog. Dies hatte zur Folge, dass in Feldmitte der frische Beton über die Stege hinausragte um „ins Wasser“ zu gelangen.

Bild 3.2.1.2: Hochfeste SVP 1-20-6,1 direkt nach der Ortbetonergänzung

3.2.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Das Gesamtgewicht der Platte betrug nach der Ortbetonergänzung 7,5 t. Um zu sehen, wie die Platten nach einer Aushärtezeit von 28 Tagen auf die Belastung reagieren, wurde die SVP erst am 22. Oktober 2002 mit folgenden Laststufen belastet. Die Druckfestigkeit des C 50 lag bei 60 N/mm² und des C 30 bei 26,8 N/mm². Die niedrigere Druckfestigkeit gegenüber der DIN 1045-1 beruhte darauf, dass zusätzlich Wasser in den Betonmischer gegeben wurde. Auf Grund der Flächenverhältnisse ist eine mittlere Würfeldruckfestigkeit von 44,44 N/mm² vorhanden. Der mittlere E-Modul des Fertigteils lag dementsprechend bei 25.503 N/mm². Nachdem für die Belastung im Endzustand zwei verschiedene Betongüten miteinander wirken, wird das aufnehmbare Moment auf eine fiktive Breite bezogen, die entsprechend den Flächen- und E-Modulverhältnissen ermittelt wird. Hieraus ergibt sich ein Bemessungsmoment von 79,56 kNm, ein maximales Moment aus der Gebrauchslast von 53,04 kNm und ein rechnerisches Bruchmoment von 111,38 kNm. Der Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft lag bei 107,84 kN, die maximale Querkraft unter Gebrauchslast bei 77,03 kN und die maximale Querkraft im Bruchzustand bei 194,11 kN pro Lasteinleitungsbreite einer Kalksandstein-Palette.

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	28,13	53,04	25,25	18,75	24,34	9,66
1	1, 3, 5	20,84	48,97	92,33	43,97	31,95	41,48	16,46
2	1, 2, 3, 4, 5	38,79	66,92	126,17	60,08	41,03	53,27	21,14
3	1. Reihe voll 1, 3, 5	59,85	87,98	165,87	78,99	54,60	70,88	28,13
4	1. Reihe voll 2. Reihe voll	77,58	105,71	199,30	94,91	63,60	82,57	32,76
5	1. Reihe voll 2. Reihe voll 3	90,41	118,54	223,49	106,42	68,10	88,41	35,08
6	1. Reihe voll 2. Reihe voll 2, 3, 4	108,14	136,27	256,92	122,34	77,1	100,09	39,72

Tabelle 3.2.2.1: Laststufen der hochfesten SVP 9-20-6,1 im Endzustand

Die Last der Kalksandstein-Paletten wurde wie bei der ersten Serie über Holzbretter direkt in die Ortbetonergänzung eingeleitet. Zur besseren Orientierung bei der Rissbeobachtung an der Plattenunterseite wurde ebenfalls im Abstand von 60 cm ein Raster mittels Schlagschnur aufgebracht. Nachdem alle Vorbereitungen abgeschlossen waren, wurde die Durchbiegung in Feldmitte mit Hilfe des Nivelliergerätes zu 1,7 cm gemessen. Die gemessene Durchbiegung erreichte somit fast 69 % der zulässigen Durchbiegung von 2,48 cm ($l/250$). Das maximale Moment aus der Gebrauchslast war hingegen erst zu etwa 53 % und das rechnerische Bruchmoment zu 25 % erreicht. Die

maximale Querkraft am Auflager lag bei 18,75 kN und entsprach somit 24 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 10 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Die rechnerischen Werte der Zustände I und II sind in der nächsten Tabelle in mm dargestellt.

Zustand I	0,00	2,10	3,80	4,90	5,30	4,90	3,80	2,10	0,00
Zustand II	0,00	3,00	5,43	7,00	7,57	7,00	5,43	3,00	0,00

Tabelle 3.2.2.2: Rechnerische Verformungen der hochfesten SVP 9-20-6,1 im Zustand I und Zustand II, aus der Laststufe 0

Der Vergleich mit dem rechnerischen Wert in Feldmitte zeigt, dass die vorhandene Durchbiegung um den Faktor 3,2 im Zustand I und um den Faktor 2,2 im Zustand II größer war. Diese Unterschiede sind im nächsten Diagramm graphisch zusammengestellt.

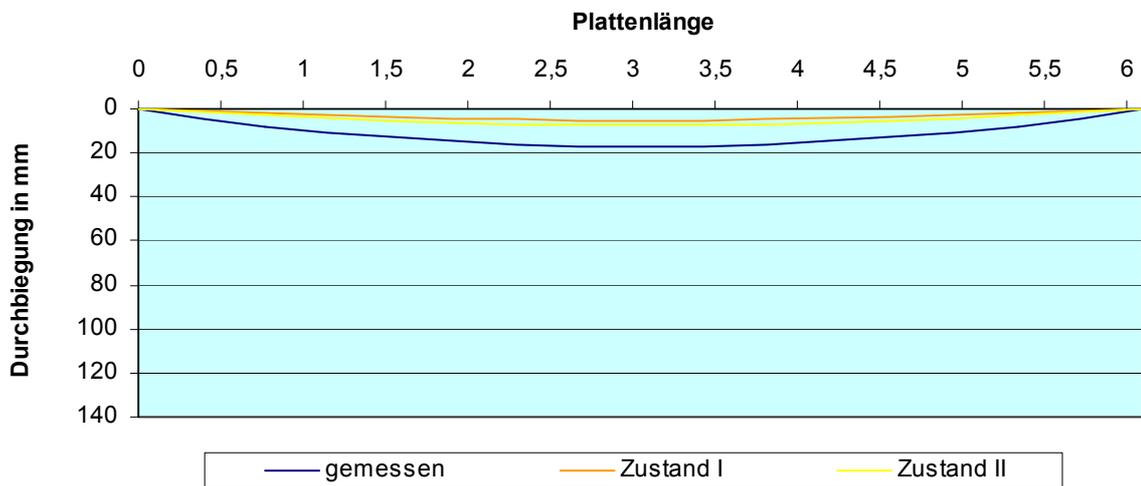


Diagramm 3.2.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der hochfesten SVP 9-20-6,1 aus der Laststufe 0

Die Rissbetrachtung an der Plattenunterseite zeigte Querrisse in Feldmitte, die sich noch nicht durchgehend über die gesamte Plattenbreite erstreckten und Weiten von 0,05 mm aufwiesen. Die Risse reichten am Plattenrand bereits bis zur Oberkante des Fertigteils, einer ging bereits ein wenig in die Ortbetonergänzung. Die Risse zeigten an, dass die Platte durch die Ortbetonergänzung in den Zustand II übergegangen war.

Wie die *Tabelle 3.2.2.1* zeigt, wurden als *erste Laststufe* insgesamt sechs Kalksandstein-Paletten auf die Stegverbundplatte gehoben. Sie wurden auf die Positionen 1, 3 und 5 gleichmäßig verteilt. Mit der Belastung durch die Paletten entstand in Feldmitte ein Moment von 48,97 kNm, das wiederum 92 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und fast 44 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach.



Bild 3.2.2.1: Laststufe 1 der hochfesten SVP 9-20-6,1

Die vorhandene Durchbiegung in Feldmitte stieg um 30 % auf 2,2 cm an, was unter dem zulässigen Wert von 2,48 cm lag. An der Plattenunterseite waren in Feldmitte neue Risse entstanden, die teilweise die bereits bestehenden Risse zu einem zusammenschlossen. Die alten Risse blieben teilweise bei der Weite von 0,05 mm bzw. gingen auf 0,1 mm auf, während die neuen Risse Weiten von 0,05 mm aufwiesen. Die Risse waren noch ca. 1,80 m vom Auflager entfernt. Die maximale Querkraft an den Auflagern lag bei knapp 31,95 kN, was etwa 42 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 16 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand entsprach.

Für die *zweite Laststufe* wurde die erste Ebene mit Kalksandstein-Paletten geschlossen, so dass auf die Positionen 2 und 4 weitere vier Paletten aufgebracht wurden. Hierdurch entstand ein maximales Moment von knapp 66,92 kNm, das 26 % über dem maximalen Moment aus der Gebrauchslast lag. Das rechnerische Bruchmoment wurde zu 60 % erreicht.



Bild 3.2.2.2: Laststufe 2 der hochfesten SVP 9-20-6,1

Die Durchbiegung in Feldmitte stieg um 62 % auf 3,6 cm an und lag somit um 45 % über dem zulässigen Wert. Die rechnerische Durchbiegung der Zustände I und II sind in der nächsten Tabelle aufgelistet.

Zustand I	0,00	4,40	8,10	10,50	11,40	10,50	8,10	4,40	0,00
Zustand II	0,00	6,29	11,57	15,00	16,29	15,00	11,57	6,29	0,00

Tabelle 3.2.2.3: Rechnerische Verformungen der hochfesten SVP 9-20-6,1 im Zustand I und Zustand II, aus der Laststufe 2

Wie die Tabelle zeigt, ist die rechnerische Durchbiegung im Zustand II um das knapp 1,9-fache überschritten. Die nachfolgende Tabelle stellt die gemessenen mit den rechnerischen Werten für den Gebrauchszustand gegenüber.

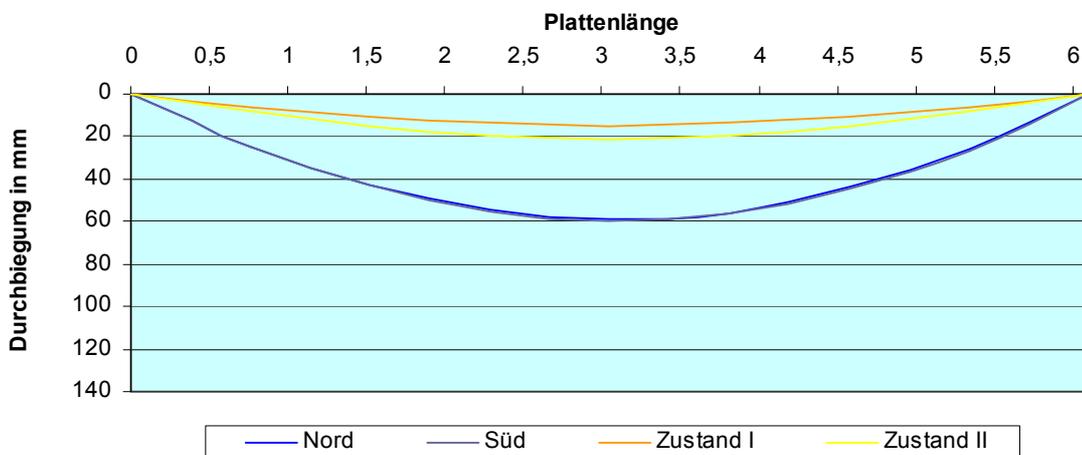


Diagramm 3.2.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der hochfesten SVP 9-20-6,1 aus der Laststufe 2

Mit dem Erreichen des maximalen Moments im Gebrauchszustand hatte auch die Risszunahme an der Plattenunterseite deutlich zugenommen. Die aus der Laststufe 3 neu entstandenen Risse sind im nächsten Bild dargestellt.

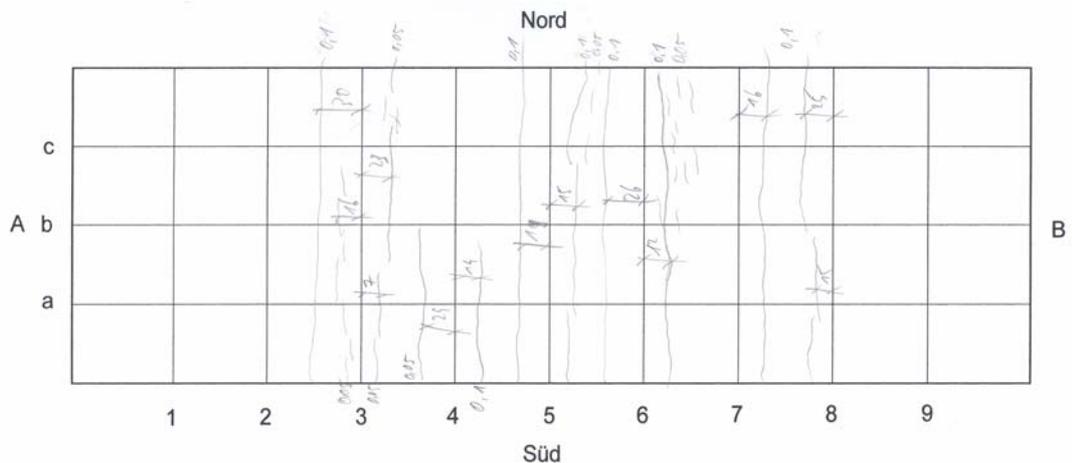


Bild 3.2.2.3: Aus der Laststufe 2 entstandene Risse der hochfesten SVP 9-20-6,1

Wie das *Bild 3.2.2.3* zeigt, lagen die Weiten der neu entstandenen Risse zwischen 0,05 und 0,1 mm. Es entstanden nicht nur Risse direkt in Feldmitte, sondern auch bis zu ca. 1,30 m vom Auflager entfernt. Die alten Risse gingen auf 0,15 mm auf. Fast alle neu entstandenen Risse gingen am Plattenrand bis zur Oberkante des Fertigteils. Die maximale Querkraft lag mit 41,03 kN bei etwa 53 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und bei 21 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Mit der *dritten Laststufe* wurde ein Moment von 87,98 kNm in Feldmitte erzeugt. Hierzu wurden auf die Positionen 1, 3 und 5 jeweils zwei Paletten in die zweite Ebene gestellt.



