Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie

FFG Forschung wirkt.

Reparatursystem mit Fertigteilen zur schnellen und dauerhaften Instandsetzung von Betonfahrbahnbereichen SPEED-FT

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
DE-AT Kooperation
Verkehrsinfrastrukturforschung 2016
DE-AT 2016

November 2018

Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Invalidenstraße 44

10115 Berlin

Deutschland

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

Radetzkystraße 2

1030 Wien

Österreich

Für den Inhalt verantwortlich:

Villaret Ingenieurgesellschaft mbH

Am Lärchengrund 8

15366 Hoppegarten

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

Thematische Programme

Sensengasse 1

1090 Wien

Österreich

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie

FFG Forschung wirkt.

Reparatursystem mit Fertigteilen zur schnellen und dauerhaften Instandsetzung von Betonfahrbahnbereichen SPEED-FT

Ein Projekt finanziert im Rahmen der

DE-AT Kooperation

Verkehrsinfrastrukturforschung 2016

DE-AT 2016

AutorInnen:

Dipl.-Ing.(FH) Michael KISPERT

Dipl.-Ing. Tim ALTE-TEIGELER

Dipl.-Ing. Tanja TSCHERNACK

Ralf TULKE

Dipl.-Ing. Stephan VILLARET

Dipl.-Ing. Dr. Alois VORWAGNER

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Deutschland

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreich

Auftragnehmer:

VILLARET Ingenieurgesellschaft mbH

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

BTE Stelcon GmbH

O tto Alte-Teigeler GmbH

Inhalt

1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise 10
1.1 Aufgabenstellung 10
1.2 Vorgehensweise 11
1.2.1 Stand Wissenschaft und Technik 11
1.2.2 Schadensarten und Fertigteilkonstruktion 12
1.2.3 Konstruktion und Material 12
1.2.4 Numerische Untersuchungen 13
1.2.5 Demonstratoren 14
1.2.6 Messtechnische Überwachung 14
2 Stand Wissenschaft / Technik / Forschung 16
2.1 International 16
2.2 National Deutschland / Österreich 20
3 Stand der Bautechnologie 27
3.1 Ausbau alter Betonschichten 27
3.2 Untergrundprofilierung 30
3.3 Geometrien/Abmessungen/Einbautoleranzen 32
3.4 Konstruktive Anbindung an den angrenzenden Bestand 33
3.5 Transport und Einbau der Fertigteile 34
3.6 Unterpressen der Fertigteile 36
3.7 Bewertung der Bautechnologie 37
3.8 Detektion von Problemstellen/Verbesserungspotenzial 38

4 Schadensarten und Fertigteillösungen 40
4.1 Schadensarten 40
4.2 Voraussetzungen für Fertigteileinbau 40
4.3 Mögliche Fertigteillösungen 41
5 Konstruktion und Material 44
5.1 Randbedingungen 44
5.1.1 Zeitrahmen 44
5.1.2 Transportgewichte 44
5.1.3 Fahrstreifenbreiten vs. Plattengeometrie 44
5.1.4 Toleranzen, Grenzen, Genauigkeiten 45
5.2 Fertigteile konstruktiv 46
5.2.1 Geometrien 46
5.2.2 Verpressöffnungen 47
5.2.3 System zur Verteilung des Unterpressmaterials 49
5.3 Kopplungselemente 49
5.4 Hebe- und Verlegetechnik 50
5.5 Justierelemente 51
5.6 Anforderungen an das Material 52
5.6.1 Beton für Fertigteile 52
5.6.2 Unterpressmaterial 53
5.6.3 Material Dübelkammern 55
5.6.4 Fugenmaterial 58

5.7 Oberflächen 59
6 Dimensionierung 60
6.1 Numerische Überfahrtsberechnung 60
6.1.1 Berechnungsmodell 1 Lasteinwirkungen durch LKW-Überfahrten 61
6.1.2 Berechnungsmodell 2: Kombinierte Verkehrs- und Temperaturbelastung 68
6.2 Dimensionierung 75
6.2.1 Stand der Dimensionierungspraxis im Betonstraßenbau 75
6.2.2 Grundsätzliches 75
6.2.3 Bewehrte Fertigteile 77
6.2.3.1 Dimensionierung für den Transport- und Montagelastfall 77
6.2.3.2 Dimensionierung für den Gebrauchszustand 78
6.2.4 Unbewehrte Fertigteile 90
6.2.4.1 Dimensionierung für den Transport- und Montagelastfall 90
6.2.4.2 Dimensionierung für den Gebrauchszustand 90
6.3 Beginn einer belastungsabhängigen Katalogisierung 90
7 Entwicklung Bautechnologie und Bauablauf 92
7.1 Untergrundprofilierung 92
7.1.1 Abtragen der Tragschicht 92
7.1.2 Auffüllen von Ausbruchstellen in der Tragschicht 92
7.2 Transport unbewehrter Fertigteile 93
7.3 Einbaugeräte 93

7.4 Verschlussmaterial für Dübelkammern/Dübelaussparungen 93
7.5 Verschlussmaterial für Bohrlöcher 95
8 Demonstratoren 96
8.1 Probefertigteil 96
8.2 Demonstrator - Kreisrunde Fertigteile 99
8.2.1 Einbaubereich 99
8.2.2 Planung und Herstellung der Fertigteile 102
8.2.3 Einbau der Fertigteile 103
8.3 Demonstrator - Ersatz mehrerer Platten im Hauptfahrstreifen hintereinander 107
8.3.1 Einbaubereich 107
8.3.2 Planung und Herstellung der Fertigteile 109
8.3.3 Einbau der Fertigteile 115
8.4 Fertigteile für den Verschluss von Bohrlöchern 120
8.4.1 Planung und Herstellung der Fertigteile 120
8.4.2 Einbauversuche 120
9 Messtechnische Überwachung 122
9.1 FWD-Messergebnisse 122
9.1.1 Probefertigteil 124
9.1.2 Kreisrunde Fertigteile 131
9.1.3 Plattenreihe im Hauptfahrstreifen 145
9.2 Messsensorik 157

9.3 Dauerüberwachung der Demonstratoren 160
9.3.1 Messkonzept 160
9.3.2 Messlayout 161
9.3.3 Einbau der Sensoren und Fertigteile 165
9.3.4 Ergänzende Materialtests 168
9.3.5 Nullmessung und Start des Monitorings beim Einbau der Platten 170
9.3.6 Datenaufzeichnung und Messdaten 173
9.3.7 Interpretation der Messdaten in Kombination mit einem aktualisierten FE-Modell 183
9.3.8 Zusammenfassende Erkenntnisse aus Dauermessung und FE-Nachrechnung 190
10 Zusammenfassung und Empfehlungen für Regelwerke 193
11 Tabellenverzeichnis 194
12 Abbildungsverzeichnis 195
13 Literaturverzeichnis 206

1 AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE

1.1 Aufgabenstellung

Aufgrund ihrer dauerhaften Eigenschaften haben sich Betonfahrbahndecken sowohl in Österreich als auch in Deutschland im hochbelasteten Streckennetz bewährt. Eine schnelle Instandsetzung geschädigter Bereiche ist bislang nur mit Betonersatzsystemen (Schnellbeton, Reparaturmörtel etc.) oder Asphalt möglich. Insbesondere letzteres führt zu einer Schwächung innerhalb des Systems Betondecke, die insbesondere in der wärmeren Jahreszeit eine hitzeschadenbegünstigende Imperfektion darstellt. Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit derartiger Ersatzsysteme ist festzustellen, dass diese häufig bereits kurze Zeit nach Herstellung erneute Schädigungen und somit erneuten Handlungsbedarf aufweisen. Der Einsatz von Fertigteilen stellt dafür eine dauerhafte und schnelle Alternative dar, da auf diese Weise Ressourcen effizient zum Einsatz kommen und Sperrzeiten reduziert werden können. Ein bereits vorhandenes System von Fertigteilen ist daher innerhalb des Forschungsvorhabens weiterzuentwickeln und zu erproben.

Ein weiterer im Projekt zu betrachtender Aspekt ist der Verschluss der bei Bohrkernentnahmen im Bereich von Betondecken entstehenden Bohrlöcher. Dieser erfolgt bislang zumeist durch Füllen mit anstehendem Material bis kurz unter Oberkante der Betondecke und Verfüllen der oberen Zentimeter mit Epoxidharzmörtel oder Kaltasphalt. Bei beiden Systemen ist die Dauerhaftigkeit nicht gegeben, so dass bereits kurze Zeit später offene Bohrlochbereiche vorliegen. Basierend auf den Erkenntnissen zum Fertigteileinbau ist daher ein entsprechendes System zum Verschluss der Bohrlöcher zu erarbeiten.

Die in Deutschland bereits eingebauten Fertigteile wurden in jedem Fall bewehrt hergestellt. Da eine Bewehrung im klassischen Betonstraßenbau nur selten zur Anwendung kommt, soll es ein Ziel des Vorhabens sein, durch Weiterentwicklung der Systemkomponenten den Einbau unbewehrter Fertigteile zu ermöglichen. Zu berücksichtigen sind daher insbesondere die Dübelkammern, deren Füllmaterial sowie die Transport- und Verlegetechnik. Letztere erfordern derzeit noch den Einbau von Transportankern und somit den Einsatz eines gewissen Grades an Bewehrung im Fertigteil. Ein entsprechendes Dimensionierungsverfahren ist zu entwickeln.

Im Ergebnis der Untersuchungen sollen mehrere Praxisversuche auf österreichischen Betonautobahnen erfolgen, bei denen die gewonnenen Erkenntnisse des Projekts angewendet werden können. Mit Hilfe eingebauter Messsensorik sowie der Durchführung von FWD-Messungen können diese Versuche schließlich messtechnisch begleitet werden.

Neben dem Vorliegen eines Fertigteilsystems, das eine schnelle und dauerhafte Instandsetzung geschädigter Betonbereiche ermöglicht, ist ein weiteres Ziel des Projektes SPEED-FT, die Fertigteilbauweise für beide Länder auf die Aufnahme in die nationalen Regelwerke sowie auf eine künftige Katalogisierung vorzubereiten.

1.2 Vorgehensweise

Basierend auf den Erfahrungen zur Fertigteilbauweise in Deutschland, die innerhalb mehrerer Forschungsprojekte aufgestellt wurden, soll es möglich werden, Verbesserungspotenziale zu detektieren und das System, auch unter den in Österreich anzutreffenden Randbedingungen weiterzuentwickeln.
Die Organisationsstruktur des Projektes SPEED-FT ist in Abbildung 1 dargestellt.

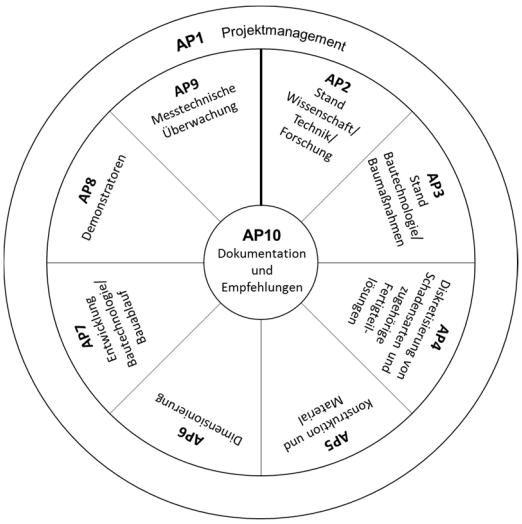

Abbildung 1: SPEED-FT Projektstruktur

1.2.1 Stand Wissenschaft und Technik

Zu Beginn der Untersuchungen soll eine grundlegende Recherche klären, inwiefern die Fertigteiltechnologie national und international bereits zur Anwendung kommt und welche Ausführungsvarianten vorliegen. Für eine klare Abgrenzung des hier zu entwickelnden Fertigteilsystems sind bereits vorhandene Patentrechte zu eruieren. Die bislang in Deutschland eingebauten Fertigteile werden hinsichtlich der Bautechnologie bewertet und Verbesserungsmöglichkeiten mit den Baufirmen diskutiert. Zu betrachten sind dabei unter anderem die Aspekte des Ausbaus der Betonschichten, der Untergrundprofilierung, der Einbautoleranzen sowie die konstruktive Anbindung an den Bestand. Weitere Gesichtspunkte

sind der Transport der Fertigteile zur Baustelle, die Montage und Justierung sowie das Verfüllen der unter der Fertigteilplatte befindlichen Hohlräume zur Herstellung guter Auflagerungsbedingungen. Diese sind entscheidend für die Dauerhaftigkeit der Fertigteilkonstruktion.

1.2.2 Schadensarten und Fertigteilkonstruktion

In einem weiteren Schritt sollen systematisch die für Fertigteile geeigneten Schadensarten abgegrenzt sowie eine mögliche Fertigteillösung zugeordnet werden. Dies soll ermöglichen, Schäden, die mit Fertigteilen saniert werden können, deutlich von denen abzugrenzen, bei denen ein Einsatz von Fertigteilen unwirtschaftlich bzw. nicht möglich ist.
Nach Recherche vorliegender Erfahrungen zur Fertigteiltechnologie sowie zu bisher gemachten Einbauerfahrungen können innovative Lösungsansätze mit Bezug auf Konstruktion und eingesetzter Materialien erstellt werden. Dabei sind die Randbedingungen wie zum Beispiel der mögliche Zeitrahmen, mögliche Transportgewichte, geometrische Randbedingungen (Fahrstreifenbreiten) und Toleranzen bzw. Genauigkeiten abzuklären.

1.2.3 Konstruktion und Material

Die konstruktiven Aspekte der Fertigteile werden differenziert nach den vorgesehenen Aufgaben untersucht und weiterentwickelt. Bislang wird das Unterpressmaterial über mehrere über das Fertigteil verteilte Verpressöffnungen in den Hohlraum zwischen Tragschicht und Fertigteil eingebracht. Eine Steuerung der Verteilung ist dabei nicht möglich. Insbesondere bei größeren Fertigteilplatten ist ein Kanalsystem an der Unterseite der Fertigteile anzulegen, dass zu einer besseren Verteilung des Unterpressmaterials führen kann. Von entscheidender Bedeutung für die Langlebigkeit des Systems ist die Kopplung der Elemente zum Bestand und soweit notwendig untereinander. Die Erfahrungen zum Einbau der Fertigteile haben gezeigt, dass auch im Hinblick auf die Bautechnologie Verbesserungspotenzial besteht. Dabei sind umfassende Betrachtungen zur schnellen Untergrundprofilierung aufzustellen.
Die bisher eingebauten Fertigteile wurden bewehrt ausgeführt. Gründe hierfür sind die Dübeltaschen, die zu Spannungsspitzen in den Bauteilen führen sowie die Anforderungen aus Transport (Transportanker) und Montage (Anbringen von Traversen). Ein Ziel der Forschungsarbeit ist es daher, Fertigteile ohne Bewehrung herzustellen und einzubauen. Neben der eigentlichen Dimensionierung der Fertigteile ergeben sich auch Anforderungen aus bautechnologischer Sicht. Es sind insbesondere Möglichkeiten zu eruieren, wie die Fertigteile ohne Bewehrung, Traversen und Schwerlastanker transportiert, verlegt und justiert werden

können. Demzufolge beeinflusst die Forderung nach unbewehrten Bauteilen das gesamte Fertigteilsystem.

Ergänzend zu den bislang bekannten Anwendungsgebieten von Fertigteilen soll innerhalb dieses Forschungsvorhabens auch eine Möglichkeit untersucht werden, wie einzelne kleine Fertigteile zum dauerhaften Verschluss von Bohrlöchern einsetzbar sind. Dabei ist in erster Linie zu prüfen, wie diese Fertigteile effizient und kostengünstig hergestellt und schließlich innerhalb kurzer Zeit eingesetzt werden können.

1.2.4 Numerische Untersuchungen

Ein wesentlicher zu untersuchender Punkt ist es, ob eine bewehrungslose Ausführung möglich ist. Dazu sind Kenntnisse der Spannungszustände in den unterschiedlichen Zuständen der sanierten Fertigteilplatte erforderlich. Neben den bereits in Vorprojekten behandelten Aspekten wie Transport/ Einbau etc. wird hier verstärkt die dynamische Belastung bei LKW-Überfahrten betrachtet. Basierend auf bisherigen Untersuchungen wird ein FE-Modell der eingebauten Fertigteilplatte erstellt, welches mit einem LKW-Modell gekoppelt und eine dynamische Überfahrt mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten simuliert wird (eine so genannte volle Fahrzeug-Bauteil-Interaktion).

Aufgrund unterschiedlicher Temperatureinwirkung entstehen durch Plattenverformungen geänderte Aufstandsbereiche der Platte. Es ist geplant, diese anhand ausgewählter, basierend auf Vorkenntnissen maßgebender Konfigurationen, zu erheben und mittels einer Fahrzeugüberfahrt mit einer transienten Zeitverlaufsanalyse zu untersuchen und die Spannungen im Bauteil zu ermitteln.

Das transiente LKW-Modell ist in der Lage, auch Unebenheiten der Straßenoberfläche zu berücksichtigen. Optimiert soll dahingehend werden, dass Zugspannungen im eingebauten Zustand auf ein Minimum reduziert werden.

Die numerischen Modelle werden später mit den gemessenen Daten aus den Vor- und Pilotversuchen validiert, wo neben dem Scan der Oberfläche mit dem „RoadSTAR“ auch mechanische Messdaten aus der Platte (Temperaturabhängigkeit und Verformung und Überfahrt mit Messfahrzeug) einfließen (siehe Punkt messtechnische Überwachung). Daraus sollen sich Dimensionierungsgrundsätze und Grundlagen für eine belastungsabhängige Katalogisierung ableiten lassen. Das Dimensionierungsverfahren soll eine objektkonkrete Dimensionierung der Fertigteile ermöglichen und für wesentliche Anwendungsfälle anwendbar sein. Generell wird die Anwendung unbewehrter Fertigteile angestrebt. In Einzelfällen kann jedoch eine bewehrte Ausführung notwendig werden (z. B. bei ungünstiger Geometrie). Ziel

ist es daher, für bewehrte und unbewehrte Fertigteile geeignete Dimensionierungsverfahren zu definieren, die für die Fertigteile eine wirtschaftliche Herstellung ermöglichen.

1.2.5 Demonstratoren

Nachdem die grundlegenden theoretischen Untersuchungen abgeschlossen sind, werden die ersten Erkenntnisse aus dem Projekt in einem Vorversuch in die Praxis übertragen. Es ist vorgesehen, ein Fertigteil in einem Bereich der Betonfahrbahn einzubauen, der weniger stark belastet ist, wobei sich beispielsweise die österreichischen Mautstellenbereiche oder Nebenflächen anbieten. Dieser erste Vorversuch wird bereits innerhalb der ersten Projekthälfte erfolgen, um den Erfahrungsgewinn weiter in das Projekt einfließen zu lassen und erste Aussagen bezüglich der Dauerhaftigkeit zu gewinnen.
Nach dem erfolgreichen Vorversuch ist es vorgesehen, mehrere Demonstratoren im Bereich der österreichischen Betondecken einzubauen. Mit der Hilfe von drei verschiedenen Fertigteilvarianten, die bereits auf deutschen Betonautobahndecken erfolgreich eingebaut wurden, soll getestet werden, wie sich die Systementwicklungen aus dem Projekt SPEED-FT auf den Einbau auswirken. Als erste Variante wurde der Einbau von drei kreisrunden Fertigteilen gewählt, die für den Einsatz in Fugenbereichen denkbar sind. Die zweite Variante sieht den Einbau von Fertigteilen zum Austausch zwei aufeinanderfolgender Platten im Hauptfahrstreifen vor. Eine dritte Variante ist der Einbau einer Fertigteilreihe (Länge ~ 2 m) über die gesamte Fahrbahnbreite, die es möglich macht, Schäden im Querfugenbereich, wie sie zum Beispiel bei Hitzeschäden auftreten können, schnell und dauerhaft zu sanieren.
Die entwickelte Technologie zum dauerhaften Verschluss von Bohrlöchern wird ebenfalls getestet.

1.2.6 Messtechnische Überwachung

Zur Validierung der numerischen Untersuchungen und zum Erfassen realer Einbaubedingungen und Einwirkungen als Dimensionierungsgrundlage ist geplant, zwei Fertigteilplatten der Demonstratoren mit Messtechnik auszustatten und über einen längeren Zeitraum messtechnisch zu überwachen. Dafür sind die Versuchsfelder so auszuwählen, dass eine Stromversorgung gewährleistet ist. Im Vorversuch soll grundsätzlich der Zusammenhang zwischen Wärmeausdehnung/ Vorwölbung und Zwangskräften ermittelt werden. Dazu ist vorgesehen, an einem Versuchsfeld in einer bestehenden Betonfahrbahnplatte eine Instandsetzung durchzuführen bzw. zu simulieren.

Die geplanten Sensoren im Fertigteil sind hauptsächlich im Bauteil eingebettete Dehnungs- und Temperatursensoren sowie ein Beschleunigungssensor zur Identifizierung der Eigenfrequenz. Bei dem Vorversuch soll der Spalt, der sich zwischen Fertigteil und angrenzender Fahrbahn ergibt, zunächst größer ausgebildet werden als später bei den Demonstratoren vorgesehen. Die geschieht, um zwischen Fertigteil und Bestandsplatte umlaufend Sensoren zur Messung der auftretenden Zwangskräfte einbauen zu können. Der Vorversuch soll über einen Zeitraum von mehreren Monaten durchgehend messtechnisch überwacht werden. Parallel ist vorgesehen, am FE-Modell mittels inverser FEM-Modelupdating-Routinen das Modell mittels Versuchsergebnissen zu „optimieren“, und den Zusammenhang zwischen Zwang / Vorwölbung und gemessener Daten (Temperatur, Spaltzug- und Zwangskräften bzw. Dehnungen) eingehend zu untersuchen.

Basierend auf den vorgehenden Erkenntnissen ist geplant, das FT-Element am 1. Fahrstreifen eines Demonstrators mit Messtechnik zu versehen und eine Dauermessstelle für mehrere Monate einzurichten. Aus heutiger Sicht eignen sich faseroptische Sensoren für diese Aufgabe, da diese den Vorteil haben, dass sie nicht von Feuchtigkeit negativ beeinflusst werden und in einer Messkette mehrere Sensoren verwendet werden können, was die Instrumentierung erheblich erleichtert. Nach dem Einbau soll die eingebaute Platte mit dem Messfahrzeug RoadSTAR mit gezielten und bekannten Radlasten überfahren und abgeglichen werden. Zeitgleich kann hier eine Vermessung der Straßentopographie und des Fugenspalts erfolgen. Das im Zuge dieser Überfahrt aufgenommene Höhenprofil der rechten Fahrspur der sanierten Platte, dient zur späteren Nachrechnung in der FE-Simulation.

Vorgesehen ist, das aus dem Vorversuch erstellte FEM-Modell für den Pilotversuch zu adaptieren und mittels Modelupdating-Routinen an den Versuchsgegebenheiten zu kalibrieren.

Wie auch bei den bisher eingebauten Fertigteilen, werden FWD-Messungen durch die HS Anhalt vor und direkt nach dem Einbau durchgeführt, um Aussagen zur Tragfähigkeit der eingebauten Systeme zu erhalten.

2 STAND WISSENSCHAFT / TECHNIK / FORSCHUNG

2.1 International

International liegen Erfahrungen zur Fertigteilbauweise insbesondere in den USA vor. Dort wird die Fertigteilbauweise seit 2001 regelmäßig vor allem dort angewendet, wo längere Sperrzeiten aufgrund hoher Verkehrsbelastung nicht möglich sind oder Sperrzeiten auf eine nur geringe Akzeptanz stoßen. Es existieren verschiedene Systeme, welche von Privatwirtschaft und Universitäten entwickelt und erprobt wurden. Die Technologien unterscheiden sich vor allem in der Vorbereitung der Unterlage für das Fertigteil und der technischen Lösung für die Querkraftübertragung.

Das am häufigsten angewendete Fertigteilsystem der Firma Fort Miller „Super-Slab“® aus den USA ist ein System, bei dem die Fertigteile auf eine möglichst exakt vorbereitete Tragschicht aufgelegt werden. Es kann neben der Sanierung einzelner Schadstellen auch für die Erneuerung zusammenhängender Fahrbahnabschnitt angewendet werden.

Die Höhenlage der Tragschicht wird in den meisten Fällen über ein auf den angrenzenden Platten aufgesetztes Schienensystem realisiert.

Die Querkraftübertragung erfolgt mittels Dübeln und nach unten offenen Dübeltaschen. Diese werden nach dem Verlegen der Fertigteile einzeln über Öffnungen an der Oberseite der Fertigteile (zwei je Dübeltasche) mit Mörtel verfüllt. Das gleiche Material wird in die Fugenbereiche eingebracht. Von dort soll es sich schließlich über ein Verteilsystem an der Unterseite der Platten verbreiten.

Abbildung 2: Super-Slab®-System [https://www.super-slab.com/route-17-bridge-approach-slabs-vestal-ny]

Die Fertigteile können in beliebigen Geometrien hergestellt werden und sind damit auch in Bereichen mit komplizierter Fahrbahngeometrie einsetzbar.