Bild 3.2.2.4: Laststufe 3 der hochfesten SVP 9-20-6,1

Das aufgebrauchte maximale Moment entsprach fast 166 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und somit 79 % vom rechnerischen Bruchmoment. Die gemessene Durchbiegung in Feldmitte stieg auf 5,4 cm an, was eine Erhöhung von 50 % darstellte. Die bestehenden Risse an der Plattenunterseite hatten Rissweiten von 0,2 – 0,25 mm in Feldmitte und in Auflagernähe von 0,1 – 0,15 mm.

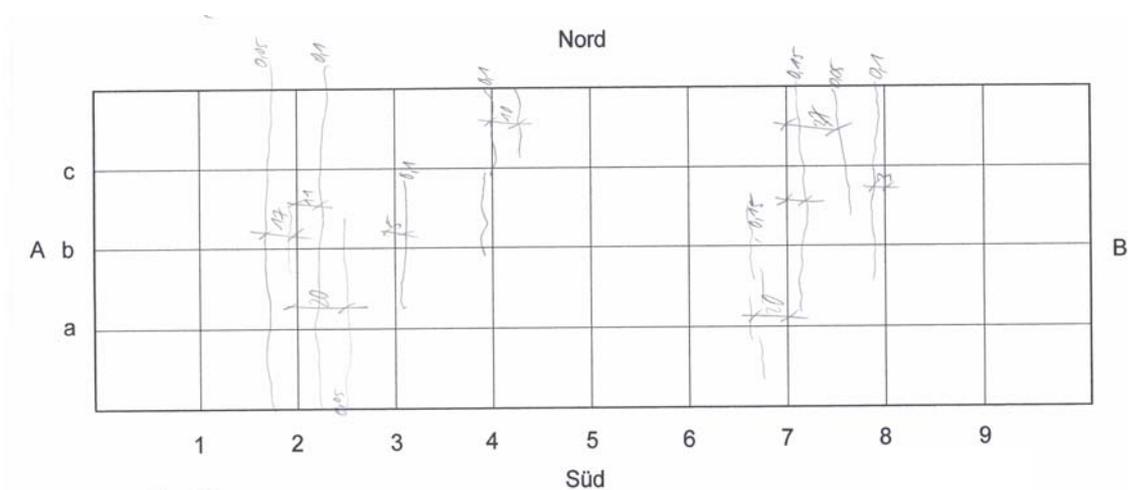


Bild 3.2.2.5: Aus der Laststufe 3 entstandene Risse der hochfesten SVP 9-20-6,1

Wie das Rissbild zeigt, waren neue Risse mit Weiten von 0,05 – 0,15 mm entstanden. Der Abstand der Risse vom Auflager lag immer noch bei mindestens 80 cm. Die Querkraft lag mit 54,6 kN bei etwa 71 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 28 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Die Risse am Plattenrand verliefen maximal bis zur halben Plattendicke.

Die *vierte Laststufe* bestand daraus, die zweite Ebene mit vier weiteren Paletten zu schließen, die auf die Positionen 2 und 4 aufgebracht wurden.



Bild 3.2.2.6: Laststufe 4 der hochfesten SVP 9-20-6,1

Das Moment in Feldmitte betrug somit knapp 106 kNm, das 199 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und etwa 95 % vom rechnerischen Bruchmoment entsprach. Die Durchbiegung in Feldmitte stieg auf 9,05 cm an, das einem Anstieg von 32 % gleichkam. Der Durchbiegung entsprechend sah auch die Risszunahme an der Plattenunterseite aus. In der Plattenmitte entstanden neue Risse mit Weiten von 0,1 – 0,15 mm. In Auflagernähe waren es 0,05 - 0,1 mm. Die vorhandenen Risse in der Plattenmitte hatten Weiten von 0,25 - 0,3 mm, während die in Richtung zum Auflager zwischen 0,1 – 0,15 mm aufwiesen. Die Risse hatten vom Auflager immer noch einen Abstand von ca. 80 cm, während sie am Plattenrand bereits zu sehen waren und dort in der Höhe der Fuge zwischen Ortbetonergänzung und Fertigteil endeten. Die Risse in Feldmitte ragten weiter in die Ortbetonergänzung hinein.

Mit der maximalen Querkraft von 63,6 kN war die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu fast knapp 83 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu fast 33 % erreicht.

Für die *fünfte Laststufe* wurden in die dritte Ebene zwei Paletten auf die mittlere Position gestellt. Das Moment stieg hierdurch auf knapp 118,54 kNm an, das 223 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und somit 106 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach.



Bild 3.2.2.7: Laststufe 5 der hochfesten SVP 9-20-6,1

Mit dem Aufbringen der Belastung stieg die Durchbiegung in Feldmitte auf 8,7 cm an. Das war eine Zunahme von 22 %. Die Dokumentation der Risse an der Plattenunterseite wurde auf Grund des hohen Lastniveaus nicht mehr ausgeführt. Am Plattenrand waren keine neuen Risse erkennbar. Die bestehenden Risse gingen weiter auf und verliefen in Feldmitte bis zu 2/3 der Plattendicke. Mit der Querkraft von 68 kN wurden 88 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 35 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand erreicht. Der Abstand zum ersten Riss lag immer noch bei etwa 80 cm vom Auflager entfernt.

Bei der *sechsten Laststufe* wurden je zwei weitere Paletten auf die benachbarten Positionen gestellt. Hierdurch sollte ein Moment von 136 kNm erzielt werden, das fast 275 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und 122 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Aus Sicherheitsgründen wurden die Messuhren vor dem Belasten abgebaut. Mit dem Auflegen der Paletten nahm die Durchbiegungen in starkem Maße zu. Es konnte das Absenken der Platte mit bloßem Auge so weit verfolgt werden, bis die Platte in Feldmitte auf einem Holzbalken der Abfangkonstruktion anstieß. Der größte Riss an der Plattenunterseite lag bei 1,2 mm. Es waren viele kleine Risse vorhanden, die teilweise besenförmig bzw. augenförmig verliefen. Es waren auch ein paar in Längsrichtung entstanden. Die am Rand erkennbaren Risse der Platte gingen in Feldmitte bis etwa 5 cm unter die Oberkante der Ortbetonergänzung. Die in Auflagernähe befindlichen Risse ragten etwas in die Ortbetonergänzung hinein. Die maximale Querkraft von 77,1 kN erreichte 100 % die maximale Querkraft unter Gebrauchslast und fast 40 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.



Bild 3.2.2.9: Detailaufnahme der Risse am Plattenrand der hochfesten SVP 9-20-6,1



Bild 3.2.2.8: Laststufe 6 der hochfesten SVP 9-20-6,1

Der Versuch musste, obwohl noch kein direktes Versagen erkennbar war, bei dieser Laststellung abgebrochen werden, da die Platte auf der Abfangkonstruktion auflag. Ein weiteres Absenken war auf Grund der enormen Durchbiegung bei dem hohen Lastniveau nicht mehr vertretbar.

Nach dem Abstapeln waren an der Plattenoberseite keine Risse erkennbar, was auf einen intakten Stegverbund sowohl in Feldmitte als auch im Auflagerbereich hindeutete.

3.2.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Wie anhand des Diagramms erkennbar ist, nahm die Durchbiegung während der gesamten Versuchsdurchführung bis zum Erreichen des tatsächlichen Bruchmoments nahezu gleichmäßig zu. Lediglich zwischen den maximalen Momenten von 40 und 50 kNm ist die Kurve steiler.

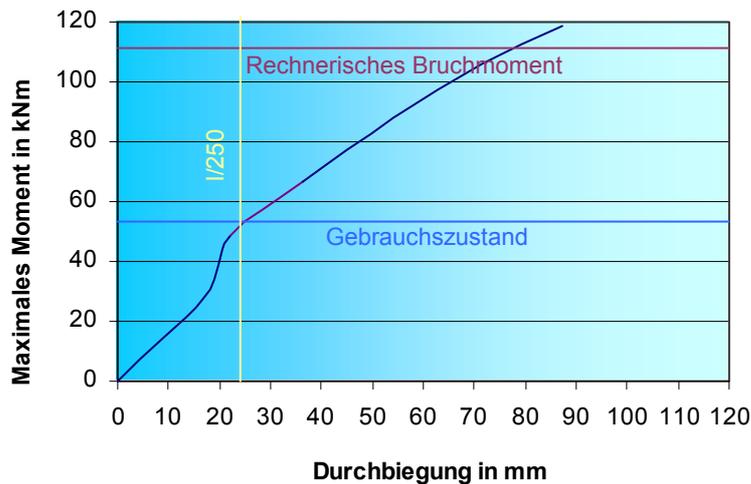


Diagramm 3.2.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung im Endzustand

Die Rissweiten der ersten Stegverbundplatte mit hochfestem Beton stiegen langsam aber stetig bis zur zweiten Laststufe an. In Höhe des Gebrauchszustands war eine Rissweite von etwa 0,18 mm vorhanden, die nach der DIN 1045-1 in Bezug auf die Rissbreitenbeschränkung für alle Anforderungsklassen unterschritten ist. Zwischen der zweiten und dritten Laststufe war die Steigung der Kurve größer, bevor sie wiederum bei der nächsten Laststufe abflacht. Ab der vierten Laststufe steigt die Kurve der Rissweiten rasant bis zum tatsächlichen Bruchmoment an.

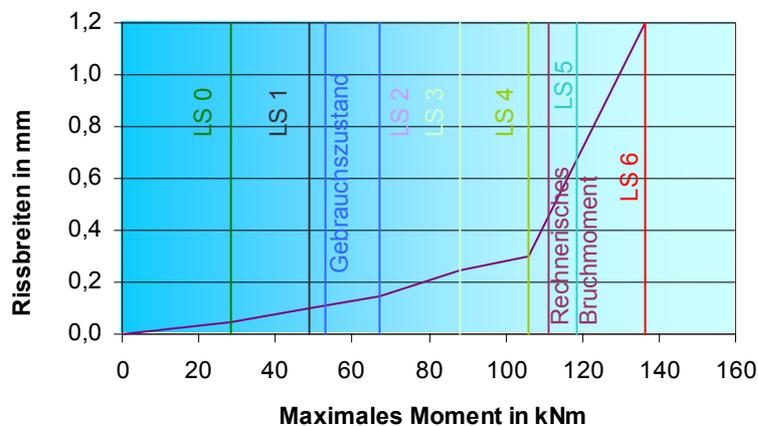


Diagramm 2.6.3.2: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung im Bauzustand

3.3 Stegverbundplatte 10-20-6,1

3.3.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die zweite Stegverbundplatte mit hochfestem und zugleich selbst verdichtendem Beton wurde am 26. September 2002 hergestellt. Für die Längsbewehrung wurden $11,22 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand 7 cm) und in Querrichtung $2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 20 cm) eingebaut. Wie bei der ersten Stegverbundplatte der zweiten Reihe wurde die Plattenstärke auf 5 cm eingestellt und anschließend mit dem Aussenrüttler verteilt. Danach wurden die Stege verfüllt und deren Oberflächen ohne weiteres Verdichten mit der Glättkelle begradigt. Die SVP wurde anschließend in die Härtekammer gefahren, bevor am gleichen Abend die Stegschalung abgehoben wurde. Nachdem die zweite Platte aber nicht sofort in der Frühe, sondern erst gegen Mittag betoniert wurde, war der Beton noch zu weich, so dass beim Abheben der Schalung die Stege in Feldmitte beschädigt wurden. Der obere Teil des Betons, der die Biegedruckzone bildet, löste sich bei allen vier Stegen. Die Schalung wurde zwar sofort wieder herabgelassen, doch waren beim Auflegen der Platte am 24. Oktober 2002 die Risse deutlich erkennbar (siehe nachfolgende Bilder).



Bild 3.3.1.1: Risse an den Stegen durch verfrühtes Ausschalen der SVP 10-20-6,1 Hochfest im Auflagerbereich (links) und in Feldmitte (rechts)

Wie an den Bildern zu erkennen ist, verliefen die Risse teilweise mittig in den Stegen über eine Länge von $1,20 \text{ m}$. Diese Risse in Feldmitte stellten eine Schwächung der Druckzone dar, und beeinträchtigten das Zusammenwirken der Druckzone mit der Zugzone.

3.3.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Die zweite hochfeste Stegverbundplatte wurde am 24. Oktober 2002 im Bauzustand bis zum Bruch belastet. Die Würfeldruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen lag bei 56,8 N/mm² und der E-Modul bei 29.600 N/mm². Das Gewicht der Platte lag bei 4,12 t. Aus der Bewehrungsmenge und dem Querschnitt ist ein Bemessungsmoment von 40,54 kNm pro Steg vorhanden. Dies ergibt ein maximales Moment im Gebrauchszustand von 27,03 kNm und ein rechnerisches Bruchmoment von 56,76 kNm. Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft $V_{Rd,ct}$ lag bei 29,94 kN, was eine maximale Querkraft unter Gebrauchslast von 21,39 kN pro Steg und eine maximale Querkraft im Bruchzustand von 53,89 kN pro Steg darstellte. Das Belastungsschema zum Erreichen der Bruchlast ist nachfolgend in der Tabelle zusammengefasst.

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	7,72	28,56	13,60	5,06	23,66	9,39
1	1, 3, 5	10,69	18,41	68,12	32,44	12,85	60,09	23,84
2	1, 2, 3, 4, 5	19,40	27,12	100,35	47,78	16,35	76,45	30,34
3	1. Reihe voll 1, 3, 5	29,93	37,65	139,31	66,34	23,14	108,20	42,94
4	1. Reihe voll 2. Reihe voll	38,79	46,51	172,09	81,95	27,64	129,25	51,29
5	1. Reihe voll 2. Reihe voll 3	45,20	52,92	195,81	93,24	29,89	139,77	55,46
6	1. Reihe voll 2. Reihe voll 3, 4	49,64	57,36	212,23	101,06	32,79	153,33	60,84

Tabelle 3.3.2.1: Laststufen der hochfesten SVP 10-20-6,1

Auf Grund des Eigengewichts der Platte wurde in Feldmitte ein Moment von 7,72 kNm hervorgerufen, das knapp 29 % vom maximalen Moment aus der Gebrauchslast und etwa 14 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die Durchbiegung in Feldmitte wurde mit dem Nivelliergerät gemessen und betrug 3 mm, was knapp 12 % des zulässigen Wertes von 2,48 cm ($l/250$) war. Die rechnerischen Durchbiegungen in den Zuständen I und II sind nachfolgend tabellarisch aufgelistet.

Zustand I	0,00	1,80	3,40	4,40	4,80	4,40	3,40	1,80	0,00
Zustand II	0,00	2,57	4,86	6,29	6,86	6,29	4,86	2,57	0,00

Tabelle 3.3.2.2: Rechnerische Verformungen der hochfesten SVP 10-20-6,1 im Zustand I und Zustand II, aus der Laststufe 0

Der Vergleich mit den rechnerischen Durchbiegungen zeigt, dass die vorhandene Durchbiegung größer als die rechnerische des Zustands I und kleiner als diejenige des Zustands II war. An der Plattenunterseite war in Feldmitte ein Riss mit einer Weite von 0,05 mm in Querrichtung entstanden. Der Riss verlief bereits über die gesamten 5 cm Plattendicke des Fertigteils und war jedoch noch nicht an der Oberseite der Platte erkennbar. Die maximale Querkraft von 5,06 kN entsprach etwa 24 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 9 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Für die *erste Laststufe* wurden auf die Positionen 1, 3 und 5 jeweils zwei Paletten auf die Stege gestellt. Das nächste Bild gibt einen Überblick über die erste Laststufe.



Bild 3.3.2.1: Laststufe 1 der hochfesten SVP 10-20-6,1

Mit dieser Palettenstellung entstand in Feldmitte ein Moment von 18,41 kNm, das 68 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 32 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die Durchbiegung erhöhte sich um das 5,4-fache auf 16,18 mm in Feldmitte. Der zulässige Wert von 2,48 cm wurde zu 65 % erreicht. Der rechnerische Wert im gerissenen Zustand lag bei 1,49 cm und somit nur um 2 mm unter dem vorhandenen. Das Diagramm stellt die rechnerischen Durchbiegungen den gemessenen gegenüber.

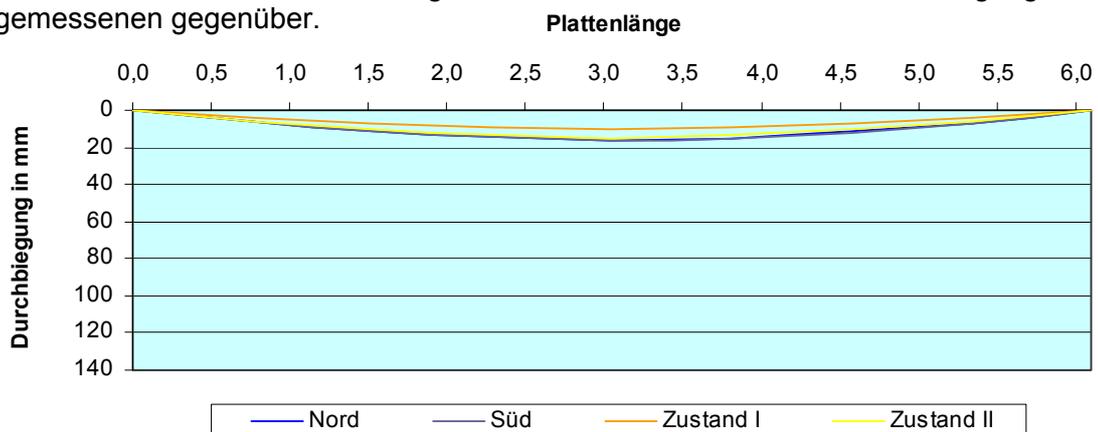


Diagramm 3.3.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der hochfesten SVP 10-20-6,1 aus der Laststufe 1

Der Zunahme der Durchbiegung entsprechend, bildeten sich Risse an der Plattenunterseite (wie das nachfolgende Rissbild zeigt).

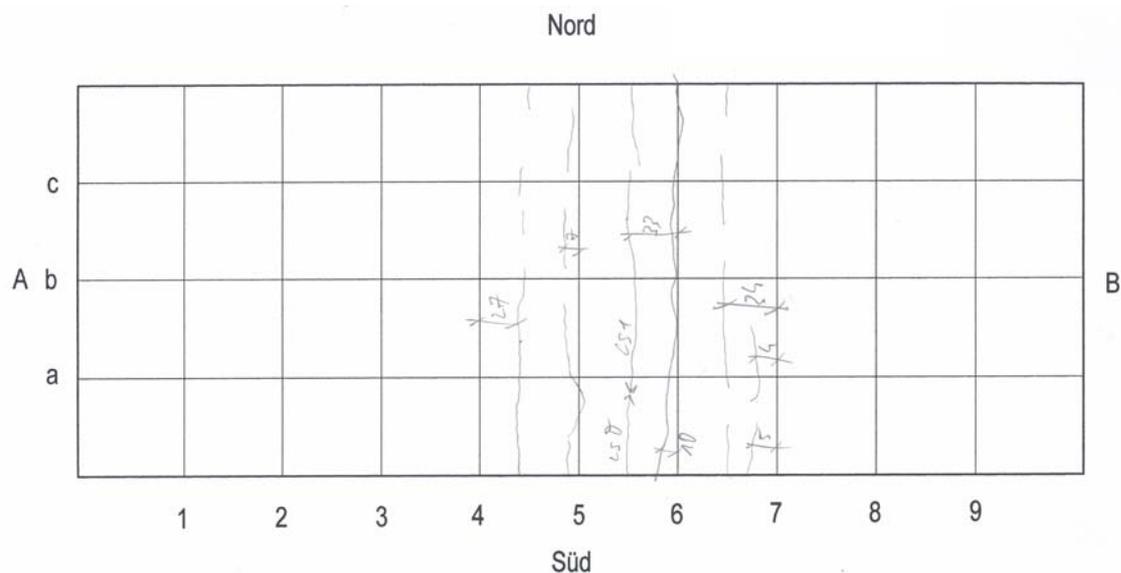


Bild 3.3.2.2: Aus der Laststufe 1 entstandene Risse der hochfesten SVP 10-20-6,1

Die neu entstandenen Risse lagen alle in Feldmitte in einem Bereich von etwa 1,5 m und hatten Weiten von 0,05 mm. Die meisten der neu entstandenen Risse gingen wie der erste Riss über die gesamte Plattendicke des Fertigteils. Der Riss aus der Laststufe 0 war mittlerweile an der oberen Plattenseite erkennbar und ging dort etwa 7 cm nach innen. Die maximale Querkraft lag bei 12,85 kN und erreichte 60 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und fast 24 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Als *zweite Laststufe* wurde die erste Ebene mit vier weiteren Paletten geschlossen.



Bild 3.3.2.3: Laststufe 2 der hochfesten SVP 10-20-6,1

Mit der Belastung der Platte durch die Kalksandstein-Paletten wurde ein maximales Moment von 27,12 kNm pro Steg hervorgerufen, das dem maximalen Moment aus der Gebrauchslast entsprach. Das rechnerische Bruchmoment wurde zu fast 48 % erreicht. Die Durchbiegung in Feldmitte wurde mit 3,9 cm im Mittel gemessen. Die zulässige Durchbiegung von 2,48 cm wurde hierdurch um das 1,63-fache überschritten. Vergleicht man die maximal vorhandene Durchbiegung mit der rechnerischen im gerissenen Zustand, so lag sie um 76 % höher, wie das nächste Diagramm veranschaulicht.

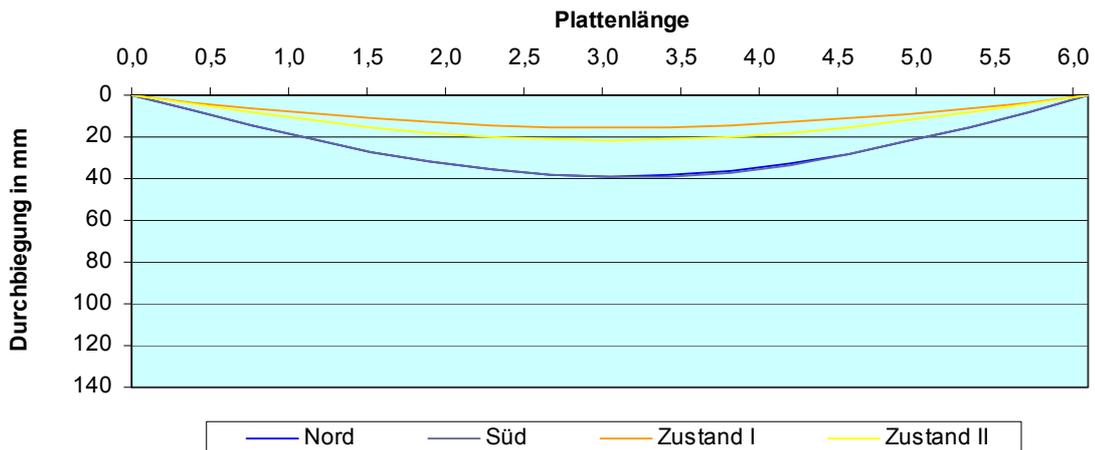


Diagramm 3.3.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der hochfesten SVP 10-20-6,1 aus der Laststufe 2

Die Erhöhung der Durchbiegung um das 2,6-fache spiegelte sich auch bei der Rissbildung an der Plattenunterseite wieder.

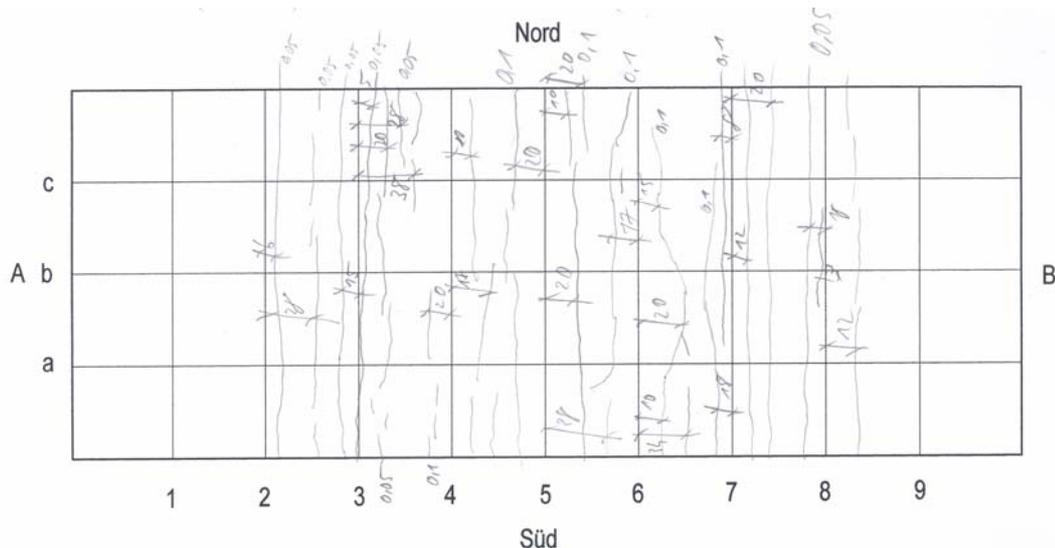


Bild 3.3.2.4: Aus der Laststufe 2 entstandene Risse der hochfesten SVP 10-20-6,1



Wie das Bild zeigt, sind sehr viele Risse entstanden, die in Feldmitte Weiten von 0,1 mm aufwiesen. Die alten Risse lagen ebenfalls bei 0,1 mm. Die Risse in Feldmitte ragten bereits teilweise in die Stege. Einer ging bereits fast bis zur Oberkante eines Steges. Dieser mündete fast in einen Riss im Steg, der durch das verfrühte Abheben der Schalung entstanden war. Zum Auflagerbereich hin lagen die Rissweiten bei 0,05 mm. Der erste Riss war immer noch ca. 1,0 m vom Auflager entfernt. Die maximale Auflagerkraft von 16,35 kN erreichte die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu 76 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu 30 %.

Bild 3.3.2.5: Risse in Feldmitte aus der Laststufe 2 der hochfesten SVP 10-20-6,1

Für die *dritte Laststufe* wurden drei Paletten in die zweite Ebene gestapelt und dort auf die Positionen 1, 3 und 5 gestellt.