Das System unterliegt dem US Patentrecht.
Ein Vorteil des Systems ist die einfache Herstellbarkeit. So können innerhalb kürzester Zeitfenster verhältnismäßig große Abschnitte bzw. eine größere Anzahl von Platten eingebaut werden. Zudem wurden bereits Systeme entwickelt, um das Tragschichtmaterial in der gewünschten Höhe einbringen und abziehen zu können.
Da die Höhenlage der Platten lediglich über die Tragschicht reguliert werden kann, ist nach eigenen Aussagen die erreichte Gleichmäßigkeit der Oberfläche nur für langsam fahrenden Verkehr ausreichend. Aus diesem Grund hat sich ein anschließendes Grinden der Oberfläche als sinnvoll herausgestellt.
Inwiefern alle Hohlräume unter der Platte gefüllt sind und somit eine vollflächige Auflagerung der Platten gegeben ist, kann jedoch nach Beendigung der Arbeiten nicht nachvollzogen werden. Zudem werden keine Aussagen gemacht, inwiefern das Material der Dübeltaschen auch für die Fugenbereiche geeignet ist.

Weitere Systeme, wie die Michigan-Methode, die an der Michigan University entwickelt wurde, unterscheiden sich in der Art, die Querkraftübertragung zu gewährleisten. Hierbei werden die Aussparungen für die Dübel, platziert in 3er oder 4er Gruppen entlang der Radspuren, in die angrenzende bestehende Fahrbahn eingeschnitten und ausgestemmt. Die vorgefertigte Platte wird dann in die vorgesehene Position gehoben und die nach oben offenen Dübeltaschen mit einem Mörtel verschlossen.
Als Bettung der Platte wird eine dünne Schicht aus zementgebundenem Material eingebracht, das bei der Verlegung der Platten noch in einem plastischen Zustand ist. Als Alternative kommt teilweise auch Polyurethan als Bettungsmaterial zum Einsatz. Die exakte Positionierung des Fertigteils in der gewünschten Höhe gelingt mit dieser Technologie nicht immer (siehe [LANE 2011]).

Ein deutlicher Schwachpunkt dieser Technologie sind die nach oben hin offenen Dübelschlösser, da diese erfahrungsgemäß häufig Ausgangspunkt für nachfolgende Schäden sind. Zudem ist auch die Herstellung der Aussparungen für die Dübelschlösser in den vorhandenen Platten problematisch, da es beim Herausstemmen des Betons zu Beschädigungen der verbleibenden Platte kommen kann. Außerdem ist es schwierig, die Innenflächen der Aussparungen von dem beim Schneidvorgang entstehenden

Zementschlamm zu säubern. Damit kann kein guter Verbund zwischen der Dübelschlossfüllung und dem Plattenbeton gewährleistet werden.

Abbildung 3: Michigan Methode [TAY 2010]

Das Roman Stone System ähnelt dem System der Michigan Methode und wurde ebenfalls zur schnellen Reparatur geschädigter Betonplatten entwickelt. Die Dübelaussparungen werden mit Hilfe der DBR Technik (Dowel bar retrofit) nach dem Setzen der Platten hergestellt, indem die Aussparungen von oben sowohl in die existierende Fahrbahn als auch in die Fertigteilplatte geschnitten werden (Abbildung 4). Die planmäßig etwas dünner als die vorhandene Fahrbahn hergestellten Platten werden zuvor durch Unterpressen mit Polyurethan in der Höhe justiert.

Abbildung 4: Ausräumen der Aussparungen [BRODAL 2011]

Ähnlich wie bei der Michigan-Methode liegt, bedingt durch das nach oben offene Dübelschloss, die Verfüllung des Schlosses direkt im Fahrbahnbereich. Die Probleme, welche mit der nachträglichen Herstellung der Dübelschlösser verbunden sind, sind im Vergleich zur Michigan Methode noch gravierender, weil hier auch das Fertigteil betroffen ist.

Beim KWIK SLAB-System sind die Dübeltaschen ebenfalls nach oben offen, beinhalten aber die patentierten KWIK JOINT Stahlkoppler (Abbildung 5). Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, sind diese mit der Bewehrung der Betonfertigteilplatten verbunden. Die Öffnungen werden mit zementgebundenem Mörtel verschlossen.

Abbildung 5: KWIK JOINT [KWIKSLAB 2006]

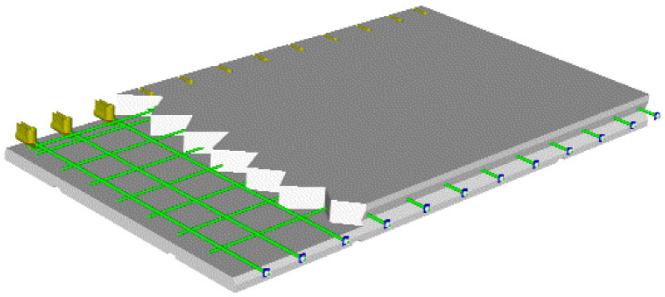

Abbildung 6: Anschnitt einer KWIK SLAB [KWIKSLAB 2006]

Zum Ausgleich an der Plattenunterseite und zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Bettung, wird bei diesem System, ähnlich wie beim Super-Slab®-System Verpressmaterial durch Öffnungen im Fertigteil eingebracht und über Kanäle an der Plattenunterseite verteilt.

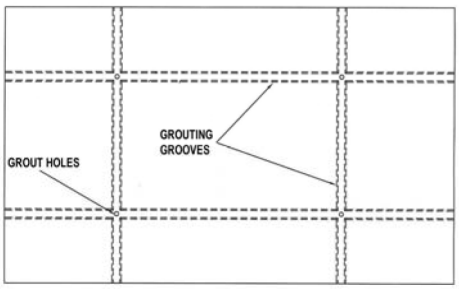

Abbildung 7: Lage der Löcher (GROUT HOLES) und Kanäle (GROUTING GROOVES an der Plattenunterseite) für den Bettungsmörtel [KWIKSLAB 2006]

Die aufgeführten Systeme haben bewiesen, dass sie prinzipiell geeignet sind, schnell und dauerhaft Fahrbahnschäden in Betondecken instand setzen zu können. Als eine Schwachstelle haben sich insbesondere nach oben offene Dübelkammern herausgestellt, bei denen das Ausbrechen des Reparaturmörtels einen erneuten Eingriff erforderlich macht. Auch können Stemm- und Schneidarbeiten in Bestandsplatten zu weiteren Beschädigungen führen.

Für die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Platten spielt insbesondere die Bettung eine entscheidende Rolle. Bei den gezeigten Systemen wurden für die Herstellung der Bettung verschiedene Möglichkeiten recherchiert.

2.2 National Deutschland / Österreich

In Deutschland konnten innerhalb von verschiedenen Forschungsarbeiten bereits mehrere Demonstratoren hergestellt und die dabei gesammelten Erfahrungen für weitere Anwendungsfälle genutzt werden.

Eingehendere Untersuchungen zu diesem Thema begannen in Deutschland etwa ab dem Jahr 2012 und werden seitdem fortwährend vorangetrieben. In Österreich fanden, soweit bekannt, bislang keine derartigen Untersuchungen statt.

Bei der Entwicklung eines Fertigteilsystems für den deutschen/österreichischen Raum war zu beachten, dass gegebenenfalls andere Anforderungen an das eingebaute Endprodukt gestellt werden, als es zum Beispiel bei den Fertigteil-Systemen in den USA der Fall ist. Hierbei sei insbesondere auf die Ebenheit der Oberfläche direkt nach Einbau der Fertigteile hingewiesen, die auch ohne nachträgliche Grinding-Maßnahmen gegeben sein soll.

Derzeitiges Ziel der Fertigteilbauweise in Deutschland ist es, diese zum einen für Betonflächenbefestigungen mit besonderen Ansprüchen zum Einsatz zu bringen und zum anderen größere Bereiche mit Hilfe von mehreren möglichst gleichen Fertigteilen herzustellen, um hier insbesondere die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Als vorteilhaft erweist sich dabei immer die qualitativ hochwertige Vorfertigung im Werk, wodurch lange Sperrzeiten vermieden werden können. Sind wie zum Beispiel im Bereich von Flughäfen und hochbelasteten Autobahnen nur kurze Zeitfenster für Maßnahmen an den Flächen möglich, stellen Fertigteile eine schnelle und dauerhafte Lösung dar.

In Deutschland existiert derzeit noch kein regelmäßig und großflächig angewendetes Fertigteilsystem.

Erste Untersuchungen zur Fertigteilbauweise wurden in Deutschland durchgeführt, um Betonabschnitte mit vielen Asphaltflickstellen, wie sie aufgrund der AKR-Problematik insbesondere im Osten Deutschlands anzutreffen waren, dauerhaft sanieren zu können. Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden daher im Jahr 2012 zwei Forschungsprojekte bearbeitet, die das Ziel hatten, die technischen Grundlagen der Fertigteiltechnologie zu untersuchen und im baupraktischen Einsatz zu testen. Im Forschungsprojekt “Instandsetzung partiell geschädigter Betonfahrbahndecken mittels Betonfertigteilen“ (FE 08.0217/2012/ERB, Auftragsforschung BASt) wurde schließlich die konstruktive Ausbildung des Fertigteils sowie die Anforderungen an die vorhandene Straßenkonstruktion festgelegt und anschließend der Bauablauf sowie die dauerhafte Einbettung des Betonfertigteils geplant.

Um erste Untersuchungen durchführen zu können, wurde ein Betonfertigteil hergestellt und in der Modellstraße der BASt eingebaut. Anhand dieses Fertigteils konnte die Dauerhaftigkeit durch Simulation der Verkehrsbelastung geprüft werden. Im Anschluss daran wurde ein Betonfertigteil auf einer untergeordneten Verkehrsfläche mit AKR-geschädigter Fahrbahnbefestigung eingebaut, um den Arbeitsaufwand unter realen Bedingungen erfassen und gegebenenfalls Optimierungen am Verfahren vornehmen zu können.

Im Zuge des Forschungsprojekts “Schaffung wissenschaftlicher Grundlagen für die Instandsetzungsmethode mittels Betonfertigteilen“ (FE 89.0279/2012, Auftragsforschung BASt) wurde insbesondere auf die technischen und technologischen Fragestellungen eingegangen, indem im Wesentlichen auf den Abbruch der vorhandenen Befestigung, auf Anker und Dübel, auf die Bettung und Fugen sowie auf Plattengeometrien und Transport und Montage eingegangen wurde. Zudem erfolgten Berechnungen zur Dimensionierung der Fertigteile. Im Ergebnis wurde gezeigt, dass das Fertigteil stets als Stahlbetonbauteil zu bemessen ist. Ein entsprechendes Dimensionierungsverfahren auf Grundlage der DIN EN 1992-1-1 und der RDO Beton 09 wurde innerhalb des Forschungsprojektes erarbeitet. In Folge dieser Untersuchungen wurde im Bereich eines Fugenkreuzes ein quadratisches Fertigteil mit abferundeten Ecken eingebaut und in der Folgezeit (bis zum Ausbau der Betonfahrbahn) messtechnisch (z. B. FWD-Messungen) überwacht. Zur Herstellung der notwendigen Aussparung in der Betondecke mussten zunächst vier Kernbohrungen sowie weitere Schnitte und Sicherheitsschnitte ausgeführt werden. Dadurch ist die benötigte Zeit für diesen Arbeitsschritt so groß, dass keine großflächige Anwendbarkeit gegeben sein kann.

Abbildung 8: quadratischs Fertigteil mit abgerundeten Ecken im Fugenkreuzbereich

In dem darauf folgenden Forschungsvorhaben „Weiterentwicklung und Erweiterung der theoretischen Grundlagen für die Instandsetzungsmethode mittels Betonfertigteilen“ (FE 89.0283/2013, Auftragsforschung BASt) sollte schließlich untersucht werden, welchen Einfluss

der Einsatz von Fertigteilen in größeren zusammenhängenden Abschnitten auf das Gesamtgefüge der Fahrbahn ausübt. Dabei sollte insbesondere auf die Dimensionierung, die Herstellung und den Einbau kreisrunder Fertigteile eingegangen werden. Ziel war unter anderem die Erarbeitung einer effizienteren Einbautechnologie und damit die Schaffung der Voraussetzung für eine Anwendung der Fertigteiltechnologie in größerem Maßstab. Dafür wurde im Auftrag der BASt ein spezielles Kernbohrgerät entwickelt und getestet, mit dem es möglich ist, runde Aussparungen von 1,65 m bzw. 1,95 m in einer Betondecke herzustellen. Diese Untersuchungen endeten schließlich mit einem Großversuch auf der BAB A9, bei dem jeweils 15 Fertigteile auf beiden Richtungsfahrbahnen (mit Ø 192 cm und Ø 162 cm) eingebaut wurden. Für die Arbeiten standen pro Richtungsfahrbahn jeweils zwei Nächte zur Verfügung, in denen die Fertigteile auch erfolgreich eingebaut werden konnten.

Um den Vorteil der Fertigteiltechnologie über die Erhaltung hinaus nutzen zu können, wurde innerhalb des Forschungsprojekt FE 08.0236/2015/ERB –„Einsatz von Fertigteilen für die dauerhafte Instandsetzung sowie die Schaffung von Entspannungsbereichen an Betonfahrbahndecken“ zunächst theoretisch und schließlich in Praxisversuchen untersucht, inwieweit sich Entspannungs- bzw. Dehnbereiche mit dem Einbau von Fertigteilen in einer Betondecke herstellen lassen. Dabei wurden insgesamt drei Anwendungsfälle betrachtet. Zunächst sollte eine dauerhafte Lösung gefunden werden, um die im Zuge der Hitzeschadenproblematik hergestellten provisorischen Asphaltstreifen mit Hilfe von Fertigteilen ersetzen zu können. Dabei konnte von einer spannungsfreien Betondecke ausgegangen werden. Durch Rückschnitte in die bestehende Betonfahrbahn wurde der 1,0 m lange und über die gesamte Breite der Fahrbahn verlaufende Asphaltstreifen mit insgesamt 5 Fertigteilen mit einer Länge von 1,50 m in zwei Bauphasen ersetzt. Um auch weitere Dehnungen der Betondecke schadlos aufnehmen zu können, wurde an beiden Seiten am Übergang zum Bestand eine verdübelte Raumfuge geschaffen. Im Anwendungsfall 2 war vorgesehen, die Fertigteile in eine nicht spannungsreduzierten Betondecke einzubauen. Der Einbau mehrerer Raumfugen sollte die temperaturbedingte horizontale Ausdehnung der Betondecke ermöglichen. Dabei wurden zusätzlich zu den beiden Raumfugen zum Bestand hin noch zwei weitere Raumfugen hergestellt, die bereits ab Werk in den Fertigteilen integriert waren. Die vor Ort angetroffenen Randbedingungen führten jedoch dazu, dass keine dauerhafte Konstruktion hergestellt werden konnte und eine Erneuerung erforderlich wurde. Dafür wurde zunächst ein Asphaltstreifen eingebaut. Um die Lebensdauer der angrenzenden Platten aufgrund der freien Plattenränder nicht weiter negativ zu beeinflussen, wurden

innerhalb dieses Streifens insgesamt 5 Fertigteile mit einer Länge von ~3,0 m eingebaut. Raumfugen wurden diesmal nur zum Bestand hin eingebaut, da ein Großteil der Ausdehnung der Betondecke zum Asphaltstreifen hin bereits erfolgt war. Der Einbau erfolgte in zwei Bauphasen unter halbseitiger Sperrung und konnte innerhalb eines Tages abgeschlossen werden.

Innerhalb des Forschungsvorhabens sollte schließlich im dritten Anwendungsfall die Anwendbarkeit der Fertigteiltechnologie in Endbereichen im Zuge einer Neubaumaßnahme eingehender betrachtet werden. Entgegen der herkömmlichen Bauweise konnte somit eine qualitativ hochwertige Herstellung von Betonbereichen mit verdübelten Raumfugen sichergestellt werden. In allen eingebauten Fertigteilvarianten wurden Messsysteme integriert bzw. an den Fertigteilen angebracht, die es ermöglichen, die Fugenbewegungen sowie die Betondeckentemperaturen in mehreren Horizonten zu erfassen. Zudem wurden zur Beurteilung der Tragfähigkeit FWD-Messungen vor und nach dem Einbau der Fertigteile durchgeführt.

Neben den beschriebenen Forschungsvorhaben wurde die Fertigteiltechnik auch immer wieder zur Sanierung von schadhaften Bereichen eingesetzt. Neben Anwendungsfällen auf Autobahnen, bei denen auch mehrere Platten im Hauptfahrstreifen hintereinander eingebaut wurden, kam zum Ende des Jahres 2016 die Fertigteiltechnologie auch im Vorfeldbereich des Flughafens München zum Einsatz. Besonderheit war, dass das Fertigteil bereits ab Werk Einbauteile zur Befeuerung und zum elektrischen Anschluss selbiger enthielt. Dazu war es im Vorfeld notwendig, die genaue Lage der Einbauteile festzustellen und diese bei Erstellen der Pläne sowie bei der Herstellung im Werk genau zu beachten.

Abbildung 9: Fertigteil mit integrierten Bauteilen zur Befeuerung am Flughafen in München

Im Zeitraum von 2015 bis 2018 lief das Verbundforschungsvorhaben „Hybrides Ertüchtigungsverfahren für die Straßenerhaltung unter Einsatz neuartiger Werkstoffe –

HESTER“ [HESTER 2018] im Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Innerhalb des Projektes sollte ein Fertigteilsystem erarbeitet werden, dass insbesondere auf die innerstädtisch vorhandenen Randbedingungen abzielt. Mit Hilfe der Ergebnisse der im Projekt durchgeführten Untersuchungen wurden im Jahr 2017 zwei Fertigteilbaustellen realisiert, bei denen verschiedene Kopplungs- und Höhenjustierelemente erprobt werden konnten. Unter anderem wurde auf dem Gelände der duraBASt, dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der BASt, eine Fertigteilreihe von insgesamt acht Fertigteilen ~2,50 m x 3,00 m erfolgreich eingebaut. Hierbei kam erstmals ein Höhenjustiersystem zur Anwendung, dass es ermöglicht, die Platten unabhängig vom Bestand (bisher über Traversen) ausrichten zu können.

Abbildung 10: verlegte Fertigteilplatten auf dem duraBASt- Gelände [HESTER 2018]

Im selben Projekt folgte schließlich im August 2017 der Einbau von Fertigteilen im Bereich einer Berliner Bushaltestelle. Der Fahrbahnbereich der Haltestelle, der mit Fertigteilen versehen werden sollte, war ca. 30 m lang und 3,0 m breit. Besonderheit war im diesem Fall, dass der gesamte Haltestellenbereich inklusive der Nebenanlagen im Zuge der Bauarbeiten ebenfalls erneuert werden sollte und sich in der Fläche ein Schacht befand, der bei der Planung der Fertigteile berücksichtigt werden musste. Innerhalb eines Tages wurden insgesamt 13 Fertigteile mit den Abmessungen von 2,40 m x 3,00 m eingebaut, lage- und höhenmäßig ausgerichtet, mit Silikatharz unterfüllt und der Fugenverschluss hergestellt. Es zeigte sich, dass auch unter realen Bedingungen der Einbau der Fertigteile innerhalb eines Tages erfolgen kann.

Abbildung 11: Fertigteilreihe im Bereich einer Bushaltestelle in Berlin Marzahn [HESTER 2018]

Eines der Ziele des Projektes war es, ein Höhenjustiersystem zu entwerfen und zu erproben, das die Funktionen Transport, Höhenjustierung und Verpressöffnung miteinander vereint. Zudem sollte dieses Element nur eine möglichst kleine „Störung“ in der Oberfläche des Fertigteiles hervorrufen. Ein solches System wurde vom Fertigteilhersteller erarbeitet und konnte schließlich in einem weiteren Demonstrator getestet werden. Dafür wurde eine weitere Bushaltestelle mit Fertigteilen analog zur Vorgehensweise des ersten Demonstrators instandgesetzt. Neben den neuen Elementen zur Höhenjustierung kam auch eine geänderte Geometrie zum Einsatz. Die Fertigteile waren an den Querfugen gekrümmt, um die Geräuschentwicklung bei schnellen Überfahrten zu reduzieren. Von besonderer Bedeutung ist diese Variante vor allem für Bushaltestellen, die am Fahrbahnrand liegen und vom übrigen Verkehr auch überfahren werden. Ein Nachweis der Wirkungsweise steht jedoch noch aus.
Der Einbau der Fertigteile konnte an einem Tag abgeschlossen werden.

Abbildung 12: gekrümmte Fertigteile im Bereich einer Bushaltestelle in Berlin Marzahn [HESTER 2018]

Im November 2017 wurden auf dem Gelände der duraBASt 12 weitere Fertigteile verlegt. Dies erfolgte innerhalb eines Forschungsprojektes der BASt [FE 08.0253/2017]. Dabei war das Bestreben, das System zur Höhenjustierung weiter zu entwickeln, um möglichst wenige und dabei kleine Öffnungen an den Oberseiten der Fertigteile zu erhalten. Zudem wurde forciert, möglichst geringe und einheitliche Fugenbreiten zu erhalten. Innerhalb des Forschungsvorhabens werden die Platten mit dem MLS 30 der BASt belastet und anschließende Untersuchungen (Bohrkernentnahmen, FWD-Messungen, etc.) durchgeführt.
Basierend auf den Ergebnissen aus den Forschungsvorhaben wurden im Jahr 2018 in Berlin noch drei weitere Bushaltestellen mit Hilfe der Fertigteilbauweise erneuert. Dies diente neben dem Testen kleinerer Weiterentwicklungen auch zur Festigung der Arbeitsabläufe, was wiederrum zu einer Beschleunigung der Baumaßnahme führte. Im Endergebnis war es möglich, auch längere Bushaltestellenbereiche (bis 50 m) innerhalb eines Tages mit Fertigteilen zu erneuern. Im Rahmen des „13th International Symposium on Concrete Roads", welches im Juni 2018 in Berlin stattfand, konnte eine dieser Baustellen am Einbautag besichtigt werden.

3 STAND DER BAUTECHNOLOGIE

3.1 Ausbau alter Betonschichten

Soll die Fertigteiltechnologie als Sanierungs- bzw. Instandsetzungsmethode zum Einsatz kommen, ist es unabdingbar, den geschädigten Betonbereich zunächst mit geeigneten Maßnahmen zu entfernen.

Bei rechteckigen Aussparungen werden mit der Hilfe der geeigneten Werkzeuge und Maschinen (Schneidgeräte mit Diamantschneidblättern) Schnitte an den Außenkanten der Aussparungen hergestellt, die die gesamte Deckendicke umfassen. Zudem werden Sicherheitsschnitte im Abstand von einigen Zentimetern zu den Randschnitten angelegt, um die neu entstandenen Kanten beim Ausbau des Altbetons nicht zu beschädigen. Um insbesondere beim Ausbau von Teilplatten nicht in die angrenzenden Bereiche einzuschneiden, verbleiben technologiebedingt Zwickelbereiche im unteren Bereich der Betondecke, deren Entfernung zeitaufwendig ist und die Substanz der Bestandsplatte gefährdet (Stemmarbeiten).

Die folgende Abbildung zeigt die Vorgehensweise beim Ausbau der Betondecke für quadratische Fertigteile mit abgerundeten Ecken. Hierbei ist es erforderlich, vier Kernbohrungen (siehe Abbildung 13) vorzunehmen, um diese dann als Ausgangspunkte für weitere Schnitte zu erhalten.

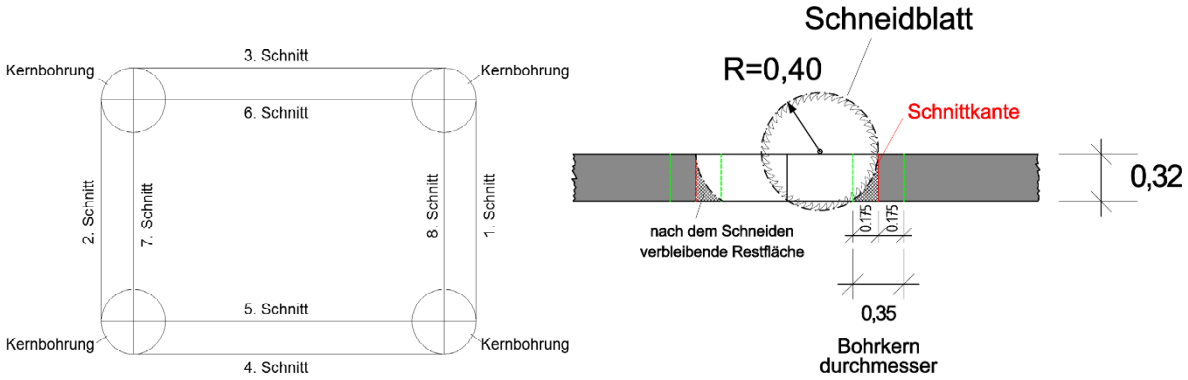

Abbildung 13: Beispiel Schnittführung

Abbildung 14: Betonbrücken (Schnittbereich ist deutlich zu erkennen)

Beim Ausbau größerer Bereiche sind mehrere Teilungsschnitte erforderlich, um die auszubauenden Teilstücke hinsichtlich der Abmessungen und des Gewichts zu beschränken und sie mit Hilfe der auf der Baustelle vorhandenen Maschinen und Geräte ausheben zu können. Durch die Unterteilung wird es möglich, die Teilplatten einzeln mit Hülsen und Einschraubösen (Abbildung 15) zu versehen und auszuheben.