Bild 3.3.2.5: Laststufe 3 der hochfesten SVP 10-20-6,1

Mit der Belastung durch die Kalksandsteine wurde ein Moment von 37,65 kNm erzeugt, das 139 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 66 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die Durchbiegung der Platte in Feldmitte nahm um 67 % zu, so dass sie sich jetzt um 6,5 cm durchbog. Die bestehenden Risse an der Unterseite gingen in Feldmitte auf 0,15 mm und in Auflagernähe auf 0,1 mm auf. Die neuen Risse hatten alle Weiten von 0,05 mm und waren mehr in Richtung zum Auflager zu finden. Der maximale Abstand zum Auflager lag noch bei etwa 70 cm. Die maximale Querkraft von 23,14 kN erreichte die maximale Querkraft unter Gebrauchslast zu 108 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu fast 43 %. Mittlerweile gingen fast alle Risse an die Oberfläche der Fertigeilplatte.

Die *vierte Laststufe* beinhaltete die Belastung der Platten mit zwei vollen Ebenen. Hierzu wurden die Lücken der zweiten Ebene mit dem Auflegen von je zwei Kalksandstein-Paletten auf die Positionen 2 und 4 geschlossen.



Bild 3.3.2.6: Laststufe 4 der hochfesten SVP 10-20-6,1

Die Durchbiegung der SVP stieg um 35 % auf etwa 8,8 cm an. Das aufgebrachte maximale Moment lag bei 46,51 kNm, das 172 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 82 % des rechnerischen Bruchmoments darstellte. An der Plattenunterseite entstanden lediglich Risse, die die alten ergänzten, bzw. fortführten. Deren Rissweiten lagen bei 0,05 - 0,1 mm. Die alten Risse gingen in Feldmitte auf 0,3 mm und in Auflagernähe auf 0,2 mm auf. Die Risse in Feldmitte gingen mittlerweile alle ungefähr bis zur halben Steghöhe. Diejenigen in Richtung Auflager waren bis zu den Stegen an der Oberfläche der Fertigteilplatte erkennbar. Die maximale Querkraft unter Gebrauchslast war mit dieser Laststellung zu 129 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu 51 % erreicht. Im Anschluss an die Rissbetrachtung wurden die Messuhren aus Sicherheitsgründen abgebaut.

Als *fünfte Laststufe* wurde in der dritten Ebene zwei Paletten auf die mittlere Position gestellt. Hierdurch entstand ein maximales Moment von 52,92 kNm, das fast 196 % des maximalen Moments aus der Gebrauchslast und 93 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Die Durchbiegung der Platte von 10,9 cm wurde mit dem Nivelliergerät gemessen, was einer Zunahme von fast 24 % entsprach. Aus Sicherheitsgründen wurde die Rissbildung an der Plattenunterseite nicht mehr durchgeführt. Vom Plattenrand aus konnte jedoch beobachtet werden, dass sich neue Risse in der Feldmitte gebildet hatten, die bereits bis in die halbe Steghöhe gingen. Die bestehenden Risse gingen weiter auf und ragten weiter in die Stege hinein.

Mit fast 30 kN erreicht die maximal vorhandene Querkraft fast 140 % von der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und 55 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand. Es waren keine neuen Risse am Auflager entstanden, so dass der Abstand zum Auflager immer noch etwa 70 cm betrug.



Bild 3.3.2.7: Laststufe 5 der hochfesten SVP 10-20-6,1

Mit dem Aufbringen von zwei weiteren Paletten auf die Position 4 in der dritten Ebene wurde die *sechste Laststufe* hergestellt. Mit dieser Anordnung wurde das maximale Moment aus der Gebrauchslast zu 212 % und das rechnerische Bruchmoment zu 101 % erreicht (wie das nächste Bild zeigt).



Bild 3.3.2.8: Laststufe 5 der hochfesten SVP 10-20-6,1

3.3.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Wie das *Bild 3.3.2.8* zeigt, hatte die Druckzone in Feldmitte versagt. Die nächsten Bilder zeigen Details der versagten Druckzone.



Bild 3.3.3.1: Versagte Druckzone in Feldmitte



Bild 3.3.3.2: Versagte Druckzonen in Feldmitte nach der Entlastung

Wie das *Bild 3.3.3.2* zeigt, versagte die Platte an den geschwächten Stellen, bei denen sich nicht die volle Druckzone ausbilden konnte. Die Ausbruchkörper bildeten sich entlang den Rissen, die beim Ausschalen entstanden waren.

Das Versagen der Stegverbundplatten aus der ersten Versuchsreihe beruhte auf ein zerstörtes Gefüge. Bei der Platte mit hochfestem Verbund zerbrach der Zuschlag, wie die nächste Detailaufnahme zeigt.



Bild 3.3.3.3: Zerstörte Zuschlagstoffe durch das Versagen der Druckzone

Wie die oben dargestellten Bilder gezeigt haben, versagte die Stegverbundplatte erneut auf Biegedruck durch das Ausbrechen der Druckzone. Im nächsten Diagramm sind die Durchbiegungen den zugehörigen Momenten gegenübergestellt.

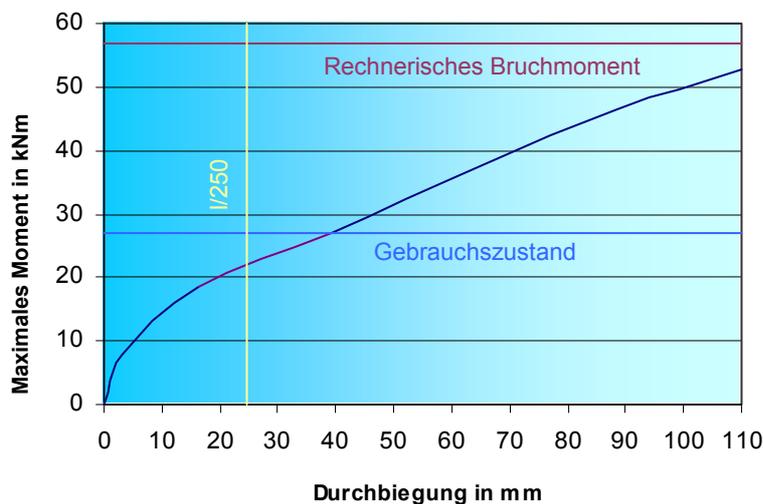


Diagramm 3.3.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung der hochfesten SVP 10-20-6,1

Wie das Diagramm zeigt, wurde der zulässige Wert der Durchbiegung vor dem Erreichen des maximalen Moments aus der Gebrauchslast erreicht. Die Durchbiegung der Platte stieg zunächst langsam an, bevor mit dem Erreichen des zulässigen Wertes von 2,48 cm sie rasant und stetig bis zum Bruchmoment zunahm.

Das nächste Diagramm stellt die Rissweiten den maximalen Momenten aus den einzelnen Laststufen gegenüber.

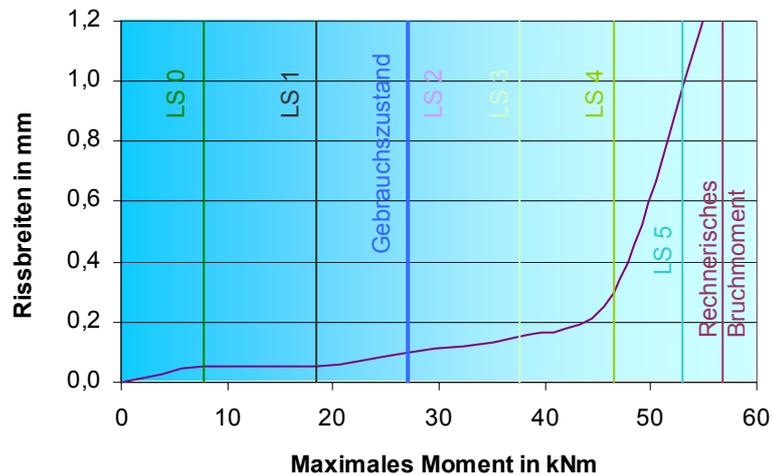


Diagramm 3.3.3.2: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung der hochfesten SVP 10-20-6,1

Das Diagramm zeigt, dass sich Risse durch das Eigengewicht der Platte mit einer Weite von 0,05 mm gebildet hatten und auch bei der ersten Laststufe nicht weiter aufgingen. Danach stiegen sie bis zu einem Moment von etwa 45 kNm fast konstant an, bevor sie dann mit Annäherung an die Bruchlast sehr schnell größer wurden. In Höhe des maximalen Moments aus der Gebrauchslast lagen die Rissweiten bei etwa 0,1 mm und somit noch unter den rechnerischen Rissbreiten nach der DIN 1045-1 für alle Anforderungsklassen.

3.4 Stegverbundplatte 11-18-6,1

3.4.1 Herstellung der Stegverbundplatte

Die dritte Stegverbundplatte der zweiten Versuchsreihe und gleichzeitig letzte wurde am 29. Oktober 2002 hergestellt. Die Herstellung sollte mit einem selbstverdichtenden Beton C 70 vorgenommen werden. Hierzu wurde eine Mischung verwendet, die für einen C 60 bereits versuchsweise eingesetzt wurde. Um einen höherwertigen Beton zu erhalten, wurde ein Sand mit wenig Feinteilen verwendet, was durch die Zugabe von Microsilica ausgeglichen werden sollte. Doch die Menge war zu wenig, so dass der Zement die Feianteile im Sand „aufgefressen“ hatte. Dies hatte zur Folge, dass keine Feianteile mehr zum Umhüllen des Kornes zur Verfügung standen und nicht die gewünschte Druckfestigkeit entstand. Mit dem Abdrücken des Würfels nach 28 Tagen stellte sich heraus, dass es sich hier um einen Beton C 40 handelte. Abgesehen von der geänderten Betongüte wurde die Platte wie die beiden vorherigen hergestellt. Nach dem Verteilen des Betons für die Plattenstärke von 5,0 cm mit Hilfe des Außenrüttlers wurde der Beton für die Stege mit dem Betonierwagen eingebracht. Nachdem die Plattenstärke von 18 cm geringer als die Höhe der Stegschalung war, musste eine Schablone aus Holz gefertigt werden, die durch das Auflegen auf die Stegschalungen die Höhe festlegte.



Die Stegverbundplatte wurde am 18. November 2002 auf den Versuchstand gehoben und am nächsten Tag mit dem Beton C 30 ergänzt. Die Ortbetonergänzung wurde wie bei den anderen Platten vorgenommen, so dass die Platte unterstützungsfrei auf den beiden Auflagerwänden auch während dem Aufbringen und Erhärten des Ortbetons lagerte.

Bild 3.4.1.1: Eingeschalte hochfeste SVP 11-18-6,1

In Längsrichtung lag der Bewehrungsgehalt bei $11,22 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 10 \text{ mm}$, Abstand 7 cm) und in Querrichtung von $2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\varnothing 8 \text{ mm}$, Abstand 20 cm). In die Stege wurde keine Querkraftbewehrung eingelegt. Bei Betrachtung des äußeren Erscheinungsbildes waren keine Mängel festzustellen, so dass davon auszugehen war, dass die Bewehrung richtig eingebaut wurde. Auch die Abmessungen der Platte stimmten mit den geforderten Werten überein.

3.4.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Die letzte Stegverbundplatte wurde am 26. November 2002 bis zum Bruch belastet. Die Festigkeit des Fertigteilbetons lag bei $50,8 \text{ N/mm}^2$ und hatte einen E-Modul von 27.600 N/mm^2 . Für den Beton in den Stegzwischenräumen konnte aus dem Diagramm der entnommenen Probewürfeln zum Zeitpunkt der Belastung eine Festigkeit von $26,2 \text{ N/mm}^2$ und einen E-Modul von 18.500 N/mm^2 herausgelesen werden. Dies führte entsprechend den Flächenverhältnissen zu einer mittleren Druckfestigkeit von $39,70 \text{ N/mm}^2$ und einem E-Modul von 23.492 N/mm^2 . Nachdem die Belastung erneut direkt in die Ortbetonerfüllung eingeleitet wurde, wirkte das Gewicht einer Kalksandstein-Palette nicht mehr direkt über zwei Punkte auf die Stege, sondern verteilt sich auf einer Fläche von $1,20 \text{ m}$. Die hatte zur Folge, dass die nachstehenden Momente nicht wie im Bauzustand pro Steg bezogen werden, sondern auf eine Breite von $1,20 \text{ m}$, das der Lasteinleitungsfläche einer Palette entsprach. Nachdem auch hier zwei verschiedene Betongüten vorhanden waren, ist für die Ermittlung des aufnehmbaren Momentes aus der Bewehrung ein ideeller Querschnitt zu ermitteln, dessen Breite sich aus den Flächenverhältnissen entsprechend der zugehörigen E-Moduli ergibt. Dies bedeutet, dass der Querschnitt ein Moment von $65,24 \text{ kNm}$ aufnehmen konnte. Das maximale Moment aus der Gebrauchslast lag dementsprechend bei $43,49 \text{ kNm}$ und das rechnerische Bruchmoment bei $91,34 \text{ kNm}$. Der Bemessungswert der ohne Querkraftbewehrung aufnehmbaren Querkraft lag bei $89,32 \text{ kN}$, die maximale Querkraft unter Gebrauchslast bei $63,80 \text{ kN}$ und die maximale Querkraft im Bruchzustand bei $160,78 \text{ kN}$.

Die aufgebrachten Laststufen sind in der nächsten Tabelle aufgelistet:

Laststufe	Laststellung der KS-Paletten	Moment aus der Palettenstellung in kNm	Gesamtes Moment in kNm	Prozent zum maximalen Moment im Gebrauchszustand	Prozent zum rechnerischen Bruchmoment	Vorhandene Querkraft in kN	Prozent zur maximalen Querkraft unter Gebrauchslast	Prozent zur maximalen Querkraft im Bruchzustand
0	0	0,00	23,49	54,01	25,72	15,40	24,14	9,58
1	1, 3, 5	20,83	44,32	101,90	48,52	28,90	45,30	17,98
2	1, 2, 3 4, 5	38,79	62,28	143,19	68,19	37,98	59,53	23,62
3	1. Reihe voll 1, 3, 5	59,85	83,34	191,62	91,25	51,55	80,80	32,06
4	1. Reihe voll 2. Reihe voll	101,07	124,56	286,39	136,38	60,55	94,91	37,66
5	1. Reihe voll 2. Reihe voll 3	113,89	137,38	315,86	150,41	65,05	101,96	40,46

Tabelle 3.4.2.1: : Laststufen der hochfesten SVP 11-18-6,1

Vor der Ortbetonergänzung wog die Platte 3,58 t und hatte nach dem Aufbringen des Betons in die Stegzwischenräume ein Gewicht von 6,26 t. Durch das Eigengewicht der Platte entstand in Feldmitte ein Moment von 23,49 kNm, das 54 % vom maximalen Moment im Gebrauchszustand und fast 26 % des rechnerischen Bruchmoments entspricht. Durch das Aufbringen des Ortbetons nach drei Wochen ging die Platte in Feldmitte um einen Zentimeter nach unten, so dass die Anfangsverformung vor der Versuchsdurchführung bei 1,8 cm lag. Der zulässige Wert von 2,48 cm ($l/250$) war zu 73 % erreicht.



Bild 3.4.2.1: Hochfeste SVP 11-18-6,1 nach der Ortbetonergänzung

In der nächsten Tabelle sind die rechnerischen Durchbiegungen im ungerissenen und gerissenen Zustand aufgelistet.

Zustand I	0,00	2,60	4,70	6,20	6,60	6,20	4,70	2,60	0,00
Zustand II	0,00	3,71	6,71	8,86	9,43	8,86	6,71	3,71	0,00

Tabelle 3.4.2.2: Rechnerische Verformungen der hochfesten SVP 11-18-6,1 im Zustand I und Zustand II, aus der Laststufe 0

Das nächste Diagramm stellt die vorhandenen Durchbiegungen den rechnerischen graphisch gegenüber:

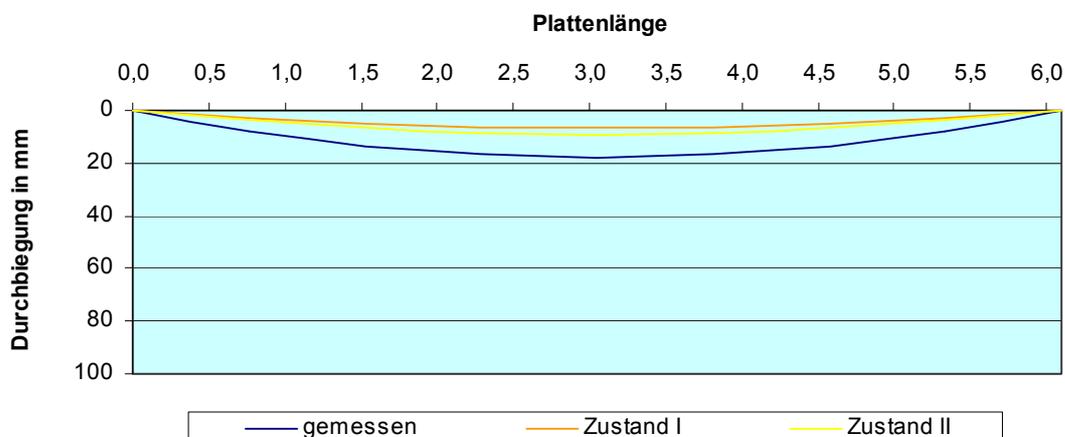


Diagramm 3.4.2.1: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der hochfesten SVP 11-18-6,1 aus der Laststufe 0

Wie der Vergleich zeigt, lag die vorhandene Durchbiegung bereits mit dem Faktor 1,9 über dem rechnerischen Wert aus dem gerissenen Zustand. Bei der Betrachtung der Plattenunterseite entstanden in Feldmitte Risse mit Weiten von 0,05 mm. Sie waren am Plattenrand noch nicht zu erkennen. Die maximale Querkraft lag mit 15,4 kN bei 24 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast und bei fast 10 % der maximalen Querkraft im Bruchzustand.

Für die *erste Laststufe* wurden auf die Positionen 1, 3 und 5 Kalksandstein-Paletten gelegt, durch diese sich die Platte um weitere 2,2 cm nach unten durchbog, so dass eine Gesamtverformung von etwa 4 cm vorhanden war. Dies entsprach einem Zuwachs von 226 %. Der zulässige Wert von 2,48 cm war um das 1,6-fache überschritten.



Bild 3.4.2.2: Laststufe 1 der hochfesten SVP 11-18-6,1

Das Moment stieg um etwa 89 % auf 44,32 kNm an, das etwa 102 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und fast 29 % des rechnerischen Bruchmoments entsprach. Im Vergleich zu den rechnerischen Werten im gerissenen Zustand war die vorhandene Durchbiegung 2,3-mal so hoch. Das nachfolgende Diagramm stellt den Unterschied graphisch dar.

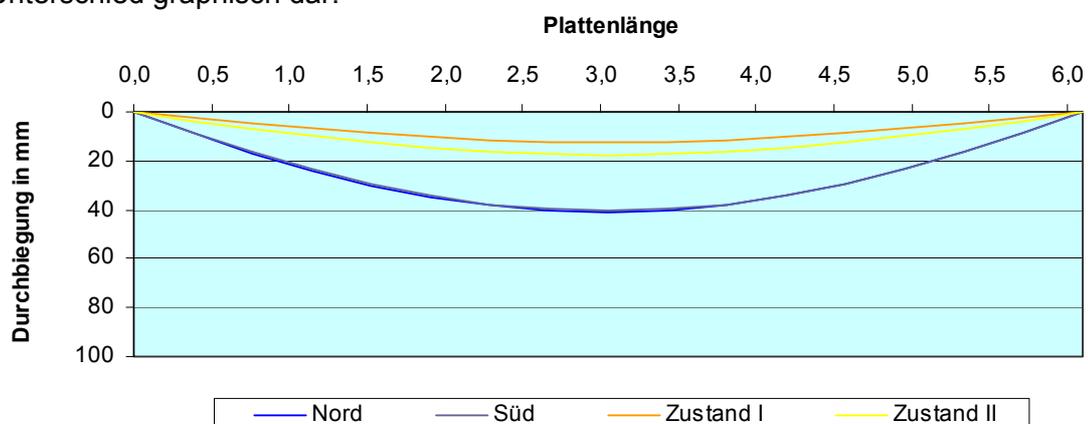


Diagramm 3.4.2.2: Graphische Zusammenfassung der Durchbiegungen der hochfesten SVP 11-18-6,1 aus der Laststufe 1

Der Unterschied der vorhandenen Durchbiegungen mit den rechnerischen aus dem Zustand II beruht einerseits auf das Überschreiten des Gebrauchszustands, für den der rechnerische Ansatz von $I_{II} = 0,7 \cdot I_I$ galt. Bei höherer Belastung führen die größeren Rissbreiten zu erheblich größeren Krümmungen und Durchbiegungen. Andererseits führte auch der niedrige E-Modul zu den größeren Durchbiegungen.

Dem großen Durchbiegungszuwachs stand das nachfolgende Rissbild gegenüber.

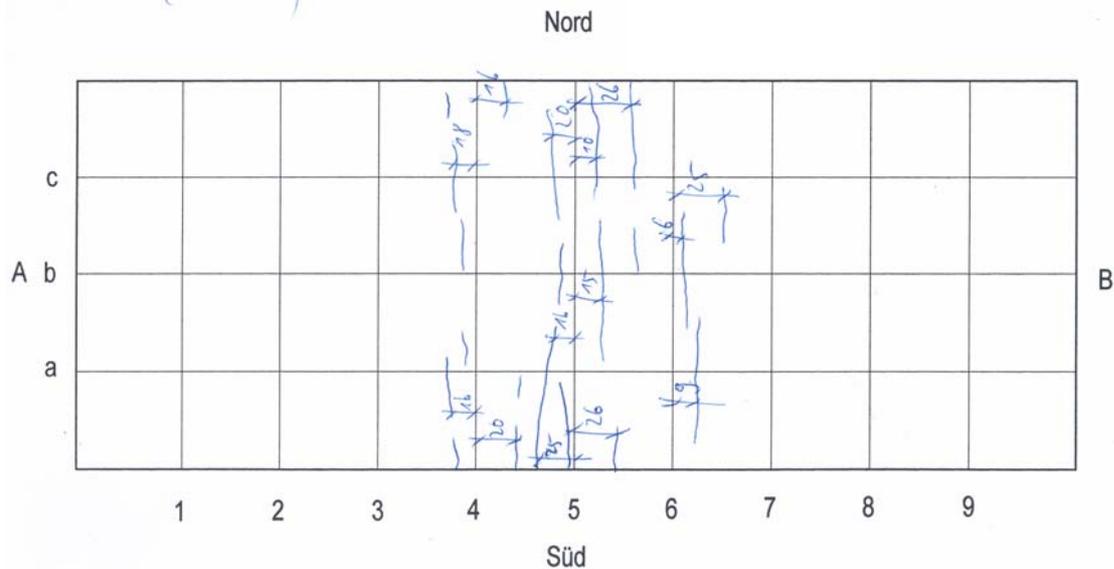


Bild 3.4.2.3: Aus der Laststufe 1 entstandene Risse der hochfesten SVP 11-18-6,1

Es entstanden in Feldmitte neue Risse mit Weiten von 0,05 mm. Ein Teil dieser Risse war am Plattenrand erkennbar. Die maximale Querkraft unter Gebrauchslast wurde bei dieser Lastkonstellation zu 45 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu 18 % erreicht.

Mit der *zweiten Laststufe* wurde ein maximales Moment von 62,28 kNm erzeugt, das fast 192 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 68 % des rechnerischen Bruchmoments darstellte.



Bild 3.4.2.4: Laststufe 2 der hochfesten SVP 11-18-6,1

Der Erhöhung des Moments um 40,5 % stand eine Erhöhung der Durchbiegung von 66 % gegenüber. Die Platte bog sich somit in Feldmitte um fast 6,8 cm durch, das einer Zunahme von etwa 2,7 cm darstellte. Dieser großen Zunahme stand das entsprechende Rissbild gegenüber.

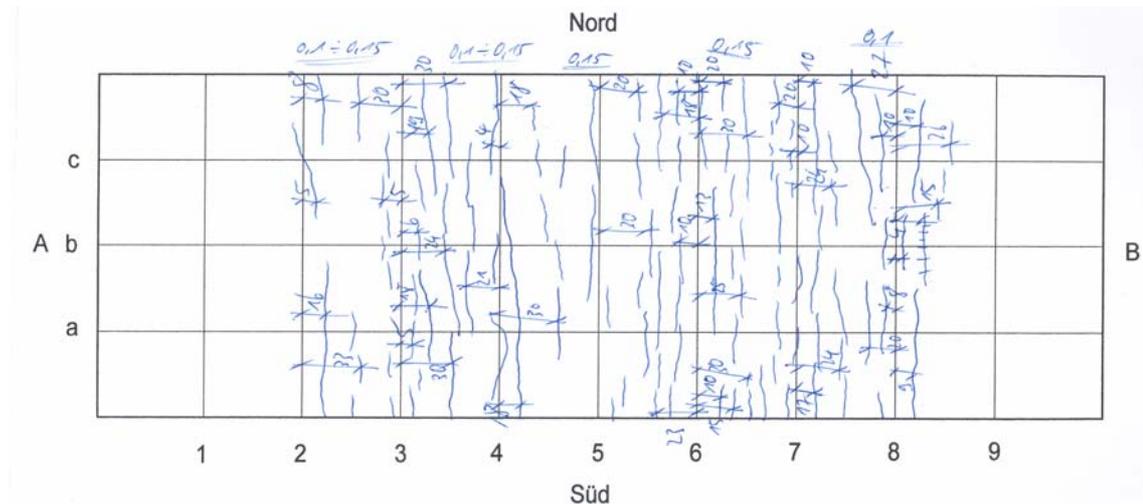


Bild 3.4.2.5: Aus der Laststufe 2 entstandene Risse der hochfesten SVP 11-18-6,1

Wie das Rissbild eindeutig zeigt, waren sehr viele neue Risse nicht nur in Feldmitte, sondern auch in Auflagernähe entstanden. Die Rissweiten der neu entstandenen Risse in Feldmitte lagen bei 0,15 mm, die der bereits vorher entstandenen Risse bei 0,2 mm. Zum Auflager hin gingen die Rissweiten auf 0,1 mm zurück. Bei dieser Laststufe gingen die Risse nicht nur in Feldmitte, sondern auch in der Nähe der Auflager bis an den Plattenrand. Die vorhandene Querkraft von fast 38 kN erreichte fast 60 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast. Die maximale Querkraft im Bruchzustand wurde zu etwa 24 % erreicht.