Abbildung 15: Aufteilen der auszubauenden Betonfläche und Anbringen von Ösen

Für runde Aussparungen wurde im Zuge des Forschungsprojekts FE 89.0283/2013 - „Weiterentwicklung und Erweiterung der theoretischen Grundlagen für die Instandsetzungsmethode mittels Betonfertigteilen“ der BASt ein spezielles Kernbohrgerät und die zugehörigen Bohrkronen entwickelt. Somit können kreisförmige Schnitte mit einem Durchmesser von 1,65 bzw. 1,95 m sicher realisiert werden. Betonbrücken bleiben somit nicht zurück. Zudem können die Aussparungen zielsicher in relativ kurzer Zeit hergestellt werden.

Abbildung 16: Bohrstelle Ø1950, BAB A14

Abbildung 17: Bohrung Ø1950

Abbildung 18: zum Ausheben vorbereitete Platte Ø 1950

Abbildung 19: Ausheben der ausgebohrten Eckstücke

Nach dem Schneiden werden in jedes Plattenteil Löcher gebohrt, Ankerhülsen eingeschlagen und Ösen eingeschraubt (Abbildung 18). Im günstigsten Fall lassen sich die Plattenteile somit im Anschluss mit Hilfe eines Baggers aus der vorhandenen Position herausheben.

Ist der Verbund zwischen Betondecke und Tragschicht allerdings so stark, dass ein Ausheben der Plattenteile nicht möglich ist, muss der Betonbereich aufwendig mit dem Bohrhammer zerschlagen und die Einzelteile entfernt werden. In diesem Fall verlängert sich die benötigte Zeitspanne erheblich und kann je nach Größe des zu entfernenden Bereichs zu maßgeblichen Verzögerungen im Gesamtbauablauf führen. Da Bohrkernentnahmen immer nur einen punktuellen Eindruck vermitteln können, ist eine konkrete Aussage, ob der Verbund im gesamten Bereich vorhanden oder nicht mehr vorhanden ist, nicht möglich. Mit der vorhandenen Technologie wird es also in jedem Fall notwendig sein, geeignetes Gerät auf der Baustelle vorzuhalten und einen eventuellen Zeitverzug einzuplanen. Die Technologie für das Heraustrennen der geschädigten Plattenbereiche ist von entscheidender Bedeutung für die Effizienz des gesamten Verfahrens.

Beim Ausbau geschädigter Betonbereiche kam es zudem in der Vergangenheit immer wieder zu Beschädigungen in der benachbarten Betonfahrbahn. Diese mussten durch zusätzliche Arbeiten mit Betonersatzsystemen wieder saniert werden und stellen im weiteren Verlauf eine Schwachstelle dar. Nicht selten weisen diese Stellen nur eine kurze Lebenszeit auf oder führen zu Sekundärschäden. Aus diesem Grund ist bei dem Ausbau der alten Betonschichten auf den Schutz der angrenzenden Fahrbahn vor Beschädigungen zu achten.

3.2 Untergrundprofilierung

Das Entfernen überschüssigen Tragschichtmaterials hängt im Wesentlichen von der Art der Tragschicht ab. So ist Material einer ungebundenen Tragschicht einfacher zu entfernen als das von gebundenen Tragschichten. Zudem ist auch von Bedeutung, inwiefern ein Verbund zwischen Betondecke und Tragschicht vorliegt. So kann es geschehen, dass ein Teil der Tragschicht an der Betondecke anhaftet und beim Entfernen dieser mit beseitigt wird. Dies führt in den meisten Fällen dazu, dass der Hohlraum unter den Fertigteilen zu groß wird (siehe 7.1.2).

Für das Entfernen von überschüssigen Tragschichtmaterial stehen momentan nur die bislang bekannten Methoden zu Verfügung.

Bei den bisherigen Maßnahmen wurden im Vorfeld Bohrkernuntersuchungen durchgeführt und die Fertigteildicken entsprechend dünner als die vorhandene Betondecke ausgelegt. Dadurch war ein Entfernen von Tragschichtmaterial in größerem Umfang bislang nicht notwendig. Bei der Verwendung der punktartigen Höhenjustiersysteme ist es jedoch notwendig, eine Stahlplatte als Unterlage auf die vorhandene Tragschicht aufzulegen, um die Auflagefläche für das Element zu vergrößern und ein Einsinken desselben in der Tragschicht zu verhindern. Da diese Platte selbst eine gewisse Stärke aufweist, der Hohlraum unter der Platte aber so schmal wie möglich gehalten werden soll, war es bei vorangegangenen Maßnahmen teilweise erforderlich, die Tragschicht im Bereich der Stahlplatte auszustemmen. In anderen Fällen war bei Schottertragschichten darauf zu achten, dass sich größere Gesteinskörner nicht weiter im Baufeld verteilen, da diese den weiteren Bauablauf behindern und somit verzögern könnten.

Entgegen dem Abtragen der Tragschicht kann es auch notwendig werden, Material vor dem Einbau der Fertigteile aufzufüllen. Dies erfolgt vor allem unter der Maßgabe, den Raum unter den Fertigteilen so gering wie möglich zu halten, da das derzeit eingesetzte Silikatharz einen Hauptkostenfaktor im Rahmen der Technologie darstellt. Aus diesem Grund ist der Einsatz auf

ein Minimum zu begrenzen. Daher ist es notwendig, größere Hohlräume, vor Verlegung der Fertigteile aufzufüllen. Dabei sind größere Hohlräume insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Dicke der Betondecke, die im Zuge der Bauarbeiten beseitigt wurde, von den Erkenntnissen aus den Bohrkernentnahmen abweicht, keine Bohrkernentnahmen im Vorfeld durchgeführt wurden oder Tragschichtmaterial an der ausgebauten Betondecke anhaftet (siehe Abbildung 20) und somit mit der Betondecke beseitigt wurde.

Abbildung 20: an der Betondecke anhaftendes Tragschichtmaterial

In der Vergangenheit wurden derartige Fehlstellen unter anderem durch Einbringen von Splitt und Verfüllen mit Silikatharz (siehe Abbildung 21) vor dem Fertigteileinbau ausgeglichen.

Abbildung 21: Auffüllen von Fehlstellen mit Splitt und Füllen der Hohlräume mit Silikatharz

Auch wurden Fehlstellen bei einer Baumaßnahme durch Auffüllen mit Sand und Einbringen von Siliaktharz (Abbildung 22) ausgeglichen.

Abbildung 22: Auffüllen von Fehlstellen mit Sand und Füllen mit Silikatharz

Kleinere Fehlstellen wurden vor dem Fertigteileinbau auch direkt nur mit Silikatharz aufgefüllt. Dies führt zwar nicht zu einer Kostenersparnis, verringert jedoch die Bearbeitungszeit zum Einbringen des Silikatharzes unter die Platten über die Verpressöffnungen.

3.3 Geometrien/Abmessungen/Einbautoleranzen

Die Fertigteilgeometrien richteten sich bislang maßgeblich nach den vorhandenen Plattengeoemtrien bzw. dem zu beseitigenden Schaden.

Bei Sanierungen kamen bislang zumeist rechteckige Fertigteile zum Einsatz. Berücksichtigt werden mussten dabei insbesondere die vorhandenen Quer- und Längsfugen, die wenn möglich nicht unterbrochen werden sollten. Aus diesem Grund sind Geometrie und Abmessungen der Fertigteile im Sanierungsfall maßgeblich von der instand zu setzenden Fläche abhängig. Die für die Fertigteile erforderlichen Abmessungen wurden in jedem Fall im Vorfeld ermittelt und die Fertigteile entsprechend dimensioniert. Bei zu großen Plattenabmessungen (meist hinsichtlich des Transports) erfolgte eine Unterteilung in Einzelplatten. Bei der Festlegung der Abmessungen der Platten ist in jedem Fall die resultierende Fugenbreite zu berücksichtigen. Dabei ist es wünschenswert, möglichst geringe Fugenspaltbreiten zu erhalten. Allerdings dient der Fugenspalt während des Einbaus auch zur Kontrolle, inwieweit das Silikatharz bereits aufgestiegen ist, beziehungsweise als zusätzlicher Füllspalt, in den das Silikatharz eingebracht werden kann.

Bei Schäden im Fugenkreuzbereich kamen, wie bereits geschildert, bereits mehrmals runde Fertigteile zum Einsatz. Aufgrund der vorhandenen Bohrkronen (Ø165 und Ø195 cm) sind hierbei nur zwei verschiedene Durchmesser möglich. Bislang wurden die Fertigteile dementsprechend mit einem Ø162 cm und Ø192 cm ausgeführt. Somit ergibt sich für die umlaufende Fuge eine Breite von ca. 1,5 cm.

Beim Neubau von Bushaltestellenbereichen kamen bereits von der rechteckigen Form abweichende Geometrien zur Anwendung. Hierbei wurden die Fertigteile an den Querfugen gekrümmt ausgebildet, um die Geräuschentwicklung bei der Überfahrt zu reduzieren.

3.4 Konstruktive Anbindung an den angrenzenden Bestand

Eine Übertragung der Querkräfte über die Fuge hinweg erhöht die Dauerhaftigkeit des Fahrbahnsystems wesentlich. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass eine möglichst effiziente Querkraftübertragung auch über die Montagefugen von Fertigteilsystemen sichergestellt wird.

Bei allen bislang durchgeführten Baumaßnahmen, bei denen Fertigteile in eine bestehende Betondecke eingebaut wurden, erfolgte die Anbindung an den Bestand mittels eingeklebter Dübel in der Bestandsfahrbahn und mit nach unten offenen Dübelkammern in den Fertigteilen, die die Dübel aufnehmen (Abbildung 23). Die Aussparungen werden im Zuge der Bauarbeiten durch das aufsteigende Silikatharz verfüllt. Nach dem Verpressen der Aussparungen ist somit eine Fugenverdübelung hergestellt, welche weitgehend dem Zustand in einer traditionell hergestellten Betonfahrbahn entspricht. Die nach unten offene Dübelkammer stellt im Randbereich eine signifikante Schwächung der Platte dar, was den Einsatz von Bewehrung im Fertigteil erforderlich macht.

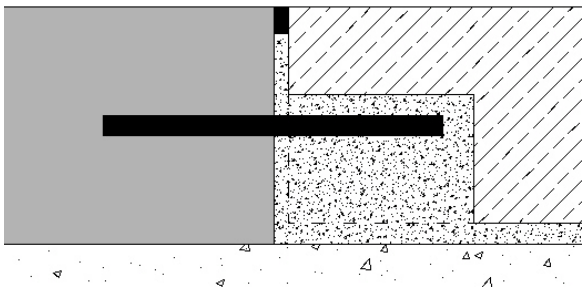

Abbildung 23: Dübelverbindung mit nach unten offener Dübelkammer

Untersuchungen im Projekt [HESTER 2018] haben gezeigt, dass mit dieser Variante anfänglich eine wirksame Querkraftübertragung ermöglicht wird und diese zu einer wesentlichen Reduzierung der maximalen Spannungen in der belasteten Platte führt. Zudem hat sich gezeigt, dass die Größe des in den RDO Beton angegebenen Dübelfaktors experimentell bestätigt werden konnte. Die grundsätzliche Brauchbarkeit der Konstruktion konnte somit in den Versuchen bestätigt werden.

Weitere Kopplungsvarianten wurden im Projekt [HESTER 2018] und im [FE 08.0253/2017] untersucht. Dabei wurde auf die Kopplung der Fertigteile untereinander eingegangen. Weitere Untersuchungen und Tests zur konstruktiven Anbindung der Fertigteile an den Bestand sind nicht bekannt.

3.5 Transport und Einbau der Fertigteile

Der Transport sowie der Einbau der Fertigteile erfolgt im Regelfall über die in das Fertigteil integrierten Transportanker. Der Einsatz dieser Transportanker ist jedoch nur im Rahmen ihrer bauaufsichtlichen Zulassung möglich. Dies bedeutet im Regelfall, dass eine Anwendung bei unbewehrten Platten nicht möglich ist.

Auf der Baustelle bieten sie eine gewisse Handhabungssicherheit und haben sich bei vielen Einsätzen (bewehrte Fertigteile) bereits bewährt. Hinzu kommt, dass im Zuge der Entwicklung Systeme entwickelt wurden, bei denen die Transportankerfunktion noch ergänzt wurde. Hier ist das System HESTER-Kombi [HESTER 2018] zu nennen, dass es ermöglicht, über ein Einbauteil die Funktionen Transport, Höhenjustierung und Unterpresskanal zu vereinen.

Durch den Einsatz von Transportankern oder neuartigen Einbauteilen kommt es zu einer „Störung“ in der Oberfläche, die im Anschluss verschlossen werden muss. Hier war es das Ziel, diese in Anzahl und Durchmesser so gering wie möglich zu halten.

Eine mögliche Alternative stellt das Vakuumhebeverfahren dar. Durch das Erzeugen eines Vakuums ist der entstehende Unterdruck kleiner als der Umgebungsdruck, so dass Objekte angehoben und transportiert werden können. Die flexiblen Dichtungen an der Saugplatte und die ständige Regulierung des Unterdrucks ermöglichen es auch bei rauen Oberflächen eine sichere Handhabung der Bauteile zu gewährleisten. So sind z. B. Waschbetonoberflächen kein Hindernis für den Einsatz der Vakuumtechnik. Durch das Bereitstellen einer geeigneten Energieversorgung ist der Einsatz von Vakuumhebesystemen auch auf der Baustelle möglich. Es ist aber zu beachten, dass die Saugplatte einen bestimmten Platzbedarf auf der Plattenoberseite hat.

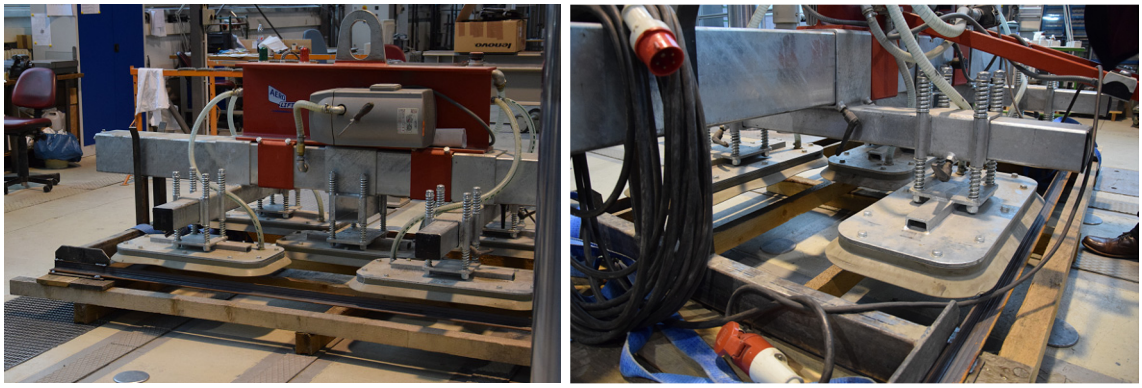

Abbildung 24: Vakuumhebegerät

Die Vakuumtechnologie kam jedoch bislang nicht außerhalb des Labors zu Anwendung.
Eine weitere Möglichkeit, die Fertigteile transportieren und einheben zu können, besteht durch die Verwendung von Hochleistungsgurten (siehe Abbildung 25). Dafür müssen an der Unterseite des Fertigteils entsprechende Gurtführungskanäle vorgesehen werden, in denen der Gurt verlaufen kann. Diese Variante wurde bereits bei einigen Baumaßnahmen, die im Rahmen des Forschungsprojektes HESTER [HESTER 2018] durchgeführt wurden, getestet.
Es konnte festgestellt werden, dass die Verlegung mit Hilfe der Gurte prinzipiell gut funktioniert, die Feinausrichtung jedoch etwas erschwert ist. Sind zum Beispiel die Gurte erst einmal entfernt, sind größere Bewegungen des Fertigteils nicht mehr möglich. Die prinzipielle Anwendbarkeit konnte jedoch nachgewiesen werden. Es ist demnach möglich, auf Transportanker für den Zweck der Verlegung zu verzichten, wenn ein entsprechendes davon unabhängiges Höhenjustiersystem existiert.

Abbildung 25: Einheben der Fertigteile mit Hilfe von Hochleistungsgurten [HESTER 2018]

3.6 Unterpressen der Fertigteile

Nach dem Verlegen der Fertigteile werden diese mit Silikatharz unterpresst, um eine vollflächige Auflagerung der Platte zu gewährleisten. Hierfür müssen im Fertigteil entsprechende Verpressöffnungen vorgesehen werden. Zu Beginn der Fertigteilentwicklung wurden diese als separate Öffnungen im Fertigteil vorgesehen und hergestellt. Nach dem Verlegen der Fertigteilplatte wurden sogenannte Packer (siehe Abbildung 26) eingesetzt, auf denen die Lanzen der Unterpresstechnik aufgesetzt werden konnten.

Abbildung 26: Verpressöffnungen mit Packern

Nach dem Verpressen wurden die oberen Teile dieser Packer abgeschlagen, die unteren verbleiben aufgrund der Haftung des Silikatharzes in der Platte. Weitere Maßnahmen wurden nicht durchgeführt.

Im Laufe der Untersuchungen wurden die Lanzen insoweit modifiziert, dass der Einsatz von Packern überflüssig wurde. Die Lanzen können seither direkt in die Verpressöffnungen eingesetzt werden. Lanzendurchmesser und Verpressöffnungen wurden hierfür entsprechend aufeinander abgestimmt.

Zudem ist es seit kurzer Zeit auch möglich, die Fertigteile über die Transport- und Höhenjustieröffnungen (HESTER-Kombi) mit Silikatharz zu unterpressen. Zusätzliche Verpressöffnungen sind nur dann erforderlich, wenn es sich um große Plattenabmessungen handelt.

Verbesserungspotenziale beim Unterfüllvorgangs sind weniger beim Vorgang an sich zu finden, sondern eher beim Schutz der Oberfläche vor auslaufendem bzw. sich ausbreitendem Silikatharz, da dieses unansehnliche Flecken auf der Betondecke hinterlässt bzw. nur schwer ohne Beschädigung zu entfernen ist. Getestet wurden in diesem Zusammenhang bereits mehrere Varianten. Die Oberseiten der Fertigteile werden um die Verpressöffnungen herum mit Folie abgeklebt, um einen Kontakt zwischen austretendem Silikatharz und Betonoberfläche zu verhindern. Hierbei kommt es aber regelmäßig dazu, dass sich das Siliaktharz unter der Folie ausbreitet und nach dem Erhärten wieder beseitigt werden muss. Bei der Verwendung des Systems HESTER-Kombi konnten bislang gute Erfahrungen mit einer Schutzmatte gemacht werden, die über die nach oben stehenden Bolzen gelegt wird. Ein Kontakt zwischen austretendem Silkatharz und Betonoberfläche kann somit gut unterbunden werden.

3.7 Bewertung der Bautechnologie

Die bislang eingesetzten Verfahren und Vorgehensweisen entsprechen im Wesentlichen dem Stand der Technik. Bei der Entwicklung neuer Technologien ist immer zu berücksichtigen, dass sie auf der Baustelle praktikabel, d. h. schnell und einfach unter den gegebenen Randbedingungen anwendbar sein müssen. Verfahren, die eine hohe Präzision erfordern, sind aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit ebenso schlecht einsetzbar wie Verfahren, die überwiegend Handarbeit bedürfen. Insbesondere im Hinblick auf die Kopplung zum Bestand sind alternative Vorgehensweisen zu entwickeln. Die bisher zur Anwendung kommende Bautechnologie hat sich beim Einbau im Rahmen mehrerer Fertigteilbaustellen bewährt, so dass sich bereits Arbeitsroutinen entwickeln konnten. Zu beachten ist dabei aber, dass die ausführenden Firmen oftmals auf Stammpersonal zurückgreifen. Die Bautechnologie sollte sich daher dahingehend entwickeln, Prozesse zu vereinfachen, um eine breite Anwendbarkeit gewährleisten zu können.

Auch ist die Fertigteiltechnologie derzeit für umfassendere Instandsetzungsmaßnahmen nicht geeignet, da große Mengen an Silikatharz benötigt werden würden. Daher ist die Fertigteiltechnologie bislang nur für kleinere, abgrenzbare Bereiche (bis zu mehreren Platten hintereinander möglich) anwendbar.

3.8 Detektion von Problemstellen/Verbesserungspotenzial

In der Vergangenheit wurde eine Vielzahl von Punkten festgestellt, in denen der Einsatz von Fertigteilen noch verbessert werden kann. Vieles davon wurde in den vorherigen Punkten bereits allgemein angesprochen.

Beim Ausbau von defekten Platten wird man immer wieder von den vor Ort herrschenden Randbedingungen überrascht. Auch wenn im Voraus Bohrkerne gezogen wurden, um Aufschluss über die Deckenstärke und den Verbund zum Untergrund zu erhalten, sind diese immer nur punktuell und können knapp daneben bereits stark variieren.

Der Verbund zwischen Beton und Untergrund stellt oft eine Herausforderung dar, weil hierdurch das erschütterungsfreie Herausheben der Betonplatte verhindert wird. In solch einem Fall muss oftmals gestemmt werden und der Untergrund kann darunter leiden. Es kommt oftmals auch dazu, dass Teile des Untergrundes mit dem Beton herausgehoben werden. Die hierdurch verursachten Fehlstellen in der Unterlage müssen in geeigneter Form wieder aufgefüllt werden.

Durch Höhenjustiersysteme werden in unterschiedlichem Umfang (Anzahl, Größe, Lage usw.) Öffnungen an der Oberfläche erforderlich. Diese wirken sich optisch aus und können unter Umständen auch Schwachstellen im Fertigteil darstellen.

Auch bei einer genauen Ausrichtung der Fertigteile kommt es zu ungleichmäßigen Fugenbreiten. Eine nur leichte Verdrehung der Fertigteile kann dazu führen, dass eine Fuge an einem Ende praktisch nicht vorhanden ist und am anderen Ende mehr als 10 mm aufweist. Je nach Höhenjustierung können solche Verdrehungen auch hierdurch erzeugt werden, dass eine vor der Justierung gut ausgerichtete Platte nachher verdreht ist und somit die Fugenmaße nicht mehr stimmen. Hierdurch kann ein Nachschneiden der Fugen vor dem Verfüllen erforderlich werden. Der Einsatz von Fugenprofilen kann kaum realisiert werden, da hier die Fuge auf das breiteste Maß nachgeschnitten werden muss, was negative Nebenwirkungen insbesondere bzgl. der Lärmemission bei Überrollung mit sich bringt.

Ziel ist es daher, die Fugenbreiten möglichst schmal zu halten. Um gewisse Abstände einhalten zu können, kamen in der Vergangenheit immer wieder Holzkeile zum Einsatz. Diese führten zu Abplatzungen des jungen Betons der Fertigteile an der Oberfläche. Daher ist es in jedem Fall notwendig, einen Kantenschutz während der Einbauarbeiten vorzusehen. Erste positive Erfahrungen konnten mit der Anwendung von Winkelblechen gemacht werden. Auf einen konsequenten Einsatz auf der Baustelle ist dabei zu achten.

Auch das Alter der Fertigteile auf der Baustelle ist entscheidend. Fertigteile weisen zwar generell eine hohe Frühfestigkeit auf, um im Werk ein schnelles Ausschalen zu ermöglichen,

für die Belastungen im Rahmen von Transport und Einbau ist es jedoch vorteilhaft, Zeit zur Nacherhärtung einzukalkulieren.

4 SCHADENSARTEN UND FERTIGTEILLÖSUNGEN

4.1 Schadensarten

Bei der Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung wird für Fahrbahndecken von einem Nutzungszeitraum von 30 Jahren ausgegangen. Material- und belastungsbedingt können jedoch im Laufe der Zeit immer häufiger verschiedene Schäden auftreten. Diese wurden bereits vielfach in Schadenskatalogen erfasst, um zum Beispiel die Randbedingungen für Zustandserfassungen festlegen zu können. Bei Betondecken hauptsächlich auftretende Schäden sind:

- Risse (Längs-, Quer-, Schrägrisse)
- Schadhafte Fugenbereiche (Kantenschäden, Rissbildungen, Abplatzungen)
- Schadhafter Fugenverschluss
- Abplatzungen an der Oberfläche.

Eine ausführliche Auflistung möglicher Schäden ist im Punkt 4.3 aufgeführt. Zudem ist jedem Schaden zugeordnet, ob und welcher Art eine Instandsetzung mit Fertigteilen möglich ist.

4.2 Voraussetzungen für Fertigteileinbau

Eine entscheidende Voraussetzung für den Einbau von Fertigteilen ist die Abgrenzung des geschädigten Bereiches. Zudem sind Lage und Ausprägung der Schädigung zu erfassen, um geeignete Fertigteilgeometrien festlegen zu können. Weiterhin ist die Kenntnis des tatsächlich vorhandenen Aufbaus von Vorteil, da die Fertigteildicken entsprechend abgestimmt werden können. Dies hat zur Folge, dass insbesondere Arbeiten zur Vorbereitung des Untergrundes entfallen können bzw. nur in geringerem Umfang ausgeführt werden müssen, was wiederrum zu einer Beschleunigung der Baumaßnahme führen kann.

Bei großen und somit schweren Fertigteilen ist der Einsatz eines Mobilkrans unerlässlich. Es muss daher gewährleistet sein, dass dieser sich in ausreichender Weise aufstellen und abstützen kann, um die Fertigteile zu verlegen. Hierbei sind insbesondere auf tragfähige Untergründe und ausreichend breite Baustellenbereiche zu achten. Insbesondere letzteres gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Eine wichtige Voraussetzung ist ein grundsätzlich tragfähiger Untergrund/Unterbau, der, falls nicht vorhanden, hergestellt werden muss.

4.3 Mögliche Fertigteillösungen

Die Tabelle 1 enthält eine Auflistung möglicher Schäden sowie die zugehörigen Fertigteillösungen, sofern möglich. Dabei werden insbesondere folgende Fertigteillösungen zu Grunde gelegt:

- Teilplattenersatz
- Plattenersatz
- Runde Fertigteile in Fugenkreuzen
- Plattenersatz mehrerer nebeneinander liegender Platten
- Plattenersatz mehrerer aufeinander folgender Platten

Tabelle 1: Liste Schäden und mögliche Fertigteillösungen

Schaden	Mögliche Fertigteillösungen und Grenzen/Beschränkungen
Allgemeine Schäden	
Einzellängsriss, durchgehend, >60 cm von der Längsfuge	Je nach Lage des Längsrisses, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile
Einzellängsriss, <60 cm von der Längsfuge	Teilplattenersatz (möglichst größere Fertigteile) Unwirtschaftlich bei kleineren Flächen
Längsrisse verästelt in einem ~1 m breiten Streifen, > 60 cm von der Längsfuge	Je nach Lage des Längsrisses, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile
Längsrisse, mehrere, in etwa konstantem Abstand	Plattenersatz mit zwei Fertigteilen
Querrisse, bis 1 m von der Querfuge	Teilplattenersatz mit einem oder mehreren Fertigteilen
Querriss im Plattenmittelbereich (Abstand >1 m von der Querfuge)	Je nach Lage und Ausprägung des Querrisses, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile
Querriss, Streifen im Plattenmittelbereich (mehrere Dezimeter breit)	Je nach Lage und Ausprägung des Querrisses, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile
Schräg über die Fahrbahn verlaufender Riss	Je nach Rissverlauf, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile
Ausbrüche am Fugenkreuz	Runde Fertigteile Momentan nur Ø165 cm und Ø195 cm möglich
Kleinere Ausbrüche am Fugenkreuz bis 10 cm Entfernung	Runde Fertigteile Ø30 cm

Ankermarkierung als Feinriss	Unverhältnismäßig, nicht wirtschaftlich
Ankermarkierung als Oberflächenstörung	Unverhältnismäßig, nicht wirtschaftlich
Dübelmarkierung als Feinriss	Unverhältnismäßig, nicht wirtschaftlich
Dübelschräglage	Unverhältnismäßig, nicht wirtschaftlich
Kantenausplatzungen an der Quer- oder Längsfuge (Tiefe >10 mm)	Unverhältnismäßig, nicht wirtschaftlich
Komprimierbares Fugenprofil	-
Vergussmasse	-
Veränderung an der Längsfuge	-
Stufe an der Querscheinfuge	Unverhältnismäßig, nicht wirtschaftlich
Flächenhafter Oberflächenschaden, nicht AKR-bedingt	Je nach Ausprägung, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile → Wirtschaftlichkeit
Schäden in den oberen Zentimetern, nicht AKR-bedingt	Je nach Ausprägung, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile → Wirtschaftlichkeit
Zu geringe Oberflächengriffigkeit (ermittelt mit der SKM bei v=80 km/h)	Bereich zu groß Unverhältnismäßig, nicht wirtschaftlich
Wasseraustritt aus Fugenkreuzen und anschließenden Fugenbereichen	Schadensursache in Tragschicht begründet, kann mit Fertigteilen in erster Linie nicht saniert werden
Schäden bedingt durch Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)	Je nach Ausprägung, Runde Fertigteile im Fugenkreuzbereich und Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile möglich → bei umfangreicherem Einsatz unwirtschaftlich (z. B bei Schadenskategorie III)
Aluminiumtreiber	Fertigteillösungen in Abhängigkeit von der betroffenen Fläche möglich → Wirtschaftlichkeit prüfen
Ausplatzungen (Löcher, Trichter)	Fertigteillösungen in Abhängigkeit von der betroffenen Fläche möglich → Wirtschaftlichkeit prüfen
Regenfelder	Fertigteillösungen in Abhängigkeit von der betroffenen Fläche möglich → Wirtschaftlichkeit prüfen
Schäden in besonderen Bereichen	
Hitzeaufbruch im Bereich einer Schwachstelle oder bei teilweise	Je nach Ausprägung:

mit Gesteinskörnern oder Mörtel gefüllter Querfuge	Fertigteilreihe (Länge individuell) über gesamte Fahrbahnbreite im Querfugenbereich oder Teil- bzw. Plattenersatz mit der Ausbildung von Raumfugen Problem: passende Fertigteile müssten zum Zeitpunkt des Ereignisses zur Verfügung stehen→ Standardisierung Alternative: Sanierung zunächst provisorisch mit Asphalt, Zulassen der Dehnungen in der Betondecke, dauerhafte Instandsetzung mit Fertigteilen danach auch ohne die Herstellung von Raumfugen möglich
Schädigung des Übergangsbereiches zum Asphalt, z. B. vor/nach Brücken	Je nach Ausprägung, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile Herstellung von Endbereichen mit Ausbildung von verdübelten Raumfugen möglich (Plattenreihe über gesamte Breite der Fahrbahn)
Raumfugenschaden	Herstellung einer neuen Raumfuge (auch verdübelt) durch den Einbau mehrerer Fertigteile möglich, Raumfuge zwischen Fertigteil und Bestand, zwischen Fertigteil und Fertigteil und im Fertigteil integriert möglich
Dammsetzung (Mulde über mehrere Meter)	-
Erosion / Absacken im Bankett	-
Entwässerungsbucht (Ablauf) geschädigt und/oder nur teilweise wirksam	-
Schlecht ausgeführter Tagesansatz	Je nach Lage und Ausprägung, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile
Schlecht ausgeführter Tagesansatz – direkt angesetzt	Je nach Lage und Ausprägung, Platten- oder Teilplattenersatz mit Hilfe mehrerer Fertigteile
Geschädigte Endsporne	Herstellen neuer Endbereiche mit Hilfe von Fertigteilen und Raumfugen

Fertigteile geeignet Fertigteile geeignet, Wirtschaftlichkeit prüfen Fertigteile nicht geeignet

Neben dem Einsatz in Betondecken ist es auch denkbar, Fertigteile in Asphaltbereichen einzusetzen, um somit die durch Brems- und Beschleunigungskräfte hoch belasteten Bereiche (z. B. Kreuzungen) schnell und dauerhaft wieder instand setzen zu können. Diese Variante wurde jedoch bisher weder in Deutschland noch in Österreich umgesetzt.

5 KONSTRUKTION UND MATERIAL

5.1 Randbedingungen

5.1.1 Zeitrahmen

Die Fertigteiltechnologie zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass innerhalb kürzester Zeit schadhafte Bereiche dauerhaft instandgesetzt werden können, so dass weitere Maßnahmen in der Folgezeit nicht durchgeführt werden müssen.
Ziel ist es daher, Technologien zu entwickeln, die schnell umsetzbar sind und wenn möglich nur wenig Vorbereitungszeit benötigen.
Insbesondere bei Flugbetriebsflächen sind die Einsatzzeiten auf wenige Stunden in der Nacht beschränkt. Aber auch auf hochbelasteten Autobahnen können fahrstreifenweise Sperrungen teilweise nur für kurze Zeit aufrechterhalten werden, ohne dass es zu Staubildungen kommt.
Ein entscheidender Zeitfaktor im Zuge der Bauarbeiten ist der Ausbau der vorhandenen Befestigung sowie die Vorbereitung des Untergrundes. Es ist daher im Vorfeld möglichst genau zu eruieren, wie die Fahrbahn aufgebaut ist, um geeignetes Gerät auf der Baustelle vorhalten zu können.

5.1.2 Transportgewichte

Das Gewicht eines Fertigteils bestimmt maßgeblich die erforderliche Hebe- und Verlegetechnologie und führt in der Folge zur Erfordernis, weitere Randbedingungen berücksichtigen zu müssen. Im Allgemeinen können Fertigteile bis zu einem Gewicht von 4 t mittels Bagger verlegt werden. Schwerere Fertigteile erfordern hingegen den Einsatz eines Mobilkrans. Bei beengten Platzverhältnissen sind daher kleinere und somit leichtere Fertigteile zu verwenden.

5.1.3 Fahrstreifenbreiten vs. Plattengeometrie

Die Fahrstreifenbreiten sind für Autobahnen in den relevanten Regelwerken ([RAA 2008] bzw. [RVS 03.03.31 2018]) festgelegt und vorgegeben. Sie sind dabei abhängig von der Verkehrsbelastung und somit vom angewendeten Regelquerschnitt. Die Plattenbreiten einer Betondecke weichen jedoch von den Fahrstreifenbreiten ab, da Markierung und Fugen möglichst nicht übereinander liegen sollten. Ein festes Maß existiert dabei jedoch nicht. Für

den Einsatz von Fertigteilen muss daher die tatsächliche Plattenbreite vor Ort ermittelt werden, um Fugenversätze zu vermeiden.

Im Regelfall ist die Breite des Hauptfahrstreifens mit 3,75 m vorgegeben, die Breiten der Betonplatten erfahrungsgemäß zwischen 4,00 m und 4,50 m.

Ein Versatz der Fugen ist möglich, sollte aber aufgrund der Eckspannungen nicht zu klein sein.

5.1.4 Toleranzen, Grenzen, Genauigkeiten

Für den Einbau von Fertigteilen ist die Maßhaltigkeit bei der Herstellung von großer Bedeutung. Bei vorangegangenen Baumaßnahmen hat sich gezeigt, dass nur sehr geringe Abweichungen in Bezug auf die Ausführungsunterlagen aufgetreten sind, die den Einbau nicht behinderten. Sollten zukünftig standardisierte Platten zum Einsatz kommen, die in größerer Stückzahl hergestellt werden, ist darauf zu achten, diese Genauigkeiten beizubehalten.

Grenzen der Fertigteiltechnologie ergeben sich derzeit hinsichtlich der folgenden Aspekte:

- Transport
- Fertigung
- Verlegetechnologie
- Nutzung eines Mobilkrans: Aufstellbreiten, Schwenkbereich (Bauwerke)
- Wirtschaftlichkeit

Fertigteile werden üblicherweise liegend transportiert. Bis zu einer Seitenlänge von 2,50 m ist der Transport ohne Sondergenehmigungen möglich. Das heißt, eine Seite des Fertigteils darf maximal 2,50 m lang sein, die andere aber auch länger. Breiten bis 3,0 m sind bei den meisten Speditionen Ausnahmegenehmigungen vorhanden, so dass auch Fertigteile mit den entsprechenden Abmessungen noch transportiert werden können. Darüber hinaus sind Transporte nur mit großem Aufwand über Sondergenehmigungen möglich. Es ist zu beachten, dass mit steigendem Transportaufwand auch die Kosten steigen, was sich wiederrum negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Technologie auswirkt. Zudem erfordert das Einholen von Sondergenehmigungen einen größeren zeitlichen Vorlauf. Die Fertigteile sollten daher so konzipiert werden, z. B. durch Aufteilen einer Platte in Einzelplatten, dass ein Transport ohne Sondergenehmigungen möglich ist. Für einen stehenden Transport der Fertigteile existieren Grenzen hinsichtlich der Gesamthöhe von Fahrzeug und Ladung, die zu beachten sind. Gemäß § 32 StVZO wird die höchstzulässige Fahrzeughöhe auf vier Meter festgelegt. Deutliche Vorteile ergeben sich hinsichtlich des stehenden Transports also nicht. Im Allgemeinen sollte angestrebt werden, mehrere Fertigteile auf einem Fahrzeug transportieren

zu können. Dies führt nicht nur zu einer Verringerung der Kosten, sondern auch zu einem besseren Ablauf auf der Baustelle.

Mit steigenden Plattenabmessungen nimmt auch das Gewicht der Fertigteilplatte zu. Dies ist insbesondere für die Verlegetechnologie von Interesse. Während Fertigteile bis zu einem Gewicht von 4 t noch mittels Bagger auf der Baustelle bewegt werden können, ist die Verlegung von Platten mit höheren Gewichten nur noch mit Hilfe eines Mobilkrans möglich. Auf der Baustelle sind daher bereits im Vorfeld entsprechende Aufstellmöglichkeiten zu berücksichtigen und mögliche Hindernisse zu eruieren.

5.2 Fertigteile konstruktiv

5.2.1 Geometrien

Bislang wurden die unter dem Punkt 3.3 aufgeführten Geometrien hergestellt und eingebaut. Diese werden auch zukünftig die maßgebenden Geometrien sein. Um insbesondere die Wirtschaftlichkeit des Systems zu verbessern, sollte angestrebt werden, möglichst gleiche Plattengeometrien zu verwenden, wodurch sich eine Serienproduktion ermöglicht.

Die Geometrien von Fertigteilen können von den in situ hergestellten Plattengeometrien abweichen. Bei Sanierungen geschädigter Bereiche ergeben sich jedoch meist ähnliche Abmessungen. Die geometrische Form der Fertigteilplatten ist abhängig von den folgenden Randbedingungen:

- Fertigteilmaterial (mit oder ohne Bewehrung)
- Fugenausbildung (Längs- und Querdehnungsverhalten)
- Dicke der Fertigteile
- Transportmöglichkeiten
- Verlegemöglichkeiten
- Vorgesehene Kopplungsarten

Ziel ist es, eine praktikable Lösung zu erhalten, die zu einer langlebigen und dauerhaften Konstruktion führt. Aus den Randbedingungen lässt sich schlussfolgern, dass die Plattengeometrie zu begrenzen ist und das Seitenverhältnis sowie die Winkligkeit unwirtschaftliche Grenzwerte nicht überschreitet.

Tabelle 2: Mögliche Randbedingungen für Plattengeometrien

Randbedingungen	Unbewehrt bzw. faserbewehrt	Stahlbeton
Seitenverhältnis bei viereckigen Platten	< 1:2	< 1:4
Plattenlänge	≤ 5,00 m	≤ 7,50 m
Verhältnis Dicke zu Länge	> 1:25	-
Eckwinkel	> 80 gon	> 30 gon
Mindestseitenlänge bei fünfeckigen Platten	> 0,60 m	> 0,30 m
Ø bei kreisrunden Platten	< 3,00 m	< 3,00 m
Gewicht	< 4 t	< 10 t
Dicke	≥ 18 cm	≥ 15 cm

Die aufgeführten Grenzwerte sind Empfehlungen, denen eine technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu Grunde liegt. Das Über- bzw. Unterschreiten dieser Werte ist in Ausnahmefällen möglich. Eine Dimensionierung ist in jedem Fall erforderlich.

5.2.2 Verpressöffnungen

Bei einzubauenden Fertigteilen kommen derzeit auf das Injektionssystem der Fa. OAT abgestimmte Verpressöffnungen zur Anwendung. Hierbei erfolgt die Injektion bevorzugt über die Justier- und Injektionsschrauben des HESTER-Kombi Systems. Die Schrauben (Abbildung 27) sind durchgehend mit einer Bohrung zur Materialführung des Injektionsmaterials versehen. Die Injektion erfolgt am Kopf der Schraube. Das Material durchläuft die Schraube und tritt am Fuß der Schraube durch seitlich angebrachte Bohrungen aus. Um den Materialfluss sicherzustellen, wird das Fertigteil am Fuß der Schraube zylinderförmig ausgespart.

Eine Verunreinigung der Fertigteiloberfäche wird durch an das System angepasste Schutzmatten mit 50 cm Durchmesser vermieden.

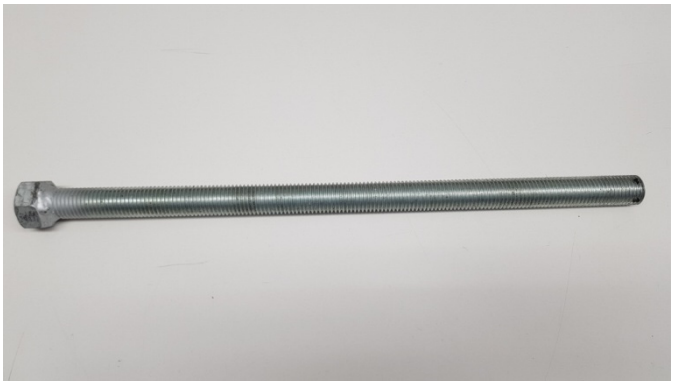

Abbildung 27: Schraube System HESTER-Kombi

In einem rechteckigen Fertigteil sind in der Regel 4 HESTER-Kombi Einbauteile verbaut. Bei großen Fertigteilabmessungen sind ggfs. zusätzliche Verpressöffnungen notwendig.
Um Verunreinigungen der Fertigteiloberfläche bei den Injektionsarbeiten zu vermeiden, wird ein Bereich von ca. 40/40 cm um diese Injektionsöffnung herum mit Folie abgeklebt. Um ein Unterlaufen der Folie zu vermeiden, wird diese mittels geeignetem doppelseitigen Klebeband direkt mit der Fertigteiloberfläche verklebt.

Abbildung 28: Schutzmatten um HESTER-Kombi und abgeklebte Verpressöffnungen

Für das derzeit angewendete Verpressmaterial (Silikatharz) sind die vorhandenen Lösungen zum Einbringen vollends ausreichend. Weitere Entwicklungen werden erst dann notwendig, wenn entweder ein anderes Material oder ein anderes Höhenjustiersystem zum Einsatz kommen sollen. In jedem Fall sollten zusätzliche Öffnungen in der Oberfläche vermieden werden.

5.2.3 System zur Verteilung des Unterpressmaterials

An der Auflagefläche der Fertigteile sind zur Kontrolle und zur Verteilung des Materialflusses Leitkanal-Aussparungen angebracht. Während des Unterpressens wird durch am Kanal austretendes Material die vollständige Unterpressung von Teilbereichen kontrolliert.

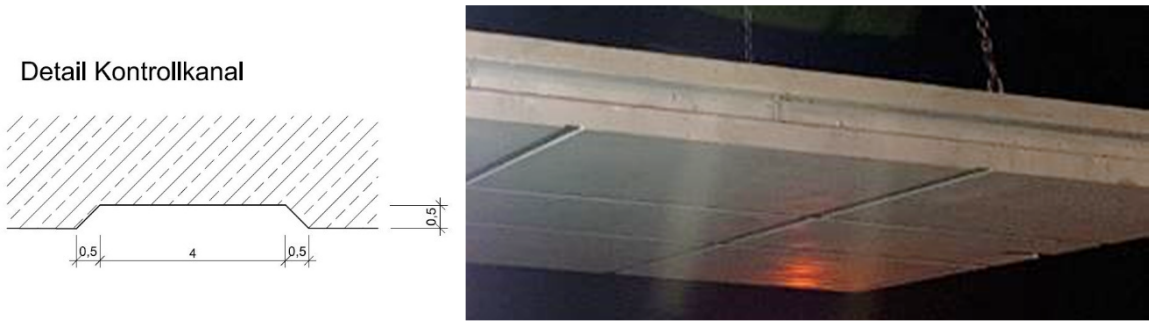

Abbildung 29: Ausbildung der Kanäle an der Unterseite

Inwiefern sich verschiedene Kanäle auswirken, kann nur dann ermittelt werden, wenn ideale, also gleiche Bedingungen vorliegen. Bei den meisten Baustellen sind jedoch Inhomogenitäten in der Tragschicht vorhanden, so dass eine Aussage nicht möglich ist. Erfahrungen haben aber gezeigt, dass die Verteilung deutlich positiv beeinflusst wird, wenn Kanäle an der Unterseite vorhanden sind. Eine von der jetzigen Form abweichende Ausbildung der Kanäle ist nicht sinnvoll, da bei kleineren Abmessungen die Wirkung verloren gehen würde und bei größeren Abmessungen mehr Material eingesetzt werden müsste.

5.3 Kopplungselemente

Im Rahmen des Forschungsvorhabens [HESTER 2018] wurden verschiedene Kopplungsvarianten im Hinblick auf den Dübelfaktor und den Wirksamkeitsindex untersucht. Hierbei zeigte sich eine Gleichwertigkeit der untersuchten Systeme.
Untersucht wurden:

- Nut/Nut mit 30mm bzw. 50 mm Nuttiefe
- Nut/Feder mit 30mm bzw. 50 mm Nuttiefe
- Dübel/Dübelkammer

In Auswertung der Ergebnisse kamen für die Speed-FT Fertigteile die Kopplungsvarianten Nut/Nut und Dübel/Dübelkammer zur Anwendung.

Die Nut/Nut Verbindung wurde in erster Linie zwischen den Fertigteilen und die Dübel/Dübelkammer am Übergang zum Bestand eingesetzt. Das Fertigteil Nummer 6 (siehe Abbildung 84) erhielt aus Montagegründen beidseits Dübelkammern. Fertigteil Nummer 5 wurde an der Fuge zu Fertigteil Nummer 6 mit Aussparungen zur Dübelaufnahme ausgeführt. Bei den Nut/Nut Verbindungen wurden hier erstmals die Nutinnenkanten zur Verringerung der Kerbwirkung nicht scharfkantig, sondern mit 5/5 mm Fase hergestellt.

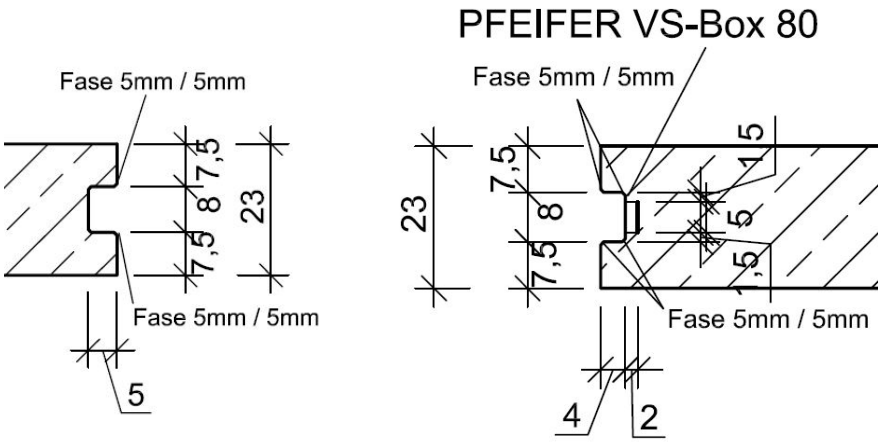

Abbildung 30: System Nut-Nut in den Ausführungsunterlagen

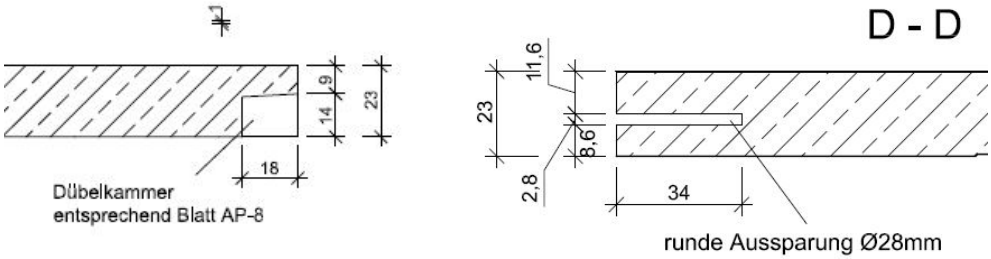

Abbildung 31: System Dübel-Dübelkammer in den Ausführungsunterlagen

5.4 Hebe- und Verlegetechnik

Zum Heben und Verlegen der Fertigteile müssen diese in geeigneter Art und Weise an ein Hebegerät angeschlagen werden können. Hierzu kommen in der Regel Schwerlastanker zum Einsatz, die bei der Herstellung bereits in das Fertigteil einbetoniert werden. Um diese Schwerlastanker herum muss eine entsprechende Bewehrung vorgesehen werden. An diesen Schwerlastankern werden die Fertigteile entweder direkt über eingedrehte Stahlschlaufen oder über spezielle Traversen angehängt. Die Traversen werden nach dem Verlegen und

Ausrichten der Fertigteile auch zur Höhenjustierung verwendet. Alternativ können auch Schlaufen/Hochleistungsgurte zum Einsatz kommen, die unter dem Fertigteil durchgeführt werden.