Mit dem Auflegen der Paletten auf die Positionen 1, 3 und 5 in der zweiten Ebene wurde die *dritte Laststufe* erzeugt.



Bild 3.4.2.6: Laststufe 3 der hochfesten SVP 11-18-6,1

Mit der dritten Laststufe wurde das Moment um 34 % erhöht, so dass ein maximales Feldmoment von 83 kNm vorhanden war. Das maximale Moment aus der Gebrauchslast wurde zu fast 192 % und das rechnerische Bruchmoment zu 91 % erreicht. Die Durchbiegung in Feldmitte stieg um 48 % auf 10 cm an.

Das entsprechende Rissbild an der Plattenunterseite ist im nächsten Bild festgehalten.

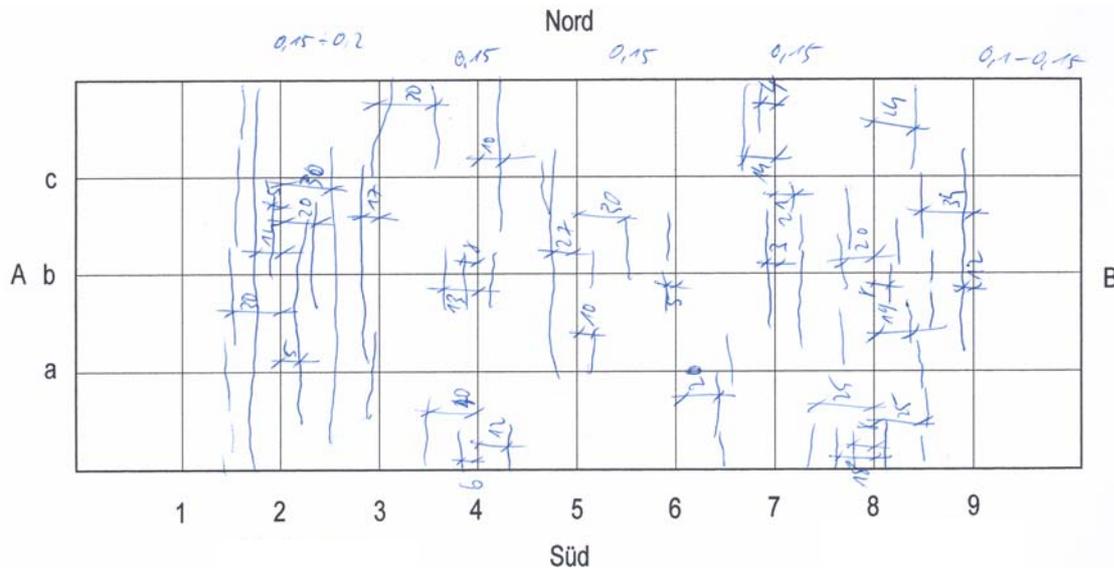


Bild 3.4.2.7: Aus der Laststufe 3 entstandene Risse der hochfesten SVP 11-18-6,1

Wie das Bild 3.4.2.7 zeigt, sind wiederum nicht nur in Feldmitte, sondern auch in Richtung der Auflager neue Risse entstanden. Die neuen Risse in Feldmitte hatten mittlerweile Weiten von 0,15 mm, während die bereits bestehenden Risse Weiten von 0,3 mm aufwiesen. Am Plattenrand waren diese Risse im ersten Drittel der Plattendicke zu finden. In Auflagernähe hatten die alten Risse Weiten von 0,3 mm während die neuen Risse auf 0,15 mm aufgingen. Der Abstand zum Auflager betrug nur noch etwa 60 cm. Die maximale Querkraft von 52 kN erreichte fast 81 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast. Die maximale Querkraft im Bruchzustand wurde zu 32 % erreicht.

Die vierte Laststufe bestand daraus, die zweite Ebene zu schließen. Hierzu wurden die Positionen 2 und 4 mit Kalksandstein-Paletten belegt. Vor dem Aufbringen der Paletten wurden die Messuhren aus Sicherheitsgründen abgebaut. Mit dem Auffüllen der zweiten Ebene wurde das Moment um 50 % erhöht, so dass mit 124,6 kNm in Feldmitte 286 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand vorhanden war. Das rechnerische Bruchmoment wurde bei dieser Laststufe zu 136 % erreicht. Die Durchbiegung der Platte verdoppelte sich, so dass die vorhandene Durchbiegung von 20 cm mit dem Nivelliergerät gemessen werden konnte. Dies deutete auf das baldige Versagen der Platte hin. Die Risse in Feldmitte verliefen mittlerweile bis etwa zur halben Plattendicke. Die Rissbetrachtung an der Plattenunterseite war aus Sicherheitsgründen nicht mehr möglich. Die maximal vorhandene Querkraft lag mit fast 61 kN bei etwa 95 % der maximalen Querkraft unter Gebrauchslast. Die maximale Querkraft im Bruchzustand wurde zu fast 38 % erreicht.



Bild 3.4.2.6: Laststufe 4 der hochfesten SVP 11-18-6,1

Die *fünfte Laststufe* bestand daraus, auf die mittlere Position der dritten Ebene Kalksandstein-Paletten aufzubringen. Mit dem Absetzen der ersten Palette gab die Stegverbundplatte in dem Maße nach, wie der Belastungskörper aufgelegt wurde und die Platte setzte sich in der Mitte auf die Abfangvorrichtung auf. In Feldmitte wäre somit ein Moment von 137,38 kNm entstanden, das fast 316 % des maximalen Moments im Gebrauchszustand und 150 % des rechnerischen Bruchmoments entsprechen hätte. Die maximale Querkraft unter Gebrauchslast wäre zu 102 % und die maximale Querkraft im Bruchzustand zu 40 % erreicht gewesen.



Bild 3.4.2.7: Laststufe 5 der hochfesten SVP 11-18-6,1

3.4.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Mit dem Aufbringen der fünften Laststufe gingen viele bereits bestehenden Risse in Feldmitte am Plattenrand weiter auf, so dass sie fast alle bis über die Mitte der Plattendicke hinaus ragten.



Bild 3.4.3.1: Rissbild der hochfesten SVP 11-18-6,1 in Feldmitte



Es deutete sich auch das Versagen der Druckzone an ein paar Stellen an. Wie im nebenstehenden Bild zu sehen ist, brach in Feldmitte der obere Teil der Platte, der die Druckzone bildet. Die Druckzone wurde regelrecht zerstört, so dass kleine Betonteile herausplatzten.

Bild 3.4.3.2: Detailaufnahme der versagten Druckzone der hochfesten SVP 11-18-6,1

Die Betondruckzone brach über die gesamte Plattenbreite, wie das unten stehende Bild zeigt. Dies zeigt wiederum das hervorragende Verbundverhalten zwischen den Stegen und der Ortbetonergänzung.



Bild 3.4.3.3: Gesamtansicht der versagten Druckzone der hochfesten SVP 11-18-6,1

Das nächste Diagramm stellt die Durchbiegungen den zugehörigen Momenten gegenüber.

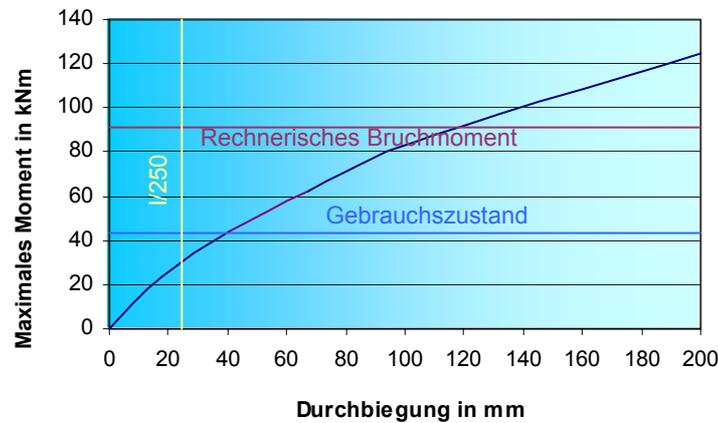


Diagramm 3.4.3.1: Gegenüberstellung der Durchbiegungen zu den Momenten bei der Belastung der hochfesten SVP 11-18-6,1

Wie das Diagramm zeigt, wurde die zulässige Durchbiegung vor dem Erreichen des maximalen Moments im Gebrauchszustand erreicht. Die Durchbiegung nahm nahezu mit der gleichen Krümmung während der gesamten Versuchsdurchführung zu. Das nächste Diagramm stellt die Rissweiten den Momenten aus den einzelnen Laststufen gegenüber.

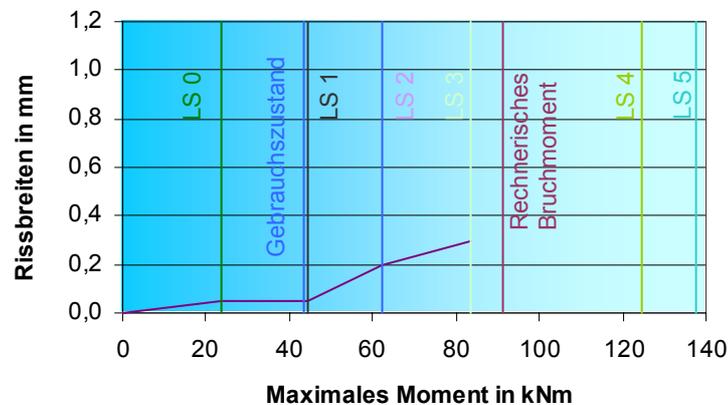


Diagramm 3.3.3.2: Gegenüberstellung der Rissbreiten zu den Momenten bei der Belastung der hochfesten SVP 11-20-6,1

Mit dem Aufbringen der Ortbetonergänzung waren bereits Risse mit Weiten von 0,05 mm entstanden. Sie wurden bis zum maximalen Moment im Gebrauchszustand nicht größer. Danach stiegen sie mit dem Aufbringen einer Laststufe bis auf 0,2 mm an, bevor sie bei der nächsten Laststufe auf 0,3 mm aufgingen. Die Rissdokumentation wurde nach der dritten Laststufe aus Sicherheitsgründen nicht weiter geführt, so dass über den weiteren Verlauf keine Angaben gemacht werden können.

4. ZUSAMMENFASSUNG ALLER GEWONNENEN ERKENNTNISSE AUS DER VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Versuche haben gezeigt, dass die Herstellung der Probeplatten nach kleinen Anlaufschwierigkeiten sowohl mit der Betongüte C 30 als auch mit den hochfesten Betongüten sehr gut funktionierte. Für eine Serienproduktion hingegen war die Schalung nicht ausgelegt, da sie zu unhandlich war. Der Produktionsprozess kann mit einer vielseitiger einsetzbaren Schalung (z. B. Klappschalung, die nach dem Betonieren sofort wieder abgehoben wird oder einer verlorenen Schalung) weiter beschleunigt und somit wirtschaftlicher gestaltet werden. Bei der Herstellung hat man jedoch gesehen, dass Element- und Stegverbundplatten ohne großen Aufwand in der gleichen Anlage hergestellt werden können. Ein weiterer großer Vorteil bei der Herstellung ist, dass nur in seltenen Fällen eine Querkraftbewehrung erforderlich ist, die jedoch in Form von Gitterträgern eingebaut werden kann.

Die Herstellung der Stegverbundplatten mit den hochfesten und zugleich selbstverdichtenden Betonen hat sich als sehr günstig erwiesen. Es sind nicht nur größere Stützweiten erreichbar, es wird außerdem auch der Herstellungsprozess vereinfacht. Nicht nur durch die Einsparung des Verdichtens wird Zeit bei der Herstellung gespart, es ergibt sich auch eine kürzere Vorhaltezeit der Schalungseinheiten durch den schnelleren Erhärtungsvorgang des Betons.

Die Handhabung der Platten hat sich als sehr gut erwiesen, genauso wie die Haken zum Transport und Verlegen der Stegverbundplatten.

Die Tragfähigkeit der Platten hat die rechnerischen Ergebnisse, bis auf die Durchbiegungen, bestätigt. Beim Belasten der ersten Stegverbundplatte waren überraschender Weise weitaus größere Durchbiegungen entstanden als im Vorfeld berechnet. Nach Rücksprache mit dem beteiligten Fertigteilwerk hatte sich herausgestellt, dass der in der DIN 1045-1 genannte E-Modul mit den Augsburger Zuschlägen nicht ohne zusätzliche Maßnahmen erreicht werden kann. Bei der für die Versuchsplatten verwendeten Betongüte C 30 lag der E-Modul nach 28 Tagen zwischen 20.000 und 25.000 N/mm². Dies sind zwischen 63 und 78 % des Sollwerts. Das nachfolgend aufgeführte Diagramm zeigt den Verlauf der Druckfestigkeit und die Entwicklung des E-Moduls eines Probewürfels, der aus dem Fertigteilwerk entnommen wurde und an der Luft gelagert wurde. Der Verlauf der beiden Kurven ist nahezu identisch. Beide entwickeln am Anfang eine hohe Steifigkeit bzw. Festigkeit und nehmen danach nur noch wenig zu. Nachdem alle Stegverbundplatten der ersten Serie bereits nach zwei Tagen belastet wurden, lag die Druckfestigkeit, gemessen an Probewürfeln, bei etwa 20 N/mm². An Hand dieses Diagramms ergibt sich somit ein E-Modul von circa 15.000 N/mm², das etwa die Hälfte des Sollwertes aus der DIN 1045-1 entspricht. Nachdem der E-Modul proportional in die Berechnung der Durchbiegung mit eingeht, waren die vorhandenen Werte etwa doppelt so hoch als erwartet.