Im Allgemeinen bietet die derzeit einsetzte Technik bereits ausreichend Möglichkeiten, die Fertigteile im Werk und auf der Baustelle sicher bewegen zu können.

Insbesondere die Möglichkeit, die Fertigteile höhenmäßig mit Hilfe der verbauten Transport- und Justierelemente ausrichten zu können, erwies sich bislang als großer Vorteil. Auch wurden bereits Systeme entwickelt, die ohne zusätzliche Bewehrung funktionieren.

Die maßgeblich im Werk eingesetzte Vakuumtechnologie ist für Baustellen zwar möglich, erfordert aber weitere Geräte und Materialen, die auf der Baustelle zum Einsatz kommen müssen. Daher ist es zum gegenwärtigen Zeitpunkt eher unwahrscheinlich, dass diese Technologie außerhalb des Fertigteilwerkes zum Einsatz kommen wird. Dies könnte sich allerdings ändern, wenn alternative Höhenjustiersysteme entwickelt werden und keine Öffnungen in der Fertigteiloberfläche mehr gewünscht sind.

5.5 Justierelemente

Die Höhenjustierung der Fertigteile erfolgte bei den Demonstratoren aus dem Jahr 2018 mit dem „HESTER-Kombi“ System (siehe Abbildung 32).

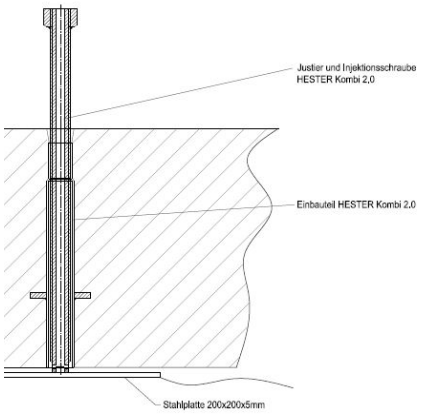

Abbildung 32: „HESTER-Kombi“-System

Im Betonfertigteil ist ein Einbauteil verbaut, das gemeinsam mit der Justier- und Injektionsschraube (vgl. 5.2.2 Injektionsöffnungen) und speziellen Seilschlaufen die Funktionen des Transportankers, des Höhenjustiersystems und des Injektionskanals ermöglicht. Eine Vielzahl an Durchdringungsöffnungen in der Fahrbahnoberfläche wird durch die Verwendung des Systems vermieden. An den Positionen der Höhenjustierung werden

Stahlplatten 200/200/5 mm auf der Auflagefläche verlegt. Diese dienen zur Lastverteilung der Gewichtskräfte während der Justierung. Die Höhenjustierung erfolgt über die Schrauben bis der geringstmögliche Versatz der Fertigteile untereinander und zum Bestand eingestellt ist. Zur Kontrolle und Prüfung der Höhenlage kommen Messlatten zum Einsatz. Ist das Fertigteil korrekt ausgerichtet, wird eine Prüfung auf stabile Lage durchgeführt. Ggfs. noch nicht aufliegende Justierschrauben werden im Anschluss verspannt. Nach erfolgter Unterpressung und ausreichender Erhärtung des Unterpressmaterials werden die Justierschrauben herausgeschraubt. Durch diese Entlastung der Justierstellen wird die vollflächige Auflage der Fertigteile sichergestellt.

Am Kopf der Durchdringungsöffnung wird im Anschluss ein Verschlusstopfen (Abbildung 33) in die dafür vorgesehene Aussparung eingeschraubt und wasserdicht verklebt. Der Stopfen (Durchmesser 27 mm) schließt oberflächenbündig ab.

Abbildung 33: Edelstahlverschlussschraube für „HESTER-Kombi“-System

5.6 Anforderungen an das Material

5.6.1 Beton für Fertigteile

Die Anforderungen an den Beton der Fertigteile wurden durch Berechnungen definiert und auf den Fertigteilplänen angegeben. Demnach ergeben sich folgende Parameter:

- Festigkeitsklasse C35/45
- Expositionsklassen: XC4;XD3;XF4;XM2; Feuchteklasse WS.

Als Oberflächentextur war ein Waschbeton mit einer mittleren Texturtiefe von 0,6 – 0,7 mm

gefordert, um eine Anpassung an die vorhandene Betondecke zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurden die Fertigteile, mit Ausnahme der Bohrlochfüllkörper und des Probefertigteils, zweischichtig gefertigt. Die Schichtdicke des Waschbetons betrug ca. 5 cm.

Die Bohrlochfüllkörper wurden vollständig mit der Waschbeton - Rezeptur hergestellt.

Die angewendeten Betone wurden hinsichtlich Druck- und Spaltzugfestigkeit sowie Frost-Taumittelbeständigkeit untersucht. In Auswertung der Prüfzeugnisse lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Die Druckfestigkeit des Unterbetons erreicht 60 MPa und liegt deutlich höher als die Anforderungen an einen C35/45 Beton. Die Druckfestigkeit der Waschbeton-Deckschicht erreicht 56 MPa und liegt deutlich höher als die Anforderungen an einen C35/45 Beton.
- Alle Spaltzugfestigkeiten liegen über 5 MPa. Anforderungen waren nicht definiert.
- Die mittlere Abwitterung der Waschbeton - Deckschicht nach dem CDF Verfahren liegt mit 266 g/m² deutlich unter dem Abnahmekriterium von 1500 g/m². Die Werte liegen auch deutlich unter dem STELCON – Qualitätsgrenzwert von 500 g/m².

Zusammenfassend wurden demnach alle betontechnologischen Anforderungen erreicht. Einige betontechnologische Werte waren zudem deutlich höher als die Anforderungen. Für die verwendete grobe Gesteinskörnung liegt eine WS – Grundprüfung vor. Das Material ist als AKR unbedenklich in der BAST Liste [BASt 2018] unter Zeile 6 gelistet, das Na_2O-Äquivalent des verwendeten CEM I 52,5 n-bs Zementes ist kleiner als 0,8.

5.6.2 Unterpressmaterial

Das Unterpressmaterial dient dazu, eine homogene Auflagerung über die gesamte Plattenfläche dauerhaft sicher zu stellen. Daraus ergeben sich bezüglich der Materialeigenschaften folgende Anforderungen:

- hohe Festigkeit im Druck- und Zugbereich
- elastisches Verhalten im planmäßigen Beanspruchungsbereich
- hohe Duktilität
- Steifigkeit im Bereich zwischen Beton und Schottertragschicht
- chemische Beständigkeit speziell gegen Tausalzeinwirkung
- Frostbeständigkeit
- schnelle Festigkeitsentwicklung
- hohe Fließfähigkeit vor der Erhärtung
- kurze Erhärtungszeiten.

Prinzipiell ist es möglich, mineralische Verpressmörtel auf Basis hydraulischer Bindemittel zu benutzen, welche im Betonbau regelmäßig Anwendung finden. International ist dies auch die übliche Vorgehensweise. Die dabei zur Anwendung kommenden Verpressmaterialien haben aber die ungünstigen Duktilitätseigenschaften, welche dieser Produktgruppe eigen sind.
Aus diesem Grund wurde in Deutschland von der Otto-Alte-Teigeler GmbH, gemeinsam mit einem Partner aus der chemischen Industrie, ein Unterpressmaterial entwickelt, welches speziell bezüglich der o.g. Eigenschaften optimiert ist. Es handelt sich dabei um ein Silikatharz. Abbildung 34 zeigt die Arbeitslinie des Materials im Zugversuch.

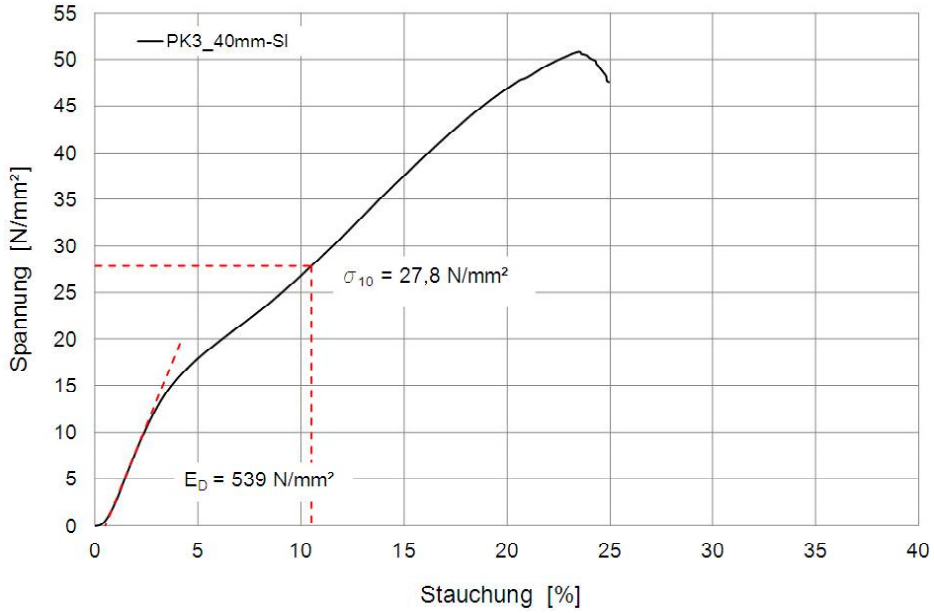

Abbildung 34: Arbeitslinie Silikatharz [Wieland 2011]

Es ist deutlich erkennbar, dass vor einem Materialversagen eine sehr große Verformung auftritt. Die Duktilität ist also sehr hoch. Im Gebrauchszustand ist nur mit Spannungen zu rechnen, welche im linear elastischen Arbeitsbereich des Materials liegen. Auch die weiteren oben formulierten Anforderungen werden in hinreichender Weise erfüllt.
Die Steifigkeit (E-Modul) des Materials liegt deutlich unter den Werten einer hydraulisch gebundenen Tragschicht. Die Auflagerung wird damit relativ weich. Dies führt dazu, dass die aufgelagerte Fläche des temperaturbedingt verformten Fertigteils immer groß bleibt. Die Unterpressschicht bewirkt damit eine Reduzierung der Biegespannungen innerhalb der Platte.
Es besteht die Möglichkeit, die Materialeigenschaften entsprechend spezieller Anforderungen zu modifizieren. So kann die zur Verfügung stehende Verarbeitungszeit, welche prinzipiell temperaturabhängig ist, entsprechend den konkret zu erwartenden Bedingungen angepasst werden.

Das Silikatharz wird seit einigen Jahren in Deutschland für die Unterpressung von Fertigteilen im Betonstraßenbau eingesetzt. Die Erfahrungen bezüglich der technischen, aber auch technologischen Eignung sind gut. Bezüglich des Langzeitverhaltens gibt es naturgemäß noch keine Erfahrungswerte aus der Praxis.

Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand erfüllt das Silikatharz alle Anforderungen, welche an ein Unterpressmaterial für diesen Anwendungszweck gestellt werden müssen. Das Material ist allerdings relativ teuer. Optimierungsbedarf wird also lediglich in dieser Hinsicht gesehen. Zudem besteht ein weiterer Ansatz darin, die Menge des erforderlichen Unterpressmaterials zu minimieren.

5.6.3 Material Dübelkammern

Die gegenwärtig praktizierte technische Lösung sieht vor, dass im Zuge der Unterpressung der Fertigteile auch die Dübelkammern verfüllt werden. Die Unterpressung wird so lange fortgesetzt, bis das Verpressmaterial in den Fugen zwischen den Fertigteilen emporsteigt und dabei auch die Dübelkammern ausfüllt. Um die Bildung einer Luftblase auszuschließen, werden deshalb die Dübelkammern mit einer leicht nach außen ansteigenden Oberseite ausgeführt.

Simulationsrechnungen mit Finite-Elemente-Volumenmodellen (Abbildung 35), welche im Rahmen der Bearbeitung anderer Forschungsprojekte ([FE 89.0279/2012], [FE 89.0283/2013]) durchgeführt wurden, haben allerdings gezeigt, dass die relativ geringe Steifigkeit des verwendeten Silikatharzes bezüglich der Querkraftübertragung mit Dübeln nachteilig sein kann.

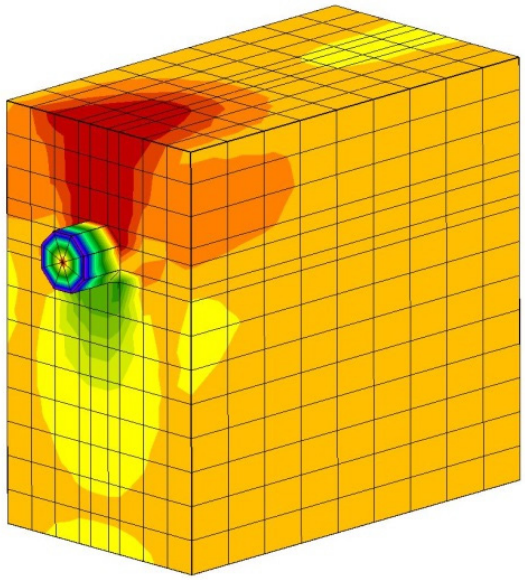

Abbildung 35: Finite-Elemente-Volumenmodell zur Untersuchung der Interaktion zwischen Dübel und Fugenverfüllung

Durch die gegenüber dem Beton deutlich geringere Steifigkeit des Verpressmaterials sind größere Verformungen erforderlich, um die Dübelkräfte zu mobilisieren. Dadurch wird ein größerer Anteil der Radlast in die unter der Platte liegende Tragschicht abgetragen. Des Weiteren lässt sich rechnerisch nachweisen, dass eine größere Dübellänge für die Querkraftübertragung erforderlich ist. Während bei einem direkt in den Beton einbindenden Dübel nur etwa die Hälfte der Einbindelänge (ca. 12 cm) für die Querkraftübertragung erforderlich ist, wird ein im Silikatharz liegender Dübel auf der gesamten Länge (25 cm) beansprucht. Das ist umso nachteiliger, weil gerade bei einem Fertigteil eine Verkürzung der Dübel und Dübelkammern wünschenswert wäre.

Eine eingehende Analyse der Problematik zeigt aber auch, dass die Wirksamkeit der Querkraftübertragung nicht allein von der Größe der vom Dübel übertragenen Kraft abhängt. Es ist festzuhalten, dass die Zielstellung der Dübelkonstruktion nicht in der Querkraftübertragung liegt. Diese ist nur Mittel zum Zweck. Das Ziel besteht darin, die Beanspruchung der Fahrbahnplatte beim Übergang der Radlast zu reduzieren und eine Stufenbildung zu vermeiden.

Sobald der Anteil der Radlast, welcher in den Dübel abgetragen wird, abnimmt, steigt der Kraftanteil, welcher auf die Tragschicht direkt unter dem Rad einwirkt. Damit vergrößert sich auch die Setzungsmulde, welche sich bis unter die Nachbarplatte erstreckt (Abbildung 36).

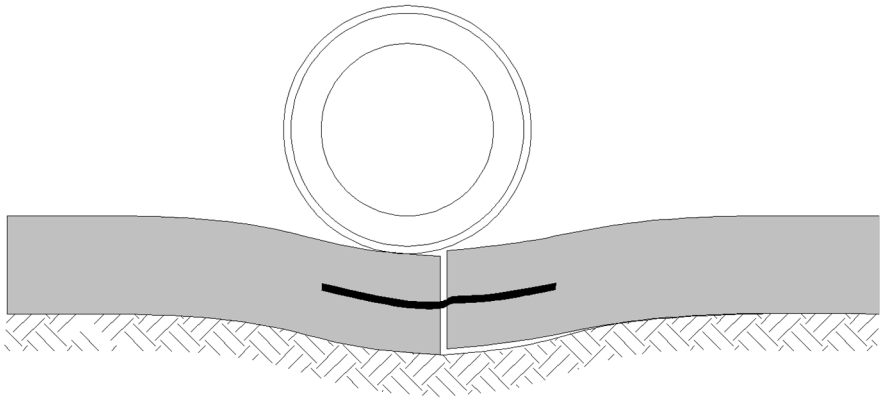

Abbildung 36: Setzungsmulde am Plattenrand bei der Radüberrollung

Dadurch wird dem in die Nachbarplatte einbindenden Dübel ein geringerer Widerstand entgegengesetzt. Die Platte lässt sich in diesem Bereich einfacher verformen.

Das Zusammenspiel zwischen Dübel, Platten und Unterbau ist also komplex. Generell ist es richtig, dass die mit der Dübelkonstruktion verfolgte Zielstellung umso besser erreicht wird, je höher der Kraftanteil ist, den die Dübel übertragen. Eine exakte Quantifizierung dieses Effektes ist aber nicht nur anhand der Dübelkraft möglich.

Laborversuche, welche an der TU Dresden im Rahmen des Projektes [HESTER 2018] durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass mit in Silikatharz eingebundenen Dübeln die Plattenbeanspruchung etwa in gleichem Maße reduziert werden konnte, wie mit anderen Fugenkonstruktionen. Ein direkter Vergleich mit der klassischen Lösung (Dübel im Beton) wurde hier allerdings nicht realisiert. Die gemessenen Wirksamkeitsindizes lagen aber in jedem Fall in der Größenordnung, welche aus der Praxis des Betonstraßenbaues bekannt sind.

Ähnliche Ergebnisse erbrachten FWD-Messungen, welche in Zuge unterschiedlicher Forschungsprojekte in Deutschland an Platten durchgeführt wurden, die unter regulärem Verkehr lagen. Langzeiterfahrungen sind aber auch hier nicht vorhanden.

Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand lässt sich sagen, dass ein steiferes Verfüllmaterial für die Dübelkammern theoretisch wünschenswert wäre. Die praktischen Erfahrungen lassen aber vermuten, dass die gegenwärtig praktizierte Lösung mit einer Silikatharzverfüllung auch zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt.

Die Verwendung anderer Materialien wäre im Übrigen mit großen technischen und auch technologischen Schwierigkeiten verbunden. In jedem Fall wäre eine Trennung der Fugenverfüllung von der Dübelkammer notwendig. Zurzeit gibt es hierfür noch keine praktikablen technischen Lösungsansätze.

5.6.4 Fugenmaterial

Wie bereits in Abschnitt 5.6.3 erläutert, sieht die gegenwärtig praktizierte Grundsatztechnologie vor, die Fugen mit dem Unterpressmaterial (Silikatharz) zu verfüllen. Lediglich die oberen 1-3 cm werden mit dem auch ansonsten verwendeten bituminösen Fugendichtstoff versiegelt.

Da das Silikatharz deutlich weicher ist als Beton, wird eine begrenzte Fugenkompression möglich. Es entstehen aber keine Dehnungsfugen im engeren Sinne. Eine Entspannung im Hinblick auf eine potenzielle Blow-Up-Gefährdung findet aber in begrenztem Maße statt. Die hohen Druckspannungen, welche speziell im Fugenbereich bei hohen Plattentemperaturen auftreten können, werden vom Silikatharz ebenso sicher aufgenommen, wie vom Beton (siehe Abschnitt 5.6.2, Abbildung 34).

Im Zusammenhang mit der Bearbeitung des Forschungsthemas „Einsatz von Fertigteilen für die dauerhafte Instandsetzung sowie die Schaffung von Entspannungsbereichen an Betonfahrbahndecken“ [FE 08.0236/2015] wurden auch Fertigteile mit Dehnfuge getestet. Dabei werden an den Fugenflanken der angrenzenden Betonplatte Platten aus Polyethylenschaumstoff verklebt. Zum Fertigteil verbleibt ein Spalt, welcher groß genug ist (ca. 1 cm) um eine Verfüllung mit Silikatharz zu erlauben. Es ist darauf zu achten, dass der Schaumstoff durchgehend durch alle gebundenen Tragschichten geführt wird (Abbildung 37).

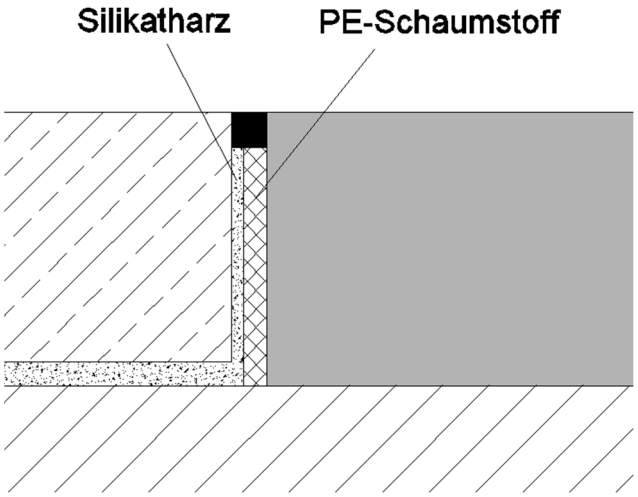

Abbildung 37: Dehnfuge zwischen Fertigteil und traditionell gefertigter Strecke

Der Polyethylenschaumstoff kann in eine Richtung auf ca. 50% seiner ursprünglichen Ausdehnung komprimiert werden, ohne nennenswerte Spannungen aufzubauen. Das Material bleibt dabei elastisch, d. h. nach der Belastung kehrt es zu seiner anfänglichen Form zurück.

Auch zu dieser Fugenausbildung gibt es die Fertigteile betreffend keine Langzeiterfahrung. An der Beständigkeit der Baustoffe gibt es aber keine begründeten Zweifel.

5.7 Oberflächen

Die Oberflächen von Fertigteilen sollten sich bei Instandsetzungsmaßnahmen an der vorhandenen Betonoberfläche orientieren und Anforderungen hinsichtlich Griffigkeit und Ebenheit berücksichtigen. Mögliche Ausführungsvarianten der Oberfläche sind:

- Besenstrich
- Waschbeton
- Kunstrasen
- Jutetuch

Dabei sind die ersten beiden Varianten zu bevorzugen.

Zudem ist es auch möglich, die Fertigteile nach dem Verlegen zu grinden.

6 DIMENSIONIERUNG

6.1 Numerische Überfahrtsberechnung

Allgemeines:

Zum besseren Verständnis der dynamischen Interaktion und zur Optimierung von Dimensionierungsangaben der Betonfertigteilplatten wurde eine numerische Studie betreffend Einbauungenauigkeiten und deren Auswirkungen auf Interaktion mit den Verkehrslasten durchgeführt. Ziel war es, die dynamischen Lastvergrößerungsfaktoren zu quantifizieren bzw. deren Zusammenwirken mit Überlagerungen aus Temperatureffekten bewerten zu können. Eine dynamische Interaktion bzw. Vergrößerung der statischen Belastung tritt immer dann auf, wenn Strukturen mit zeitlich veränderlichen Lasten, beispielsweise bei Überfahrt oder Stoßbelastung, beansprucht werden, oder in ihren Resonanzfrequenzen durch periodische Achsabstände (z. B. Eisenbahn) angeregt werden [FLESCH 1997].

Dazu wurden zuerst auf der Lasteinwirkungsseite die Verkehrslasten und deren Abhängigkeit von Fahrbahnunebenheiten im Längsprofil mit numerischen Zeitverlaufsanalysen untersucht. Im nächsten Schritt wurde dann die Interaktion von Verkehr- und Temperatureinwirkung modelliert und die Auswirkungen auf den Spannungszustand analysiert. Diese Berechnungen und Modellannahmen wurden in weiterer Folge mittels realen Messdaten (siehe 9.3) abgeglichen.

Die LKW-Lasteinwirkungen werden durch ein detailliertes FE - Modell abgebildet, welches fahrzeugspezifische Einwirkungen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, der Rauigkeit des Bodenprofils sowie der Einbautoleranzen (Plattensprünge bzw. Fugenversatz) berücksichtigt. Fahrzeugdynamische Simulationen werden hauptsächlich in der Fahrzeugtechnologie durchgeführt. In der Infrastrukturbewertung finden solche Anwendungen vor allem im Brückenbau oder zur Untersuchung von Resonanzeffekten (z. B. bei Eisenbahnbrücken) statt. Neben Resonanzuntersuchungen von Tragwerken können mit Überfahrtsberechnungen auch die Kontaktkräfte zwischen Fahrzeug und Fahrbahn berechnet werden.

Zur Dimensionierung von Bauteilen werden dynamische Lastanteile bisher eigentlich immer mittels eines dynamischen Lastvergrößerungsfaktors (engl. Dynamic Amplification Factor) als Verhältnis von statischer zu dynamischer Last berücksichtigt, welche meist aus Messdaten oder daraus abgeleiteten mechanischen Modellen ermittelt werden. In Abbildung 38 ist exemplarisch der an einem realen Brückenobjekt im Netz der österreichischen Autobahnen gemessene Vergrößerungsfaktor dargestellt.

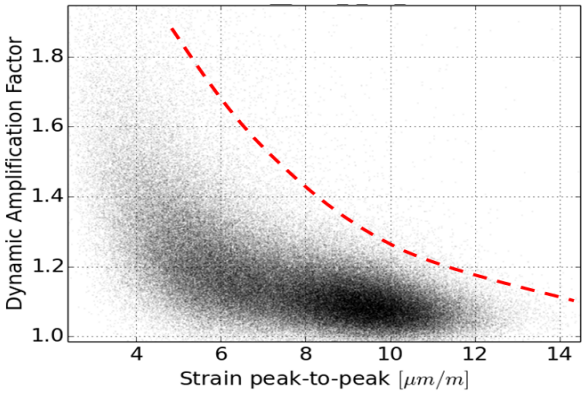

Abbildung 38: Exemplarische Darstellung des gemessenen dynamischen Lasterhöhungsfaktors einer Brücke [RAL 2014]. Mit zunehmender Fahrzeugmasse (Strain peak to peak) ist eine Abnahme des Faktors erkennbar.

Das Überfahrtsproblem kann mit unterschiedlich komplexen mechanischen Modellen und daraus resultierendem Genauigkeitsgrad abgebildet werden. Das einfachste mechanische Modell für Überfahrt sind Stabtragwerke mit einer dynamischen Wanderlast (Moving Load Modell). Hier fährt das Fahrzeug als wandernder Lastpunkt mit einer definierten Geschwindigkeit über das Bauteil und versetzt dabei die Struktur in Schwingung. Dieses Modell ist für die vorliegende Aufgabenstellung ungeeignet, da hier vor allem die Resonanzeffekte untersucht werden können, die Information der Kontaktkraft jedoch verloren geht. Aus diesem Grund wurde eine sehr detaillierte Modellierung mittels Mehrkörpersystemen gewählt, welche die Bestimmung dynamischer Kontaktkräfte der einzelnen Radlasten ermöglicht. Der wesentliche Einflussparameter auf die dynamischen Verkehrslasten wird in Form einer Parameterstudie untersucht. Der Hauptfokus liegt in der Unebenheit der Fahrbahn. Vorgehensweise und Modell werden in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben. Die Berechnung wird dazu in folgende Schritte unterteilt:

- Modell 1: Analyse der Lasteinwirkung mit dem Mehrkörper Überfahrtsmodell auf starrem Untergrund (keine Interaktion mit der Platte)
- Modell 2: Kombinierte Verkehrs/Temperaturbelastung der Fertigteilplatten am detaillierten Plattenmodell (Interaktion mit Platte)

6.1.1 Berechnungsmodell 1 Lasteinwirkungen durch LKW-Überfahrten

Zur Modellierung und Berechnung der dynamischen Lasten, welche auf eingebaute Fertigteile wirken können, wurden transiente Finite Element Berechnungen (Finite Element Analyse FEA) durchgeführt, welche sowohl geometrische Effekte wie Fahrbahnrauigkeit, Spurführung, Einbauungenauigkeiten, als auch die dynamisch zeitlich veränderlichen Lasten

(Überfahrtsgeschwindigkeiten) mit mechanischen Mehrkörpermodellen abbilden können. Alle FEA-Überfahrtsimulationen wurden mit dem Programm ANSYS-Mechanical® ausgeführt.

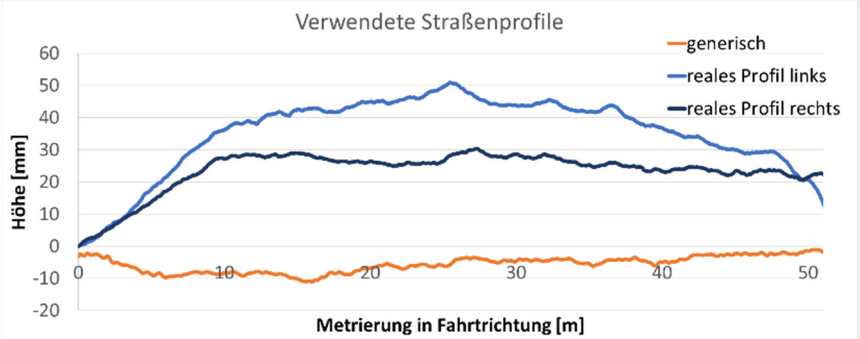

Abbildung 39: Beispiel der gemessenen Längsebenheit, welche für die Simulation und Parameterstudie verwendet wurde.

Das verwendete LKW-Modell besteht aus einem Mehrkörpermodell aus Feder-Dämpferelementen sowie aus Massenelementen mit entsprechenden Rotationsträgheits-massen, welches insgesamt 17 Freiheitsgrade besitzt. Das mechanische LKW-Modell und das in der FEA implementierte Modell sind in Abbildung 40 dargestellt. Das Gewicht des Belastungsfahrzeuges wurde zwischen 35, 40, 45 t variiert, wobei sich die Last ungleichmäßig auf die fünf Achsen verteilt. Die Überfahrtssimulationen wurden dann für die Geschwindigkeiten 60, 80 und 90 km/h durchgeführt.

Die Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche kann einerseits durch idealisierte und künstlich generierte Oberflächenmodelle und andererseits durch Implementierung von realen Messdaten des Messfahrzeuges RoadSTAR für ausgewählte Längsprofile im Berechnungsmodell einfließen. Das mittels der RoadSTAR Längsprofilmessung aufgezeichnete Straßenoberflächenprofil (real uneven) wurden neben einem gegnerischen Profil als ein geometrisches Modell in der Berechnung berücksichtigt.

In Abbildung 39 ist das Messfahrzeug und eine beispielhafte Längsprofilmessung dargestellt.

Die untersuchten Fahrbahnprofile waren

- Ideal glatt (flat)
- Generisch (artificial good)
- Real uneben (real uneven) gemessen im Netz der ASFINAG

Der Untergrund wurde hier aufgrund der Modelloptimierung starr modelliert. Die Definition der Fahrbahnrauigkeit kann mit Hilfe einer spektralen Leistungsdichte-Funktion nach ISO 8608 bzw. BASt-Bericht Heft S73 erstellt werden, welche auch in die EN 1991-2 mit einer Unterteilung in 5 Klassen (A—E/ bzw. sehr gut, gut, mittel, schlecht, sehr schlecht)

übernommen wurde. Dieser Ansatz wird derzeit auch zur Ermittlung der Ermüdungseinwirkung auf Straßenbrücken herangezogen. Im hochrangigen Straßennetz ist von einer sehr guten Überfahrtsklasse auszugehen.

Die Unebenheitsprofile wurden linienförmig in der rechten sowie linken Spur des LKW-Models implementiert (vgl. Abbildung 40). Wobei sich linke und rechte Spur voneinander unterscheiden. Als wesentlicher Faktor der dynamischen Lasteinwirkung stellte sich wie vermutet der vertikale Versatz der Fahrbahn dar, welcher beispielsweise durch unsachgemäßen Einbau oder durch nachträgliche ungleichmäßige Setzungen des eingesetzten Fertigteils entstehen kann. In Abstimmung mit dem Konsortium wurde dieser Versatz mit 0, 2, 5 und 10 mm angenommen und mit den 3 unterschiedlichen Längsprofilen kombiniert. Nachfolgend sind die Eingangswerte zur Bestimmung der Kontaktkräfte zusammengefasst, woraus sich 108 verschiedene Überfahrtskombinationen ergeben.

- Versatz „bump“: 0 mm, 2 mm, 5 mm und 10 mm
- Geschwindigkeit: 60 km/h, 80 km/h und 90 km/h
- Höhenprofil: „eben/flat“, „künstlich/ artificial good“ und „real – RoadSTAR/ real uneven“
- LKW Masse: 35 t, 40 t und 45 t

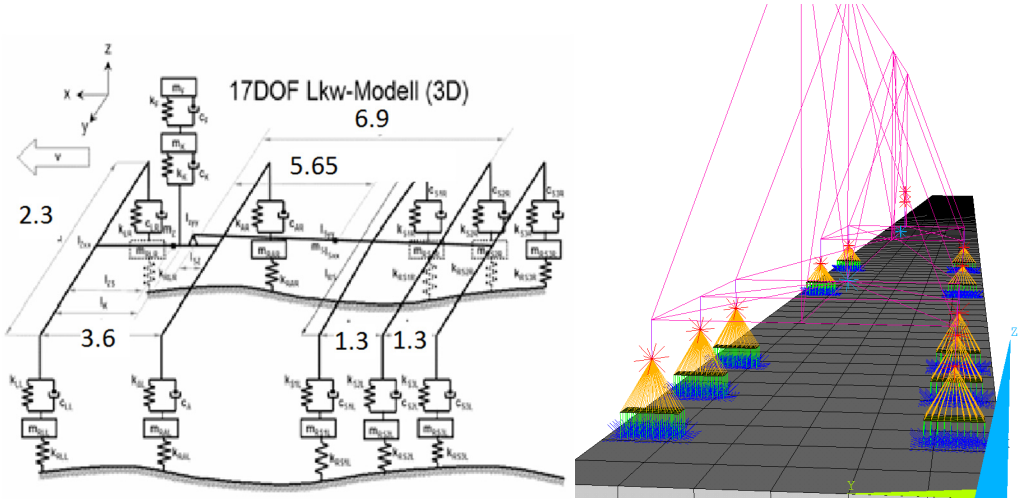

Abbildung 40: Model des LKWs in den Überfahrtsberechnungen. Als idealisiertes mechanisches Feder-Masse-Dämpfer-System (links, Abmessungen in [m]), und im FE - Modell implementiert (rechts).

Die Ergebnisse der sich zeitlich ändernden Kräfte sind exemplarisch für die Überfahrt eines 40 t LKWs mit 5 mm Versatz in Abbildung 41 dargestellt. Im linken Bild sind die Kontaktkräfte in Abhängigkeit der Achse und der geometrischen Position als Kraft/Ortdiagramm dargestellt. Diese Darstellung hat sich für die gestellte Aufgabe als praktikabel herausgestellt, da die Kontaktkräfte direkt der Position zugeordnet werden können und der zeitliche Verlauf von

sekundärem Interesse ist. Die Auflast ist hier mit der gewählten Vorzeichenkonvention (Druckkraft = negativ) erkennbar. Das schematische Straßenprofil ist am unteren Rand der Abbildung skizziert. Es ist klar ersichtlich, dass die Kontaktkräfte bei einem Sprung nach oben zuerst deutlich zunehmen, und dann sehr kurz (max. 2 Zyklen) nachschwingen und sich dann wieder bei der ursprünglichen statischen Last einpendeln. Bei einem Sprung nach unten, entsteht ein nahezu gespiegelter Kraft/Ort - Verlauf. In Abbildung 41 rechts sind die Mittelwerte der Kontaktkräfte aller 10 Radlasten für unterschiedliche LKW-Massen bei einer 60 km/h - Überfahrt als blauer Balken dargestellt. Der schwarze Balken kennzeichnet die absolut auftretenden maximalen und minimalen dynamischen Zuwächse der Radlasten. Diese nehmen mit zunehmender Versatztiefe deutlich zu.

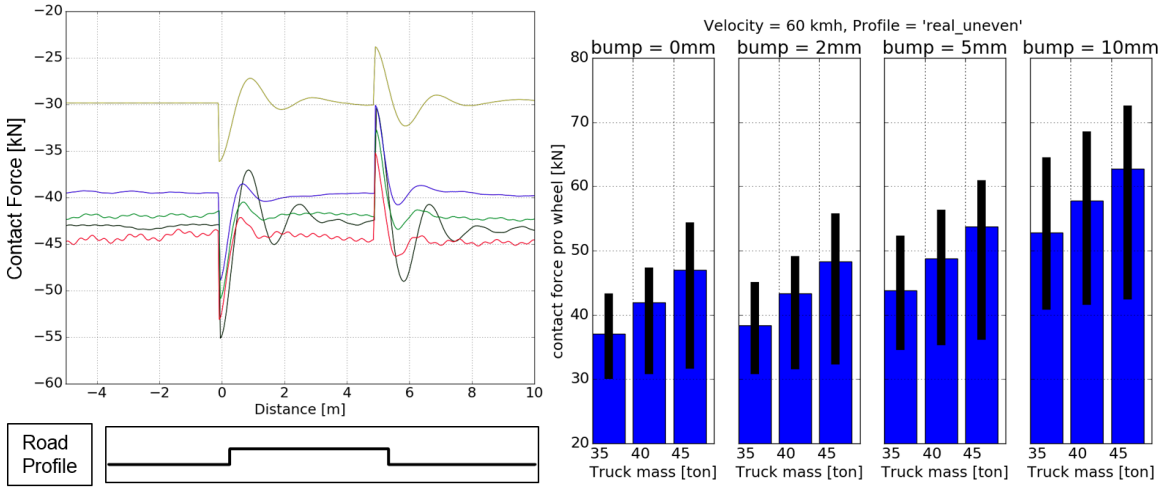

Abbildung 41: Radlasten eines 40 t LKWs bei Überfahrt eines 5 mm Versatzes (links) und maximale Kontaktkräfte bei v = 60 km/h und realem Straßenprofil in Kombination mit vertikalem Versatz von 0, 2, 5 und 10mm (rechts).

Der Einfluss der Geschwindigkeit auf die dynamischen Radlasten ist gering. Er steigt bis 60 km/h an und fällt bei höheren Geschwindigkeiten wieder ab (vgl. Abbildung 42). Beispielsweise beträgt die maximal ermittelte dynamische Kontaktkraft bei einem Versatz von 10 mm und 60 km/h 75 kN, bei 80 km/h 72 kN und bei 90 km/h 70 kN. Das bei 60 km/h Überfahrtsgeschwindigkeit auftretende Maximum der Kontaktkräfte und Abnahme bei höheren Geschwindigkeiten stimmt auch mit Erfahrungswerten der Literatur z. B. in [FOB NRW 1959] überein.

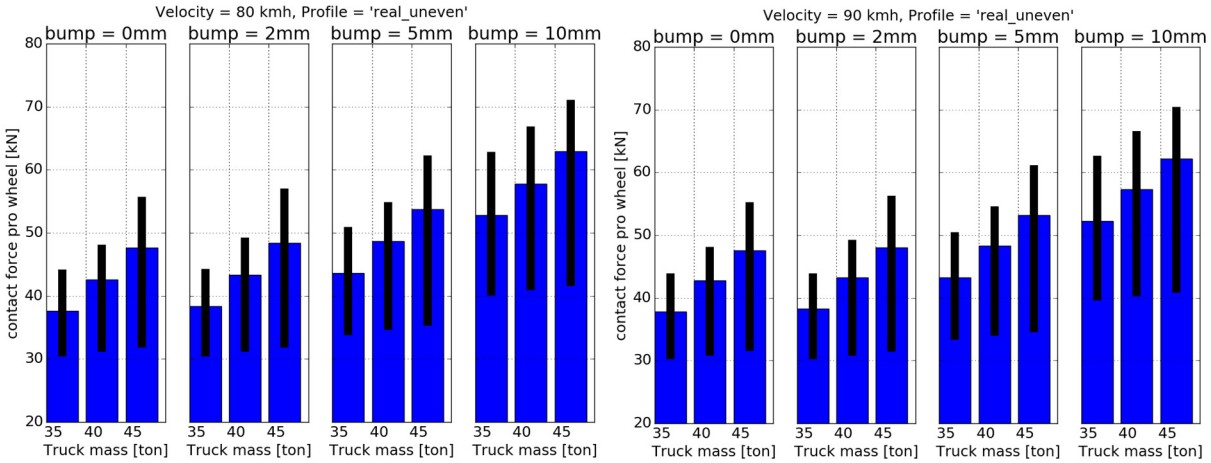

Abbildung 42: Radlasten bei veränderlicher Fahrtgeschwindigkeit von 80 und 90 km/h

Der Vergleich der Kontaktkräfte der unterschiedlich untersuchten Profiltypen ist für eine Geschwindigkeit von v=60 km/h und unterschiedlichen Versatztiefen in Abbildung 43 gegenübergestellt worden.

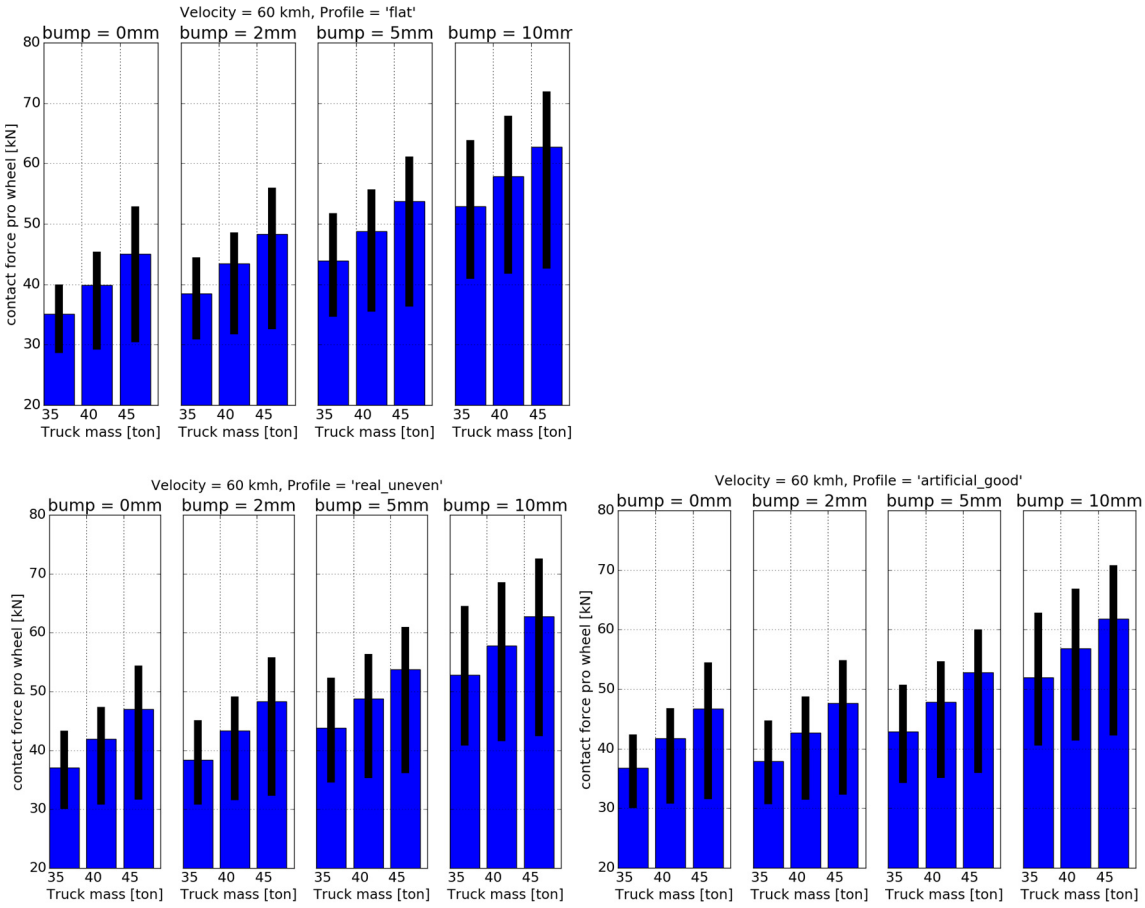

Abbildung 43: Radlasten bei unterschiedlichen Profiltypen ideal „flat“ (oben links), real uneven (unten links) und das generische Profil „artificial good“ (unten rechts) für v=60 km/h

Die Berechnung zeigt, dass für die gewählten „guten“ Profiltypen die Kräfte in ähnlicher Größenordnung auftreten, aber deutlich von der Versatztiefe dominiert werden.

Eine größere Aussagekraft hat der dynamische Vergrößerungsfaktor DAF (=Dynamic Amplifiction Factor). Er wurde für die maximalen Kräfte bei Überfahrtsgeschwindigkeit von v = 60 km/h ermittelt und ist definiert als Verhältnis der maximal auftretenden Kontaktkraft des betrachteten Rades und der statischen Last des gleichen Rades. In Abbildung 44 und Abbildung 45 ist die Auswertung des Vergrößerungsfaktors für unterschiedliche Straßenprofile, Einbaugenauigkeiten und LKW-Gesamtmassen dargestellt. Er wurde wiederum für die jeweilige Überfahrt für alle 10 Räder gemittelt und auf gleicher Weise als blauer Balken graphisch gekennzeichnet. Der kleinere überlagernde schwarze Balken stellt das jeweilige Maximum oder Minimum der für die jeweilige Überfahrt berechneten Lastvergrößerung dar. Beim LKW wurden Federung, Fahrzeugdämpfung und Geometrie konstant gehalten, lediglich die Beladung wurde verändert.

Für den idealen Fall ohne Versatz und Profil „flat“ gibt es keinen Vergrößerungsfaktor, da kein Impuls wirkt. Die einwirkende Kraft steigt geometrisch mit Erhöhung des vertikalen Versatzes an und erreicht in den untersuchten Fällen bei 10 mm im ungünstigsten Fall den Faktor 1,7. Mit zunehmender Fahrzeugmasse nimmt der dynamische Faktor bedingt durch die Trägheit ab. Dieser Effekt wurde auch an realen Tragwerken (vgl. Abbildung 38) gemessen.

Eine Lasterhöhung am Plattenübergang ist dominiert durch den Versatz, und ist für alle Konfigurationen (mit Ausnahme ideal flat und Versatz = 0) klar ersichtlich. Sie übersteigt die statische Achslast am Fertigteil durchschnittlich um ca. 20 % mit Spitzenwerten von bis zu 70 %.

Der Vergleich des verwendeten echten Straßenprofils zeigt, dass sich die maximalen Kontaktkräfte zwischen perfekt eingebaut und jenen mit einem Versatz von 2 mm kaum voneinander unterscheiden (vgl. Abbildung 44 rechts). Dies ist auch beim künstlich generierten Profil (Abbildung 45) der Fall.

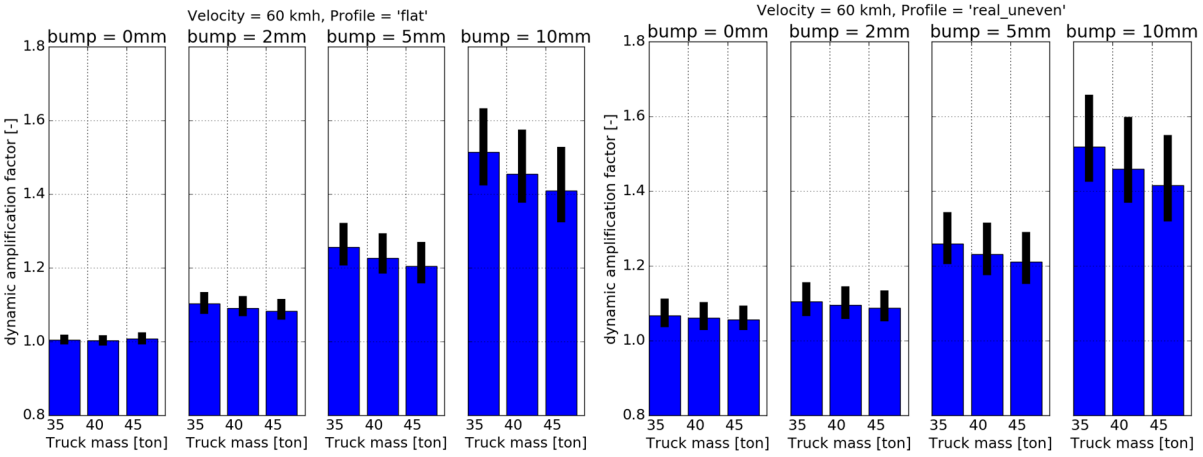

Abbildung 44: Dynamischer Vergrößerungsfaktor DAF (Dynamic Amplifiction Factor) für ein ideal glattes Profil (links) und ein real gemessenes Profil (rechts)

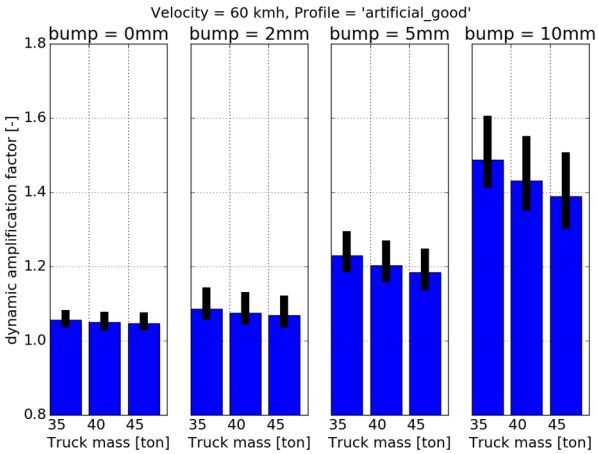

Abbildung 45: Dynamischer Vergrößerungsfaktor DAF (Dynamic Amplifiction Factor) für ein künstlich generiertes Straßenprofil

Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Vergrößerungsfaktoren zeigen das Zusammenwirken der Einflussgrößen (Versatztiefe, Fahrzeugmasse, Geschwindigkeit, Straßenprofil) und geben Anhaltswerte für Bemessungsgrößen der Fertigteile. Die berechneten Kräfte bzw. Zeitverläufe sind Eingangswerte für die im Folgenden beschriebenen numerischen Untersuchungen.