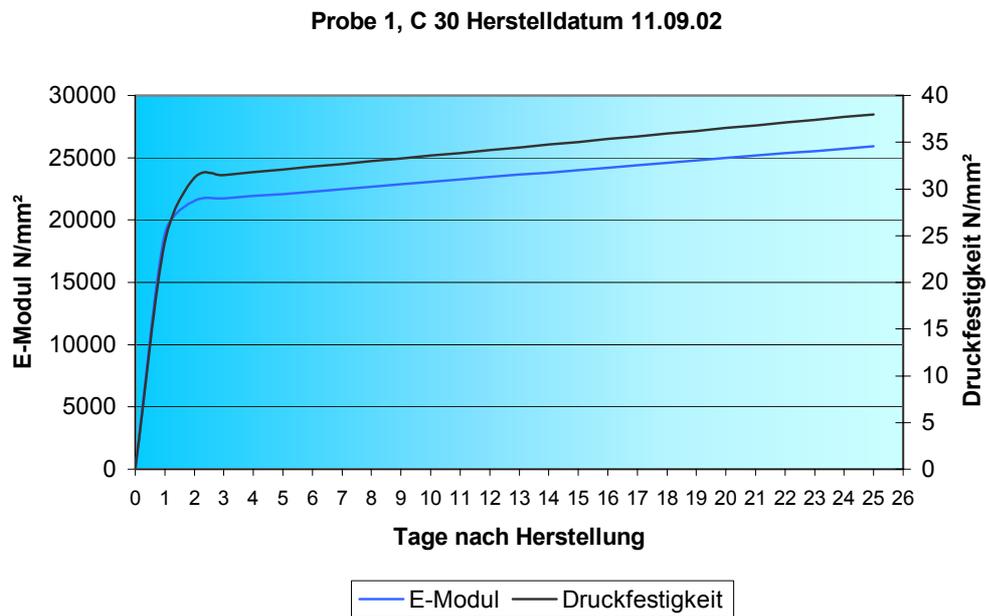


Diagramm 4.1: Verlauf der Druckfestigkeit und des E-Moduls der Betongüte C 30

Im nächsten Diagramm sind die vorhandenen Durchbiegungen beim maximalen Moment im Gebrauchszustand den zulässigen Durchbiegungen der einzelnen Platten gegenübergestellt.

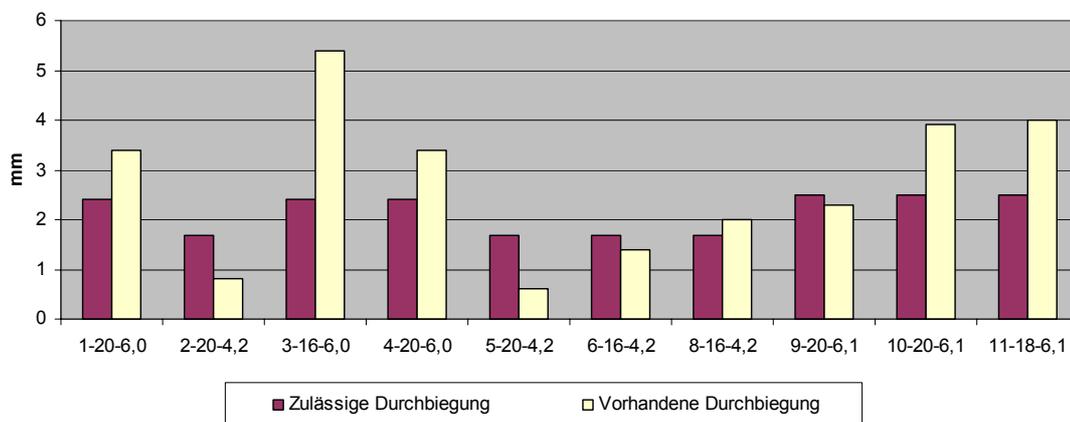


Diagramm 4.2: Vorhandene und zulässige Durchbiegungen im Gebrauchszustand

Wie das Diagramm zeigt, lagen lediglich drei Stegverbundplatten unter der zulässigen Durchbiegung im Gebrauchszustand. Die siebte Stegverbundplatte ist hier nicht mit aufgeführt, da diese im Bauzustand nicht bis zum maximalen Moment im Gebrauchszustand belastet wurde.

Zur Vermeidung der großen Durchbiegungen müssten entweder betontechnologische oder herstellungstechnische Veränderungen vorgenommen werden, so dass der genormte E-Modul erreicht werden kann. Betontechnologisch könnte dies zum Beispiel durch das Verwenden der Zementklasse CEM I statt CEM I/A-LL oder dem Verwenden von Bruchsand bei der Körnung 4/16 erreicht werden. Herstellungstechnisch könnten Veränderungen bei der Trocknung oder der Lagerzeit vorgenommen werden.

Das nächste Diagramm stellt die gemessenen Rissweiten im Gebrauchszustand graphisch dar. Die siebte Stegverbundplatte ist auch hier nicht aufgeführt, da sie im Bauzustand nicht bis zum maximalen Moment aus der Gebrauchslast belastet wurde.

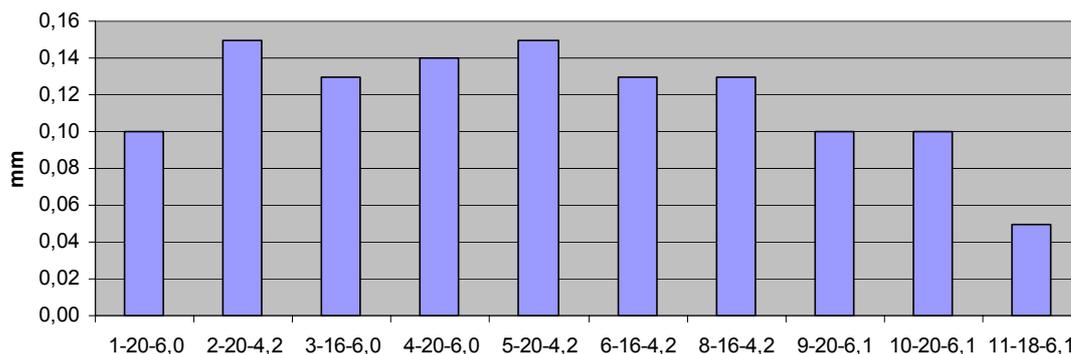


Diagramm 4.3: Rissweiten der einzelnen Platten im Gebrauchszustand

Wie das Diagramm zeigt, lagen die größten Rissweiten im Gebrauchszustand bei 0,15 mm. Nach der DIN 1045-1 Tabelle 1.1 waren somit für alle Umgebungsklassen die zulässigen Rissweiten eingehalten.

In wie weit die Stegverbundplatten das rechnerische Bruchmoment erreicht bzw. überschritten hatten zeigt das nächste Diagramm. Die ersten fünf Platten wurden im Bauzustand und die weiteren fünf im Endzustand belastet.

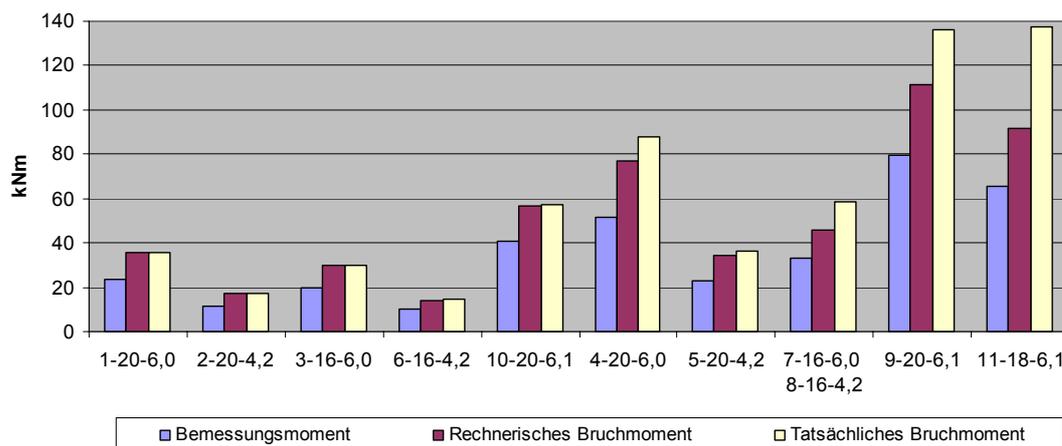


Diagramm 4.4: Gegenüberstellung der maximalen Momente aller belasteten Platten

Wie das Diagramm zeigt, hatten die ersten drei Stegverbundplatten das rechnerische Bruchmoment erreicht. Dies traf sogar auf die erste und zehnte Versuchsplatte zu, deren Stege durch das Ausschalen beschädigt waren. Es war deutlich zu erkennen, dass mit dem Überschreiten der Gebrauchslast sowohl die Rissbildung als auch die Durchbiegung stark zunahm. Die SVP 6-16-4,2 überschritt das rechnerische Bruchmoment ebenso wie die hochfeste SVP 10—20-6,0. Bei den Stegverbundplatten, die im Endzustand belastet wurden, überschritten sowohl die Platten mit normalem, als auch mit hochfestem Beton das rechnerische Bruchmoment. Das Versagen der Druckzone war nicht bei allen Platten deutlich erkennbar. Bei den anderen waren die Durchbiegungen so groß, dass zwar die rechnerische Bruchlast erreicht wurde, doch noch kein deutliches Versagenkriterium zu erkennen war. Dies galt sowohl für die erste Versuchsserie als auch für die SVP, die mit hochfesten Betonen hergestellt wurden. Die großen Durchbiegungen bei der Belastung im Endzustand der ersten Versuchsreihe war außer auf den niedrigen E-Modul auf die Vorbelastung zurückzuführen, bei der schon eine Vorverformung und teilweise beträchtliche Rissentwicklung zu beobachten war. Die geringe Anzahl der Versuchskörper machte eine Vorbelastung erforderlich, um Vergleichswerte von mindestens zwei identischen Platten im Bauzustand zu erhalten.

Das nächste Diagramm stellt die maximalen Querkräfte aller Platten gegenüber. Die ersten fünf Platten wurden wiederum im Bauzustand und die weiteren fünf im Endzustand belastet.

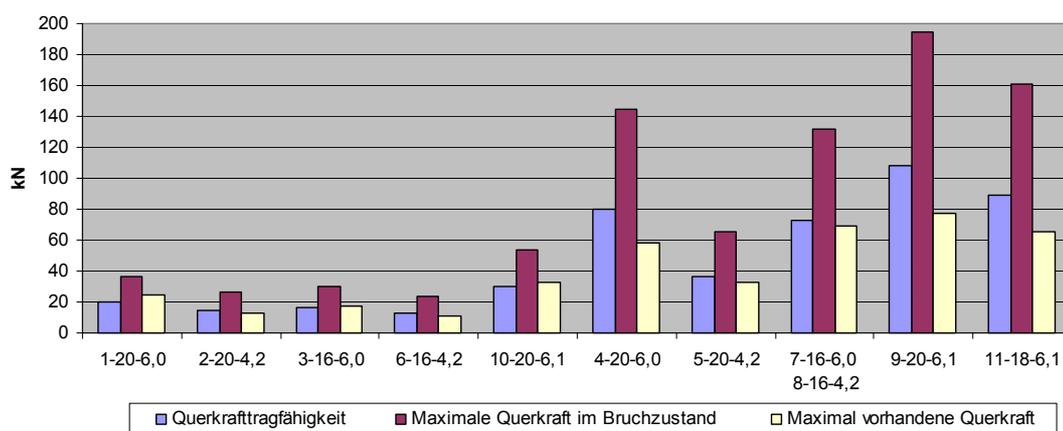


Diagramm 4.5: Gegenüberstellung der maximalen Querkräfte aller belasteten Platten

Wie das Diagramm zeigt, erreichten die maximal vorhandenen Querkräfte nur bei wenigen Platten gerade mal den Bemessungswert der Querkräfttragfähigkeit, bevor sie zu Bruch gingen. Die maximale Querkraft im Bruchzustand wurde bei keiner Stegverbundplatte erreicht. Sowohl bei den niedrigen als auch bei den hohen Laststufen waren keine Risse im Auflagerbereich erkennbar. Es konnten nicht einmal Rissansätze im gefährdeten Bereich des Querkräftversagens, also einer Länge von der zweifachen statischen Nutzhöhe, beobachtet werden. Der Riss mit dem geringsten Abstand vom Auflager war immer noch 60 cm entfernt. Durch das Einlegen von Gitterträgern in den Stegen konnte kein verändertes Trag- oder Rissverhalten festgestellt werden.

Eine wesentliche Erkenntnis der beiden Versuchsreihen hatte sich eindeutig herauskristallisiert:

Alle Stegverbundplatten versagten eindeutig auf Biegung und nicht auf Querkraft.



Bei den Stegverbundplatten der ersten Versuchsreihe versagte in der Biegedruckzone das Betongefüge, während bei den Platten mit hochfesten Betonen der Zuschlag zerbrach. Das *Bild 4.1* zeigt das Ausbrechen der Druckzone bei einer Stegverbundplatte der Betongüte C 30. Deutlich ist zu erkennen, wie sich bereits Ausbruchschollen gebildet hatten.