6.1.2 BERECHNUNGSMODELL 2: Kombinierte Verkehrs- und Temperaturbelastung

Zur Betrachtung der Interaktion und Überlagerung der Verkehrslasten mit der Temperatur wurde die Auswirkung der gerechneten Kontaktkräfte auf die Fahrbahnkonstruktion in Kombination mit zwei Temperaturlastfällen untersucht. Dabei wurde die Platte detaillierter nachgebildet, mit dem Lastfall Temperatur beaufschlagt und mit ausgewählten Radkräften der aus dem Modell 1 (siehe Kapitel 6.1.1) ermittelten dynamischen Überfahrtskräfte belastet. Als Temperaturlastfälle wurden folgende Extremfälle des Temperaturgradienten ausgewählt [BLAB et.al 2012]:

- Sommer: Temperaturgradient dT/dz = 0.08 K/mm,
- Winter: Temperaurgradient dT/dz = -0.035 K/mm

In den beiden oben genannten Fällen tritt eine Wölbung der eingebauten Platte auf, welche von der Einbautemperatur sowie den betrachteten Lastfällen Sommer und Winter abhängt. In Abbildung 48 sind exemplarisch die Aufstandsflächen (rot) der Platte für den Lastfall Sommer und Winter gegenübergestellt. Im Sommer erwärmt sich die Plattenoberseite stärker, wodurch die Platte in der Mitte abhebt und nur mehr an den Rändern aufliegt. Im Winter tritt der

umgekehrte Fall ein, die Platte zieht sich oben zusammen, und die Ränder heben sich ab. Die Platte liegt nur in der Mitte auf. In Kombination mit der Verkehrsbelastung stellt sich je nach Lastfall Sommer und Winter ein anderes statisches System ein. Verkehrslasten verursachen Verformungen, wodurch sich die Kontaktflächen ändern können, das heißt bei einer Überfahrt ändert sich die Kontaktfläche ständig. Dieser Effekt kann im Modell durch eine volle transiente Analyse berücksichtigt werden. In jedem Zeitschritt werden die Kontaktflächen neu bestimmt. Des Weiteren wurden in dem sehr detaillierten FE Modell (3D Volume) die umliegende Fahrbahn mitmodelliert, um die Ergebnisse mit schwer zu bestimmten Randbedingungen nicht zu verfälschen. Die Plattenstärke beträgt 25 cm, das darunterliegende Silikatharz wird mit einer Schichtdicke von 1 cm im System berücksichtigt, die Lagerung ist elastisch. Die verwendeten Materialparameter (linear elastisches, isotropes Stoffgesetz) sind in Tabelle 3 enthalten:

Tabelle 3: Für die Berechnung angenommene Materialparameter (In der Nachrechnung Kapitel 8 wurden die gemessenen Daten angepasst.)

	E-Modul	v	Ausdehnungskoeffizient
Beton	33GPa	0.18	1.00E-05
Silikat	500MPa	0.42	2.00E-05

Die maximale Elementgröße für die untersuchte Platte betrug 8 cm, für die umliegende Fahrbahn 25 cm und für die Silikatharzschicht 1-4 cm, wobei die Dicke hier üblicherweise 1 cm ist. Unabhängig davon, wurde die Fahrbahn über die Höhe auf mindestens drei Elemente geteilt.

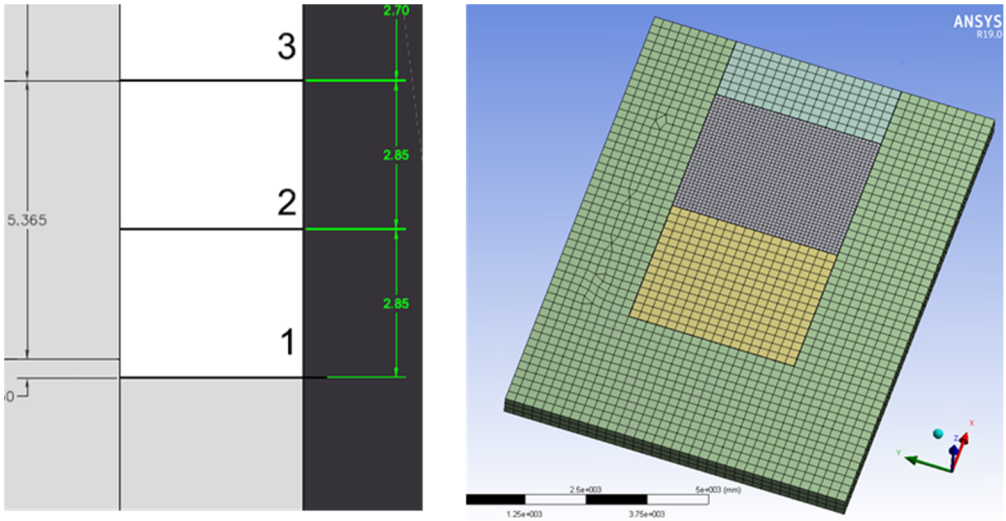

Abbildung 46: Detailausbildung der Kontaktfläche der Dübelkammer (links), Darstellung des gemeshten 3-dimensionalen FE Modells (rechts)

Modelliert wurde die rechteckige Platte Nr. 2, welche auch im Zuge der späteren Demonstratoren instrumentiert wurde. Abmessungen und Modell sind in Abbildung 46 dargestellt. Es wurde angenommen, dass das verpresste Silikatharz keine Zugkräfte übertragen kann. Dies könnte zwar anfangs bis zu einem gewissen Ausmaß erfolgen, aber in Abstimmung mit den Projektpartnern wurde es als ungünstiger betrachtet, diese Zugtragwirkung nicht anzusetzen. Die Verbindung zwischen den Platten und dem darunterliegenden Silikatharz wurde somit als „compression-only“ definiert und kann nur Druckkräfte übertragen. Das Abheben des Fertigteils aufgrund des Temperaturgradienten ist damit ermöglicht. Deshalb muss bei der Überfahrt im Zuge der Zeitverlaufsanalyse die Aufstands- bzw. Kontaktfläche iterativ bestimmt werden.

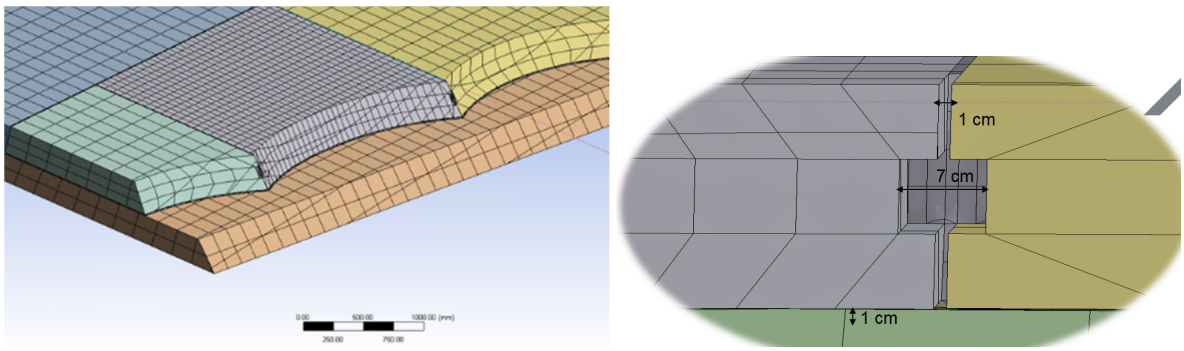

Abbildung 47: Detailausbildung der Plattenaufbauten (links) und Detail Kontaktfläche der Nut (rechts)

Die Verbindung zwischen zwei nebeneinanderliegenden FT Platten, was vor allem für den Lastfall Winter wichtig ist, wurde als Nut/Nut modelliert. Das Silikat zwischen zwei Platten überträgt beidseitig nur die Druckkräfte. Schub wird ausschließlich über die Verfüllung der Nut übertragen. Um den aus praktischer Erfahrung gewonnenen Wirksamkeitsindex I_w (Index zur Bestimmung der Übertragungskräfte) annähernd wiederzugeben, wurde ein numerischer Abgleich vorgenommen indem folgende Formel aus Eisenmann und Leykauf 2001 [EI/LEY 2003], Seite 76:

$$I_w = \frac{2 * y_{ub}}{y_{ub} + y_b}$$

mit:

y_{ub} Verformung der unbelasteten Platte

y_b Verformung der belasteten Platte

verwendet wurde.

Durch die gewählte Korrektur bildet das Modell einen Wirksamkeitsindex von I_w = 0,8 ab.

Für die dynamischen Zeitverläufe wurden die Radkräfte aus den Überfahrtsberechnungen des Modells 1 (starrer Untergrund v = 60 km/h (maximale Kraft)) aus dem Kapitel 6.1.1 entnommen und auf die Platte in Kombination mit dem Temperaturlastfall untersucht. Die Voraussetzung dazu ist, dass die dynamische Antwort der Platte auf die Kontaktkräfte keinen bzw. einen geringen Einfluss hat. Dies wurde auch exemplarisch an einem Submodell mit einer vollen transienten Rechnung überprüft und konnte für diese Untersuchung bestätigt werden. Damit sind die zuvor untersuchten Fälle der dynamischen Lasterhöhungen durch den jeweiligen vertikalen Versatz beim Plattenübergang ebenfalls inkludiert. Die Platten werden mit allen LKW-Rädern exzentrisch überfahren, wobei eine Spur am Plattenrad geführt wurde, da hier für den Lastfall (LF) Winter die ungünstigste Zugbeanspruchung erwartet wurde.
Die verwendete Abtastrate beträgt 208 Hz, dies entspricht bei einer Überfahrt mit 60 km/h pro Abtastung einer Verschiebung der Kraft von 8 cm. Basierend auf diesem Modell wurden die Überfahrten und Temperaturgradienten für ausgewählte Kombinationen im Detail durchgeführt und die Hauptzugspannungen und Plattenverformungen ermittelt. Je nach Lastfall (Sommer bzw. Winter) stellt sich entsprechend des Temperaturgradienten ein anderes statisches System ein. Abhängig von der LKW-Belastung liegt die Platte am Boden auf oder nicht. Die Berechnung ist damit hochgradig geometrisch nichtlinear, weshalb eine Superposition unmöglich ist. Die betrachteten Kombinationen der nichtlinearen Rechnung werden im Vorfeld gewählt. Die entsprechenden Kontakt- bzw. Aufstandsflächen (rot) ohne Verkehrslast sind in Abbildung 48 dargestellt und stellen den Initialzustand (t = 0) der transienten Berechnung dar. Die untersuchten Fälle sind in Tabelle 4 ersichtlich.

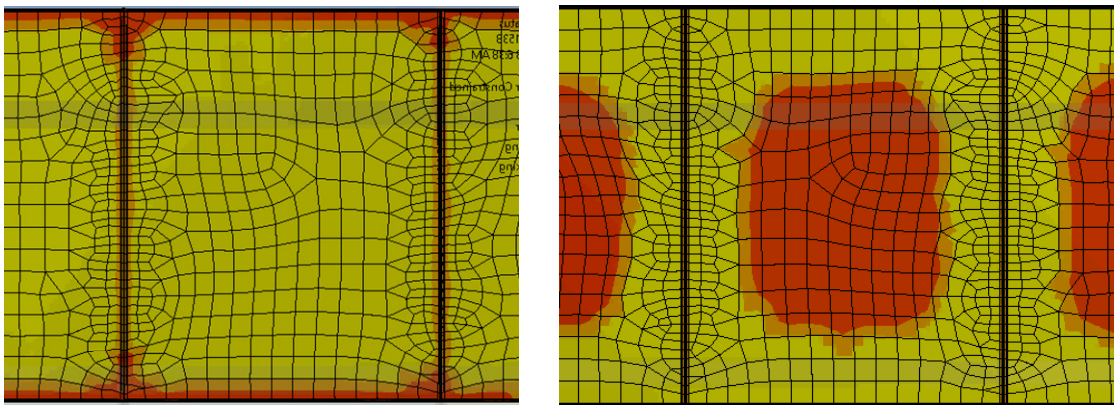

Abbildung 48: Aufstandsflächen (rot = aufliegend, gelb = abhebend) bei der Temperaturbelastung für Sommer (links) und Winter(rechts).

Die resultierenden Zeitverläufe der maximalen Verformungen und Hauptzugspannungen für den LFl Winter wurden exemplarisch für die Überfahrt eines 40 t schweren LKWs in Abbildung 49 dargestellt. Links sind Zeitverläufe der vertikalen Verformung an 3 Stellen

(Übergang auf die Platte (Anfahrt), in Plattenmitte (Mitte) und Plattenübergang zur nächsten Platte (Ausfahrt)) dargestellt. Rechts ist die während einer Überfahrt entstehende maximale Hauptzugspannung für die Platte über die Zeit dargestellt worden. Die vertikale Verformung beträgt im Initialzustand 0 mm. Wirkt nur die Temperatur (t = 1,0 -1,2 Sek), heben sich die Plattenränder (Anfahrt/Ausfahrt), die Plattenmitte bewegt sich aufgrund der Einsenkung aus dem Eigengewicht nach unten. Die erste Radachse trifft bei t= 1,2 Sek. auf die Platte auf und verursacht eine Verformung nach unten. Dies ist in der ersten Spitze im Zeit Verformungsverlauf erkennbar. Jede weitere auftreffende Radlast ist im Verformungsdiagramm als Spitze erkennbar, die maximale Verformung tritt bei der 2. Achse auf. Da die Platte in der Mitte voll aufliegt, ist die Verformung aus Verkehr hier kaum bzw. nur gering erkennbar. Die Hauptzugspannungen wurden für die gesamte Platte ermittelt, deren zeitlicher Verlauf ist in Abbildung 49 rechts dargestellt. Die Spannungen sind als Maximalwerte über die die Zeit aufgetragen und treten nicht immer an der gleichen Stelle auf. Dies ist auch der Grund, weshalb in dieser Darstellung keine Spannungsspitzen der Überfahrt ersichtlich sind. Initial, durch Temperaturverformung und Abheben der Ränder, beträgt die Hauptzugspannung 1,75 MPa durch Eigengewichtseinwirkung. Diese erhöht sich in Kombination mit dem LKW bis auf 1,98 MPa.

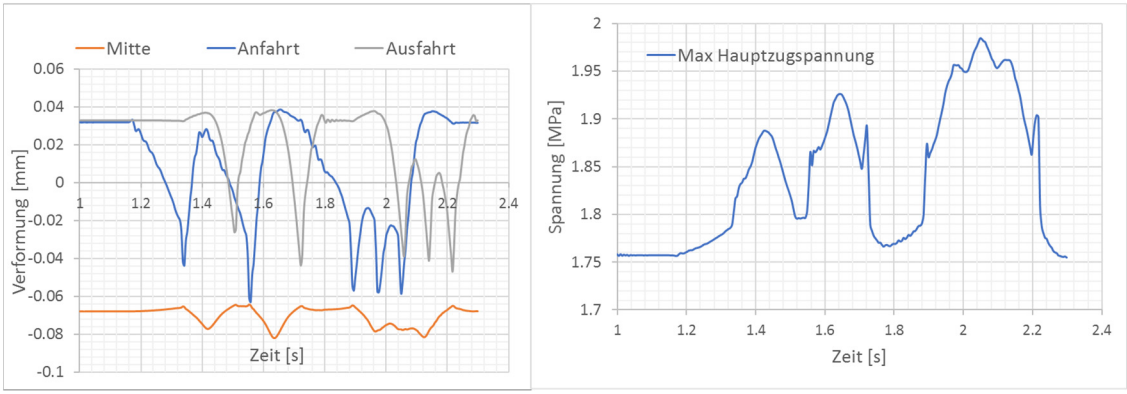

Abbildung 49: Exemplarische Zeitverläufe für Verformungen (links) und Spannungen (rechts) für den Lastfall Winter und 40 t LKW.

Im Sommer liegt die Platte am Rand auf, die Mitte ist frei. Es treten grundsätzlich die maximalen Zugspannungen auf, wenn sich die Radlasten in der Plattenmitte befinden. Abhängig von Querwirkungen und Verwölbungen des Plattenrandes können hier auch Maximalwerte im Randbereich bei ungünstigen Verhältnissen auftreten. Die Verformungszeitverläufe sind für den 40 t schweren LKW in Abbildung 50 dargestellt. Durch die Temperaturverformung haben sich die Ränder um 0,3 mm und Mitte um 0,85 mm gehoben. Hier ist der dynamische Überhöhungsfaktor infolge der Unebenheit beim

Plattenübergang von geringerem Einfluss, da die Plattenränder voll aufliegen. Die Verformungsspitzen der Einzelräder sind nicht mehr so eindeutig erkennbar, da sich aufgrund der geometrischen Situation mehrere Räder gleichzeitig auf der Platte befinden. Die Verformungen aus der Verkehrseinwirkung sind auch absolut im Sommer größer als im Winter (Anmerkung, die Skalierung ist in Abbildung 50 rechts um das ca. 6 - fache kleiner als für den Winter). Die entsprechenden Hauptzugspannungen betragen im Initialzustand, hervorgerufen durch Temperaturverformung und Eigengewicht, 1,12 MPa. In Kombination mit der Überfahrt erreichen sie mit max. 1,90 MPa eine ähnliche große absolute Spannung wie im Winter. Im Vergleich sind diese geringfügig kleiner, es treten aber Zyklen mit höherer Spannungsschwingbreite (mit 0,8 MPa ca. das 4-fache als im Winter) auf.

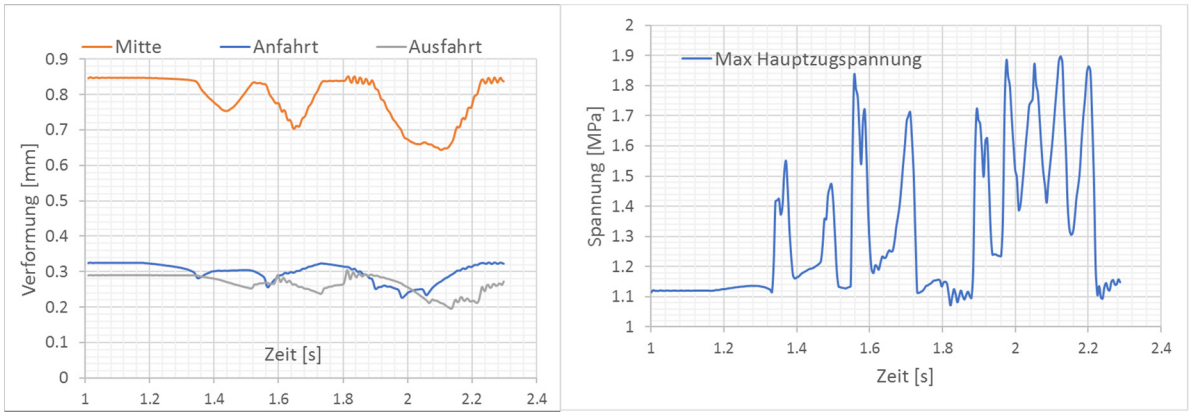

Abbildung 50: Exemplarische Zeitverläufe für Verformungen (links) und Spannungen (rechts) für den Lastfall Sommer 40 t LKW.

Für den Grenzzustand der Ermüdung ist jener Zustand mit mehreren Schwingbreiten maßgebend, unter den getroffenen Modellannahmen ist folglich der LF Sommer relevant. In Abbildung 50 rechts sind wieder die Hauptzugspannungen der gesamten Platte über die Zeit dargestellt. Diese treten wiederum nicht alle unbedingt am gleichen Ort auf, sondern sind die Maximalwerte die über die Zeit bei der Platte insgesamt auftreten.

Tabelle 4: Ergebnisse der transienten Analyse aus kombinierter Belastung Temperatur + Überfahrt.

Temperatur Lastfall	Gesamtmasse [t]	Versatz [mm]	Profil	Berechnete Amplituden der Zugspannungs-schwingbreiten [MPa]	Berechnete maximale Zugspannung [MPa]
Winter	40	5	RoadSTAR	0.23	1.98
Winter	40	5	künstlich	0.23	1.98
Winter	45	5	RoadSTAR	0.25	2.01
Winter	40	10	RoadSTAR	0.23	1.99
Winter	40	5	flach	0.23	1.99
Winter	35	5	RoadSTAR	0.20	1.96
Winter	40	0	RoadSTAR	0.22	1.98
Sommer	40	5	RoadSTAR	0.77	1.90
Sommer	40	10	RoadSTAR	0.96	2.09
Sommer	45	5	RoadSTAR	0.93	2.06

Zusammenfassung detaillierte FE- Simulation:

Die im Rahmen des AP 6 durchgeführten numerischen Simulationen der Fertigteile wurden mittels Berechnungen an maßgebenden Stellen mit Verkehrseinwirkung und in Kombination mit Temperatur detailliert untersucht.

Ungenauigkeiten und Einbaufehler auf Lasteinwirkungsseite wurden im Rahmen einer Parameterstudie untersucht, des Weiteren wurde der Lastvergrößerungsfaktor gegenüber den statischen Radlasten ermittelt.

Ein Lastvergrößerungsfaktor kann in Anlehnung an diese Parameterstudie gewählt werden. In den betrachteten Fällen wurde der maximale Vergrößerungsfaktor bei Versätzen von 10 mm und gutem Profiltyp von bis zu 1,7 erreicht. Bis 2 mm Versatz ist keine nennenswerte Erhöhung gegenüber einem guten Längsprofil zu erwarten.

Darauf aufbauend wurde durch unterschiedliche Kombinationen von Temperaturbelastungen, mit einhergehender Plattenwölbungen und der dynamischen LKW-Überrollung (Fahrzeug/Bauteilinteraktion) eine dynamische Zeitverlaufsanalyse durchgeführt. Die kombinierten Berechnungen wurden mit einem standardisierten LKW mit den Gesamtlasten 35 t, 40 t und 45 t durchgeführt. Die daraus erhobenen zeitabhängigen Spannungsverteilungen im Bauteil wurden in weiterer Folge mittels realen Messdaten

abgeglichen und dienen als Referenz für die weitere Dimensionierung, (siehe dazu Kapitel 9.3).

Mit einem mobilen Messsystem z. B. RoadSTAR können bei einer Standardgeschwindigkeit von 60 km/h die wichtigsten Oberflächeneigenschaften einer Fahrbahn sowie der Trassierungsparameter erfasst werden. Nach dem Einbau der Platten wurde die tatsächliche Einbaugenauigkeit und Längsversatz der Demonstratoren überprüft.

6.2 Dimensionierung

6.2.1 Stand der Dimensionierungspraxis im Betonstraßenbau

Die rechnerische Dimensionierung im Betonstraßenbau erfolgt in Deutschland auf der Grundlage „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen“ [RDO Beton 09]. Das Regelwerk wurde kürzlich redaktionell überarbeitet. Für die nächsten Jahre ist eine grundlegende Neubearbeitung geplant, welche die Anwendung weiterentwickelter Berechnungsmethoden (FEM, Probabilistik) beinhalten soll.

In Österreich ist aktuell noch kein verbindliches Verfahren für die Dimensionierung von Betonfahrbahnen eingeführt, es wird hier jedoch gerade eine RVS Richtlinie mit einem eigenen Bemessungskonzept ausgearbeitet, welche im Jahr 2018 veröffentlicht werden soll. Soweit eine rechnerische Dimensionierung durchgeführt wird, erfolgt diese derzeit noch auf der Grundlage des Eurocode 2 [ÖNORM EN 1992-1-1] unter Berücksichtigung des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes nach Eurocode 0 [ÖNORM EN 1990] und den anerkannten Methoden aus Mathematik, Mechanik und Ingenieurbau. Für eine einfache Dimensionierung stehen in der [RVS 03.08.63] Bemessungstabellen zur Verfügung.

6.2.2 Grundsätzliches

Das Dimensionierungsverfahren für Fertigteile im Betonstraßenbau wurde auf der Basis vorhandener technischer Regelwerke entwickelt. Im Wesentlichen stellt das Verfahren eine Synthese aus den technischen Regeln zum allgemeinen Beton- und Stahlbetonbau und den technischen Regeln zum Betonstraßenbau dar. Eine einfache Anwendung der Dimensionierungsvorschriften aus dem Stahlbetonbau wäre für bewehrte Fertigteile möglich, würde aber auf Grund der unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen zu einer deutlichen

Überdimensionierung führen. Andererseits ist eine Anwendung der Dimensionierungsregeln aus dem Straßenbau nicht möglich, weil zusätzlich der Transport- und Montagefall berücksichtigt werden muss. Außerdem werden nicht selten geometrische Restriktionen, welche für die rechnerische Dimensionierung von Betonfahrbahnplatten gelten, bei den Fertigteilen nicht eingehalten.

Die in Österreich und Deutschland vorhandenen Betonfahrbahnen sind fast ausschließlich als unbewehrte Betondecken ausgeführt. Es ist deshalb naheliegend, auch die Fertigteile unbewehrt herzustellen. Es gibt allerdings schwerwiegende Gründe, welche dafür sprechen, in den Fertigteilen eine Bewehrung vorzusehen. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang vor allem die Handhabungssicherheit während des Transportes und der Montage.