Bild 4.1: Versagen der Druckzonen bei einer Stegverbundplatte der Betongüte C 30



Das *Bild 4.2* zeigt das gebrochene Gefüge in der Ausbruchsfläche der Druckzone. Deutlich ist zu erkennen, wie nicht der Zuschlag, sondern das Gefüge gerissen ist. Die Rundungen der Kieskörner sind eindeutig zu erkennen.

Bild 4.2: Brechen des Gefüges

Der Zeitpunkt des Versagens war bei den Stegverbundplatten der ersten Versuchsreihe deutlich erkennbar. Einerseits wusste man an Hand der vorbereiteten Laststufen, wann die Platten vermutlich versagen werden, andererseits gaben die Platten direkt beim Versagen in dem Maße nach unten nach, wie die Kalksandstein-Paletten auf die Platte gestellt wurden.

Die hochfesten Stegverbundplatten versagten zwar auch auf Biegung, doch konnte hier nicht genau bestimmt werden, wann die Druckzone ausbrach. Anhand der Laststufen wusste man, bei welchem Lastniveau man sich befand, doch gaben die Platten direkt beim Versagen nicht in dem Maße nach, wie dies aus der ersten Versuchsreihe bekannt war. Kurz vor dem Versagen der Platten konnte mit dem bloßen Auge keine

Zunahme der Durchbiegung mehr beobachtet werden, während sie ohne weitere Laststeigerung plötzlich auf die Abfangkonstruktion nach unten brach, also sehr viel spröder reagierten.



Bild 4.3: Versagen der Druckzonen bei den hochfesten Stegverbundplatten



Beim Bruch der hochfesten Stegverbundplatte im Bauzustand bildeten sich nicht nur Ausbruchschollen wie bei der ersten Versuchsreihe. Der Beton in der Druckzone wurde regelrecht zerkleinert, so dass durch das schlagartige Versagen der Platte Betonsplitter entstanden. Hier war nicht das Betongefüge der schwache Punkt, sondern die Zuschläge zerbrachen. Das Bild 4.4 zeigt in einer Detailaufnahme die gebrochenen Zuschlagstoffe einer hochfesten Stegverbundplatte.

Bild 8.24: Gebrochene Zuschlagstoffe in der Bruchfläche einer hochfesten SVP

Die Stegverbundplatten im Endzustand, also mit Ortbetonergänzung, versagten ebenfalls auf Biegung. Auch wenn bei der Versuchsdurchführung nicht in jedem Fall die Druckzone versagte, so deutete zumindest die Rissentwicklung darauf hin. In unmittelbarer Nähe der Auflager war keine Rissbildung erkennbar.

Bei der Belastung der Stegverbundplatten mit Ortbetonergänzung wurde ein optimales Verbundverhalten zwischen der Ortbetonergänzung und den Stegen beobachtet, so dass sie wie eine monolithische Verbindung wirkte. Dies bestätigt das nachfolgende Bild. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Stegverbundplatte mit Ortbetonergänzung als eine einheitliche Platte wirkte, da sowohl die Druckzone völlig gleichmäßig im Stegbereich und der Ortbetonergänzung versagte.

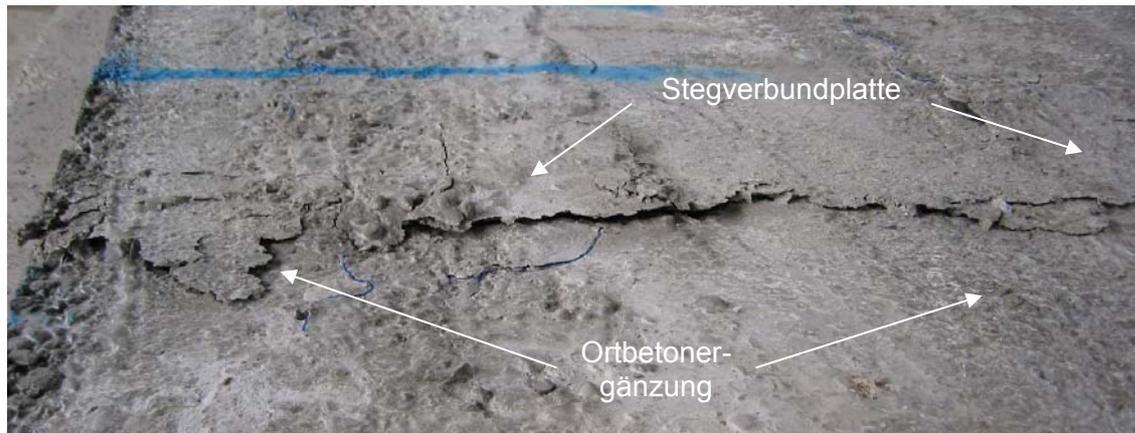


Bild 4.5: Versagen der Druckzone bei einer Stegverbundplatte im Endzustand

Die Versuchsserie bestätigte eindeutig, dass der Verbund über die Stegverzahnung gewährleistet ist.

Zur weiteren Untersuchung des Verbundverhaltens wurde die vierte Stegverbundplatte sowohl in Längs- als auch in Querrichtung durchgeschnitten. Der Längsschnitt wurde so gelegt, dass er durch die Stegverzahnung lief.

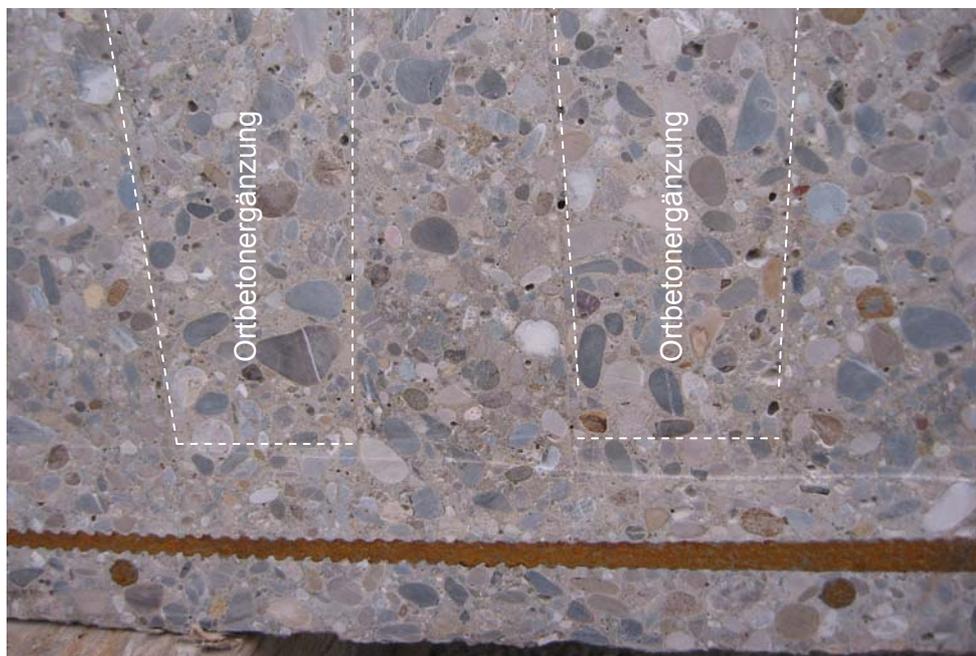


Bild 4.6: Längsschnitt entlang der Stegverzahnung

Im *Bild 4.6* ist eine Schnittfläche in Längsrichtung abgebildet. Es konnten weder zwischen der Verzahnung und der Ortbetoner-gänzung noch an der horizontalen Fuge zwischen Fertigteilplatte und Ortbetoner-gänzung Risse oder sonstige Störungen festgestellt werden. Dass auch der Verbund über die raue Fuge sehr gut funktionierte, zeigt das nächste Bild.



Bild 4.7: Detailaufnahme Verbundwirkung

Beim Transport der Platte nach der Versuchsdurchführung war ein Riss an der Plattenunterseite entstanden. Dieser verlief jedoch nicht wie erwartet entlang der Fuge zwischen der Platte und der Ortbetoneergänzung, sondern entstand im Fertigteil.



Bild 4.8: Detailaufnahme Risse

Die Rissbetrachtung an der Plattenunterseite wurde nur so weit durchgeführt, wie die Sicherheit dies zuließ. Bei zu großen Durchbiegungen bzw. bei einem zu hohen Lastniveau wurde die Rissbeobachtung von unten nicht mehr durchgeführt. Als wesentliche Erkenntnis aus der Rissbeobachtung kann jedoch festgehalten werden, dass sich die Risse überwiegend an die Querbewehrung anlehnten (siehe Bild 4.8). Dies war auf die unten liegende Querbewehrung zurückzuführen.

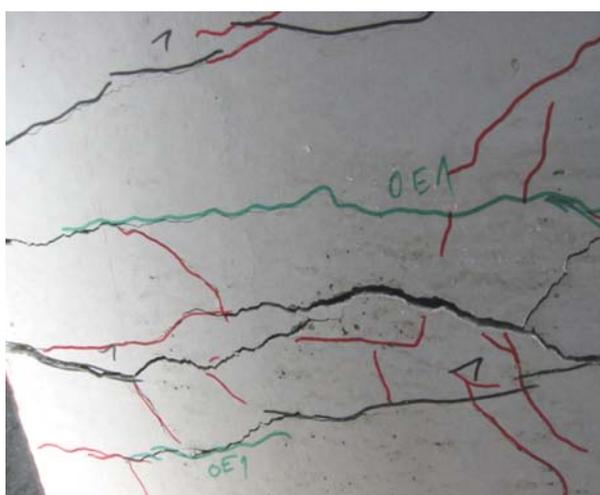


Bild 4.9: Rissbild einer Stegverbundplatte der Betongüte C 30

Bei hohem Lastniveau wurde der Rissverlauf scharfkantiger bzw. nervöser. Erst bei Annäherung an das Bruchmoment entstanden vereinzelt Längsrisse. Bei den Stegverbundplatten mit der Betongüte C 30 waren gegenüber den hochfesten Versuchskörpern weniger, aber dafür breitere Risse erkennbar. Dies liegt am spröderen Verhalten der hochfesten Betone. Diese Risse gingen auch weiter auf, als bei den SVP der 2. Versuchsserie.

Ein weiteres Untersuchungskriterium bei der Versuchsdurchführung war das Verhalten der Platten im Endzustand mit Durchlaufwirkung, wenn die Stützbewehrung nur in Längsrichtung und ausschließlich in die Stegzwischenräume eingelegt wird. Das *Bild 4.10* zeigt die eingelegte Stützbewehrung. Sie lag gestaffelt in den Stegzwischenräumen auf Gitterträgern, die als Abstandhalter verwendet wurden.



Bild 4.10: Eingelegte Stützbewehrung in die Stegzwischenräume

Der Vorteil dieser Bewehrungsführung liegt darin, dass Stegverbundplatten mit voller Steghöhe eingebaut werden können, die im Bauzustand gegenüber den niedrigeren Stegen größere Stützweiten überbrücken können. Dass die Bewehrungsführung wie eben beschrieben gut funktioniert, verdeutlichen die nachfolgenden Bilder.



Bild 4.11: Rissbilder bei 106 % des maximalen Moments unter Gebrauchslast (links) und bei ca. 105 % des rechnerischen Bruchmoments (rechts)

Es waren nur Risse in Querrichtung vorhanden, die hauptsächlich zwischen der Stegverzahnung verliefen. Längsrisse waren nicht einmal bei etwa 85 % des rechnerischen Bruchmoments zu erkennen. Dies bedeutet, dass keine zusätzliche Querbewehrung im Stützenbereich erforderlich ist und somit die Steghöhe der Stegverbundplatten bis Oberkante Rohdecke ausgeführt werden kann.

Bei der gesamten Versuchsdurchführung war es nie der Fall, dass die Belastung so hoch war, dass die Bewehrung riss. Es brach immer zuvor die Druckzone aus oder die Stegverbundplatte legte sich auf die Abfangvorrichtung auf. Lediglich bei der Belastung als Durchlaufträger konnte dies erreicht werden. Nachdem die kürzere Platte auf Grund der Vorbelastung zuerst auf Biegung versagte, wurden weiterhin Belastungskörper so lange auf die größere Platte aufgebracht, bis auf einmal drei Stabstähle der Stützbewehrung gleichzeitig rissen. Dies zeigt eindeutig, dass diese Art der Bewehrungsführung bei Durchlaufträgern bevorzugt verwendet werden kann.



Bild 4.12: Gerissene Stützbewehrung

Bei der Belastung der Stegverbundplatten mit Ortbetonergänzung hat sich gezeigt, dass keine Bewehrung für das Hochhängen der Lasten in die Stege erforderlich war. Die Stegverbundplatten reagierten wie ein monolithischer Werkstoff, obwohl die Belastung direkt in die Ortbetonergänzung eingeleitet wurde.

Die Untersuchung der Stegverbundplatten in Hinsicht auf das Quertragverhalten im Bauzustand hat ergeben, dass zwischen 63 und 71 % der einseitigen Last gleichmäßig abgetragen wurden. Dies wiederum bedeutet, dass zwischen 29 und 37 % dieser Last einseitig abgetragen wurden. Bei der normalen symmetrischen Belastung waren keine nennenswerten Unterschiede an den beiden Plattenrändern zu erkennen.