Bei den Transport- und Montageprozessen werden die Fertigteile unvermeidlicher Weise auf Biegung beansprucht. Dies ist mit Zugspannungen im Beton verbunden. Da Beton kein duktiler Baustoff ist, würde im Falle eines lokalen Materialversagens ein schlagartig auftretender Bruch entstehen. Aus diesem Grund ist sowohl in Österreich als auch in Deutschland die Berücksichtigung der Betonzugfestigkeit für den Standsicherheitsnachweis im Hochbau und Ingenieurbau verboten (siehe [DIN EN 1992-1-1/NA], Abschnitt 12.6). Ein normgerechter Nachweis der Handhabungssicherheit ist damit unmöglich. Die Sicherheit muss über entsprechende technologische Vorgaben für den Transport und die Verlegeung der Fertigteile erfolgen. Dies erscheint wenig praktikabel.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass zur Abdeckung der Spannungskonzentrationen im Bereich konstruktiv bedingter örtlicher Schwächungen (z. B. Dübelkammern) in jedem Fall Bewehrung erforderlich wird. Gleiches gilt für die Einbaubereiche von Transportankern.

In jedem Fall stellt ein bewehrtes Fertigteil, bei geringfügig höheren Kosten, die robustere Lösung dar, welche auch nach einem Riss des Betons seine volle Gebrauchstauglichkeit erhält.

Unter Beachtung der aufgeführten Tatsachen ist festzustellen, dass die bewehrten Fertigteile die Regellösung darstellen sollten.

Im Folgenden wird deshalb die Dimensionierung für die bewehrte Fahrbahnplatten näher erläutert. Für die unbewehrte Ausführungsvariante steht das Verfahren nach [RDO Beton 09] zur Verfügung.

6.2.3 Bewehrte Fertigteile

6.2.3.1 Dimensionierung für den Transport- und Montagelastfall

Auf den Transport- und Montagelastfall bezogen ist das Fertigteil wie ein normales Bauteil im Hochbau zu betrachten. Entsprechend ist die Dimensionierung nach den aktuellen Stahlbetonnormen ([DIN EN 1992-1-1], [DIN EN 1992-1-1/NA], [ÖNORM EN 1992-1-1], [ÖNORM B 1992-1-1]) durchzuführen.

Für den Lastfall „Herausheben aus der Schalung" ist eine Schalungshaftung zu berücksichtigen. Richtwerte für die anzusetzenden Haftungswerte sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Richtwerte für die Schalungshaftung

Schalungsart	Haftungswert
geölte Stahlschalung	1 kN/m²
glatte Holzschalung	2 kN/m²
rauhe Holzschalung	3 kN/m²

Die Angaben in Tabelle 5 gelten für ebene Flächen. Bei groben Strukturierungen kann auch der Ansatz höherer Haftungswerte erforderlich werden.

Die bei Transport- und Montage entstehenden Vertikalbewegungen führen zu Beschleunigungskräften, welche über entsprechende Erhöhungsfaktoren für das Fertigteilgewicht erfasst werden müssen. Welche Kräfte hier zu berücksichtigen sind, hängt von der vorgesehenen Technologie ab. So entstehen bei einem an einem Bagger angehängten Fertigteil beim Transport in unebenem Gelände erheblich höhere dynamische Kräften, als beim vorsichtigen Anheben mit einem Autokran. Eine grobe Orientierung geben die Richtwerte in Tabelle 6.

Tabelle 6: Richtwerte für den Hublastfaktor

Hebezeug	Hublastfaktor
Turmdrehkran	1,1 – 1,3
Autokran	1,1 – 1,6
Portalkran	1,2 – 1,6
Bagger	1,6 – 2,5
Gabelstapler	1,6 – 3,0

Die Transportanker sind der Einbautechnologie entsprechend zu wählen und im Bauteil anzuordnen. Die Tragfähigkeit ist den Herstellerangaben entsprechend nachzuweisen. Die vorgegebenen Einbaubedingungen (Mindestabstände, Rückhängebewehrung etc.) sind zu beachten.

Bei der Dimensionierung des Fertigteiles, wie auch beim Nachweis der Transportanker ist zu beachten, dass (sofern keine Ausgleichswippe verwendet wird) keine stabile Kraftverteilung auf die Anker bestehen muss. Das Fertigteil kann „kippeln“. Dabei werden kurzzeitig nur wenige Anker belastet (z. B. zwei Anker statt vier). Konsequenterweise dürfen also für die Nachweise auch nur die Anker berücksichtigt werden, welche ständig belastet werden.

Im Einbauzustand wird in Abhängigkeit von der gewählten Technologie das Fertigteil möglicherweise an Traversen aufgehängt. Auch für diesen Zustand sind die Plattenbeanspruchung und die Lasteinleitung an den Aufhängepunkten nachzuweisen. Speziell bei der Verwendung von Kragarmtraversen wird die Lasteinleitung in der Nähe des Plattenrandes notwendig. Hier sind entsprechend zugelassene Systeme zu verwenden. Die Traversen selbst sind nach den Regeln des Stahlbaus zu bemessen.

Bei der Dimensionierung der Fertigteile für den Transport- und Montagelastfall darf die Betonfestigkeit nur mit dem Wert angenommen werden, welcher beim Auftreten der jeweiligen Belastung auch mit Sicherheit erreicht ist.

6.2.3.2 Dimensionierung für den Gebrauchszustand

Sicherheitskonzept

Das Versagen einer bereits verlegten Betonstraßenplatte bedeutet keine unmittelbare Gefährdung für Leib und Leben. Deshalb ist es nicht notwendig, dem Sicherheitskonzept aus dem Hochbau ([DIN EN 1990] / [ÖNORM EN 1990]) zu folgen, welches normalerweise in Verbindung mit den Stahlbetonregelwerken Anwendung findet. Vielmehr kann in Einklang mit der Dimensionierungsrichtlinie des Betonstraßenbaues [RDO BETON 2009] auf alle expliziten Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsbeiwerte verzichtet werden.

Materialparameter

Dem oben beschriebenen Sicherheitskonzept folgend, kann auf die Teilsicherheitsfaktoren für die Materialparameter verzichtet werden. Weil keine Langzeitbelastung des Betons anzunehmen ist, kann auch der Faktor α_{cc} gleich 1 gesetzt werden (siehe [DIN EN 1992-1-1],

Abschnitt 3.1.6). Damit sind für die Festigkeitsparameter die charakteristischen Werte zu verwenden. Es gilt:

$$f_{cd} = f_{ck} \quad (1)$$

und

$$f_{yd} = f_{yk} \quad (2)$$

f_{ck} – charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit

f_{cd} – Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

f_{yk} – charakteristischer Wert der Stahlfestigkeit

f_{yd} – Bemessungswert der Stahlfestigkeit

Die konkreten Bemessungswerte für die Betonfestigkeit entsprechen damit der Bezeichnung der Betonklasse (Zylinderdruckfestigkeit). Für den Bewehrungsstahl gilt normalerweise f_{yk}=50MPa.

Die Steifigkeitswerte können, soweit keine genaueren Angaben vorliegen, so angenommen werden, wie in den [RDO BETON 2009] (siehe Tabelle 7) angegeben.

Tabelle 7: Werte für den Zug-E-Modul der einzelnen Straßenbetonklassen entsprechend [RDO BETON 2009]

Straßenbetonklasse	E_{ctm} [MPa]
StC 30/37 - 3,0	37.000
StC 30/37 - 3,3	39.000
StC 30/37 - 3,7	41.000
StC 35-45 – 3,3	39.000
StC 35-45 – 3,7	41.000
StC 35-45 – 4,0	42.000
StC 40/50 – 4,0	42.000
StC 40/50 – 4,3	43.000
StC 40/50 – 4,6	44.000

Die Wärmedehnzahl des Betons kann ebenfalls entsprechend [RDO BETON 2009] (siehe Tabelle 8) angenommen werden.

Tabelle 8: Werte für die Wärmedehnzahl entsprechend [RDO BETON 2009]

Anteil gebrochener, grober Gesteinskörnungen im Beton	Wärmedehnzahl α_{cT} [10^{-6}/K]
Beton mit bis zu 20% Anteil	13,0
Beton mit 20 bis < 40% Anteil	12,1
Beton mit 40 bis < 60% Anteil	11,5 (Regelfall)
Beton mit ≥ 60 Anteil	11,0

Die Querdehnzahl für den Beton kann für alle Betonklassen mit 0,2 angesetzt werden.

Verkehrslasten

Im Verkehrswegebau, wie auch im Brückenbau können die Verkehrslasten bezüglich der Laststellung und -intensität in einer unendlichen Vielfalt auftreten. Dabei können die Achskonfigurationen, die Radlasten, die Laststellungen, die Lastübertragung von Nachbarplatten sowie fahrdynamische Einflüsse eine Rolle spielen. Es ist deshalb enorm aufwendig, für jeden konkreten Dimensionierungsfall die maßgebende tatsächlich mögliche Belastung zu ermitteln. Aus diesem Grunde ist es üblich, eine typische Belastung zu definieren (z. B. das Lastmodell 1 im Brückenbau), welche für jeden Fall eine ausreichende Dimensionierung sicherstellt. Die allgemeine Anwendbarkeit dieser Lastmodelle ist durch systematische Vergleichsrechnungen belegt.

Ein derartiges Lastmodell gibt es im deutschen, wie auch im österreichischen Betonstraßenbau nicht. Das in der deutschen Dimensionierungsvorschrift [RDO BETON 2009] Anwendung findende Lastmodell hat sich aber in der bisherigen Dimensionierungspraxis bewährt. Systematische Serienrechnungen haben gezeigt, dass das Dimensionierungssystem mit diesem Lastmodell über den gesamten relevanten Parameterbereich sinnvolle Ergebnisse liefert. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, auch für die Dimensionierung der Fertigteile dieses Lastmodell zu verwenden.

Das Lastmodell der [RDO BETON 2009] sieht für die Verkehrslast den Ansatz einer einzelnen Radlast vor. Die Normradlast F_n ist mit 50 kN festgelegt. Lastfallabhängig erfolgt die Beaufschlagung mit einem Anpassungsfaktor.

Fahrdynamische Einflüsse werden mit einem Stoßfaktor abgedeckt.

Damit ergibt sich die anzusetzende Berechnungsradlast wie folgt:

$$F_d = F_n \cdot \gamma_{LF} \cdot \gamma_S \quad (3)$$

F_d – Berechnungsradlast

F_n – Normradlast

γ_{LF} – lastfallabhängiger Anpassungsfaktor

γ_S – lastfallabhängiger Stoßfaktor

Eine Radaufstandsfläche ist in dem bestehenden Vorschriftenwerk nicht angegeben. In Anlehnung an [DIN EN 1991-2] bzw. [ÖNORM EN 1992-1-1] kann eine Aufstandsfläche von 40 cm x 40 cm angenommen werden.

Wie bereits oben erwähnt, sehen die [RDO BETON 2009] nur den Ansatz einer einzigen Radlast vor. Diese ist an der ungünstigsten Stelle anzuordnen. Diese Lastdefinition wird nachvollziehbar, wenn das Gesamtkonzept der Schnittgrößenberechnung in den [RDO BETON 2009] betrachtet wird. Es sieht vor, dass die Biegemomente in der Betonplatte mit der Westergaard-Formel (siehe [WESTERGAARD 1926]) berechnet werden. Diese stellt die analytische Lösung der Differentialgleichungen dar, welche das mechanische Verhalten einer elastisch gebetteten Platte unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen beschreibt. Die Westergaard-Formel erlaubt die Bestimmung der Biegemomente für den Fall einer Laststellung in Plattenmitte, am Plattenrand und in der Plattenecke. Die Maximalmomente ergeben sich für die Laststellung am Plattenrand. Folglich wird auch nur dieser Fall berechnet. Die für die Dimensionierung maßgebenden maximalen Zugspannungen entstehen hier an der Plattenunterseite direkt unter der Radlast. Passend zu diesem Verkehrslastansatz wird die temperaturbedingte Plattenbeanspruchung mit einem positiven Temperaturgradienten (oben wärmer als unten) angenommen. Dieser führt zu einer Plattenaufwölbung und liefert infolge des Platteneigengewichts ebenfalls Zugspannungen an der Unterseite. Die einzeln berechneten Spannungswerte aus Verkehrslast und Temperaturbeanspruchung werden anschließend addiert. In den [RDO BETON 2009] wird erwähnt, dass es auch andere temperaturbedingte Vorverformungen gibt (Anhang 2, Bild A2.1), es wird aber implizit unterstellt, dass sich damit keine höheren Spannungswerte ergeben, als im berechneten Lastfall.

Die beschriebene pragmatische Vorgehensweise im aktuell gültigen deutschen Regelwerk ist den limitierten Anwendungsmöglichkeiten der analytischen Berechnungsformeln geschuldet. Da mittlerweile aber leistungsfähige Softwarelösungen zur Berechnung elastisch gebetteter Platten allgemein zur Verfügung stehen, kann hier eine Verbesserung erfolgen.

Es wird ein weiterer Berechnungslastfall eingeführt, welcher statt der Aufwölbung der Platte (positiver Temperaturgradient) eine Aufschüsselung (negativer Temperaturgradient) voraussetzt. Dies scheint umso mehr geboten, da verschiedene Forschungen, nicht zuletzt auch durch die Verfasser der RDO Beton selbst, gezeigt haben, dass dieser Fall in der Praxis dominierend ist (siehe [PFEIFER 1973]). Die Aufschüsselung der Betonplatte erzeugt Zugspannungen an der Oberseite. Entsprechend ist die zu überlagernde Verkehrsbelastung auch so anzusetzen, dass sich hier Zugspannungen ergeben. Die ungünstigste Laststellung ist damit eine andere als im ersten Berechnungslastfall. Die Radlast ist bei einer rechteckigen Platte an der Ecke anzuordnen. Dies führt aber bei der Berechnung einer einzelnen frei aufgelagerten Platte zu einem Modellierungsproblem. Die Platte kippt ein Stück weit in Richtung der Radlast. Sie rollt auf ihrer gewölbten Unterseite. Damit werden die Plattenverformungen und somit auch die Biegespannungen minimiert. In der Praxis tritt dieser Effekt nicht, bzw. nicht in diesem Maße auf, weil die Platte durch die Dübel bzw. Anker allseitig fixiert ist. Um eine realistische Spannungsberechnung für diesen Lastfall zu gewährleisten, wird deshalb eine zweite Radlast angesetzt, welche die Kippbewegung verhindert.

Im Gegensatz zur Vorgehensweise nach [RDO BETON 2009] sind also zwei grundsätzliche Lastfallkombinationen (LFK) zu berechnen:

- LFK 1: Eine Radlast an ungünstigster Stelle mit Aufwölbung als Vorverformung (positiver Temperaturgradient)
- LFK 2: Zwei Radlasten in ungünstigster Stellung mit Aufschüsselung als Vorverformung. (negativer Temperaturgradient)

Querkraftübertragung an den Montagefugen

Die Fugen zwischen den einzelnen Fertigteilen bzw. zwischen den Fertigteilen und der Bestandsfahrbahn werden im Regelfall konstruktiv so gestaltet, dass eine Querkraftübertragung möglich ist. Dies führt bei einer randnahen Stellung der Radlast dazu, dass ein wesentlicher Anteil der Last auf die Nachbarplatte übertragen wird. Die mechanische Beanspruchung des Fertigteiles reduziert sich entsprechend.

Darüber hinaus können über verdübelte Fugen auch in begrenztem Maße Biegemomente übertragen werden. Temperaturbedingte Plattenverformungen (Aufwölben/Aufschüsseln) werden behindert. Dieser Effekt ist aber im Vergleich zu den Wirkungen einer Verkehrslast auf die verformte Platte zu vernachlässigen.

Generell ist festzustellen, dass die Querkraftübertragung an den Fugen die Spannungen in der Fertigteilplatten reduzieren. Da aber derzeit noch keine gesicherten Erkenntnisse über die langfristige Wirksamkeit der Querkraftübertragung bei Fertigteilen vorliegen, wird empfohlen, auf den rechnerischen Ansatz dieser Effekte zu verzichten und immer Einzelplatten mit freien Rändern zu dimensionieren.

Temperaturbelastung

Der Temperaturzustand der Fahrbahnplatten ist normalerweise durch einen nichtlinearen Temperaturverlauf über den Plattenquerschnitt gekennzeichnet. Es ist möglich, diesen Temperaturzustand in einen nichtlinearen, einen linearen und einen konstanten Anteil aufzuspalten (Abbildung 51).

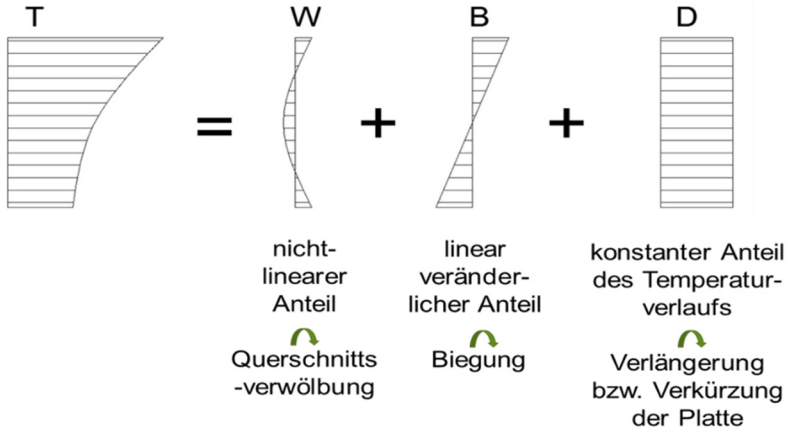

Abbildung 51: Temperaturanteile

Dabei erzeugt der nichtlineare Temperaturanteil eine Querschnittsverwölbung und damit verbunden Zwangsspannungen im Bauteil. Diese werden zurzeit bei der Dimensionierung nicht berücksichtigt.

Der konstante Anteil bewirkt eine Plattendehnung und, sofern diese verhindert wird, eine Druckspannung im Querschnitt. Da diese Druckspannungen nur temporär auftreten und die Betonplatte eher stabilisieren, können sie bei der Dimensionierung vernachlässigt werden.

Einzig der linear verlaufende Anteil wird berücksichtigt. Dieser führt zu einer Plattenbiegung. Die Biegung wird durch Auflasten senkrecht zur Plattenebene (z. B. durch das Platteneigengewicht) ganz oder teilweise zurückgestellt. Im Ergebnis entstehen Biegespannungen.

Im Rahmen einer Dimensionierung nach [RDO Beton 09] wird die Temperaturbelastung also mit einem einzigen skalaren Wert, dem Temperaturgradienten, berücksichtigt. Die Größe der jeweils für die Dimensionierung anzusetzenden Lastwerte ist durch die statistische Auswertung empirischer Daten bestimmt worden. Zurzeit erfolgt im Rahmen eines Forschungsprojektes eine Präzisierung der Gradientenwerte. Bis zum Abschluss dieser Arbeiten sollte mit den aktuell in den [RDO BETON 2009] angegebenen Werten gerechnet werden. Der Temperaturgradient ist hier in Abhängigkeit von der Plattendicke definiert. Es gilt:

$$\delta_T = C_1 \cdot e^{-0{,}004 \cdot h_d} \tag{4}$$

mit

- δ_T Temperaturgradient [K/mm]
- C_1 Lastfallabhängiger Faktor zur Ermittlung des Temperaturgradienten
- h_d Solldicke [mm] der Betondecke

Der positive und der negative Gradient sind in gleicher Größe anzusetzen. Dies geht nicht ganz mit den Ergebnissen der statistischen Auswertungen konform, welche eine stärkere Ausprägung positiver Temperaturgradienten ergeben. Mit der Gleichstellung der negativen Gradientenwerte soll aber dem Umstand Rechnung getragen werden, dass es fast immer eine Aufschüsselung gibt. Diese ist durch die Schwindverformung des Betons bedingt und wird von der temperaturbedingten Verformung überlagert.

Berechnungslastfälle

Für jede Lastfallkombination (LFK1 / LFK2) sind zwei Berechnungslastfälle zu untersuchen:

- LF 1: Lastfall mit extremen Lasten (Grenzzustand der Tragfähigkeit, GZT)
- LF 2: Lastfall zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Dafür sind jeweils die lastfallabhängigen Berechnungswerte für die Einwirkungen zu ermitteln und die zum Lastfall gehörenden Nachweise zu führen.

Die lastfallabhängigen Beiwerte zur Bestimmung der Berechnungslasten sind in Tabelle 9 bis Tabelle 11 aufgeführt.

Tabelle 9: Anpassungsfaktor γ_{LF} für die Radlast entsprechend [RDO BETON 2009]

Straßenklasse Beanspruchung	Lastfaktor γ_{LF}	
	GZT	GZG
Bundesautobahnen	1,6	1,15
Bundesstraßen	1,6	1,1
Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen	1,3	1,0
Sonderbeanspruchung, zusätzlich	gesonderte Ermittlung	$\geq$ 1,0 (abhängig von der Straßenklasse)
nicht zuordnungsfähige Verkehrsflächen	$\frac{2 \cdot F_{max}}{100}$	oberes 2,5% Quantil

Tabelle 10: Stoßfaktoren γ_s für die Radlast nach [RDO BETON 2009]

zulässige Geschwindigkeit [km/h]	B [Mio.]	Lastfaktor γ_S	
		GZT	GZG
> 30	> 0,8	1,08	1,16
	$\leq$ 0,8	1,14	1,22
	Sonderverkehrsflächen	1,025...1,50	1,025...1,50
≤ 30	alle Langsamfahrbereiche	1,18	1,25

Tabelle 11: Anpassungsfaktor C_1 für den Temperaturgradienten entsprechend [RDO BETON 2009]

Nachweisfall	Häufigkeit des Auftretens	Faktor C_1
GZT	0,3 %	0,140
GZG	10 %	0,091

Berechnung der Biegemomente und der erforderlichen Bewehrung

Wird für die Ermittlung der erforderlichen Bewehrung eine handelsübliche Software verwendet, so sind die Materialparameter sowie die Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsbeiwerte entsprechend den obenstehenden Erläuterungen einzustellen. Sollte dies nicht möglich sein, ist auch eine Dimensionierung nach ÖNORM bzw. DIN möglich. Das Fertigteil ist dann allerdings überdimensioniert.

Alternativ ist es möglich, nur die Biegemomente mit der Software zu berechnen und die Ermittlung des erforderlichen Bewehrungsquerschnittes mit traditionellen Methoden (z. B. dem allgemeinen Bemessungsdiagramm) durchzuführen.

Die Modellbildung bleibt der Verantwortung des Ingenieurs überlassen. Eine Berücksichtigung der mittragenden Wirkung der Nachbarplatten ist zulässig. Dabei ist in jedem Fall zu prüfen, ob die erforderliche Querkraftübertragung durch die konstruktive Ausbildung der Fugen auch tatsächlich sichergestellt ist.

Bei der Benutzung des Bettungsmodulverfahrens ist zu beachten, dass eine konstante Bettung über die gesamte Auflagerfläche in den Randbereichen zu weich ist und damit zu verfälschten Ergebnissen führen kann.

Nachweis der Beschränkung der Spannung (LF 2):

Die Beschränkung der Spannungen für den Bewehrungsstahl und den Beton ist nach [DIN EN 1992-1-1/ ÖNORM EN 1992-1-1] notwendig, um Längsrisse über den Bewehrungsstählen und ein instabiles Risswachstum zu verhindern. Der Nachweis ist mit den Lasten des LF2 zu führen. Es wird gefordert:

$$\sigma_c < 0{,}6 \cdot f_{ck} \tag{5}$$

und

$$\sigma_s < 0{,}8 \cdot f_{yk} \tag{6}$$

σ_c – Betonspannung

σ_s – Stahlspannung

Für den Nachweis wird elastisches Materialverhalten und eine gerissene Zugzone angenommen.

In diesem Fall kann die Druckzonenhöhe mit

$$x = d \cdot \left(\sqrt{\rho \cdot \alpha_e \cdot (\rho \cdot \alpha_e + 2)} - \rho \cdot \alpha_e\right) \tag{7}$$

ρ – Bewehrungsgrad

d – statische Nutzhöhe

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c} \tag{8}$$

E_s – E-Modul Bewehrungsstahl

E_c – E-Modul Beton

berechnet werden. Die Gleichung entsteht durch elementare Umformung der in [DA220 1979], Abschnitt 1.9.2.1 angegebenen Beziehung.

Für den inneren Hebelarm gilt dann:

$$z = d - \frac{x}{3} \tag{9}$$

Die Betonspannung berechnet man mit

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot M}{100cm \cdot x \cdot z} \tag{10}$$

M – Biegemoment

und die Stahlspannung mit

$$\sigma_s = \frac{M}{z \cdot A_s} \tag{11}$$

Die Einhaltung der Stahlspannungen dürfte im Allgemeinen kein kritischer Punkt sein.

Nachweis der Beschränkung der Rissbreite (LF 2):

Wegen der zu erwartenden Tausalzbelastung sollte die Rissbreite unter der Lasteinwirkung nach LF 2 auf 0,2 mm begrenzt werden.

Nach [DIN EN 1992-1-1 / ÖNORM EN 1992-1-1], Abschnitt 7.3.4 kann die Rissbreite mit folgender Formel berechnet werden:

$$w_k = s_{r.max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \tag{12}$$

w_k – Rissbreite

$s_{r.max}$ – maximaler Rissabstand bei abgeschlossenem Rissbild

ε_{sm} – mittlere Dehnung der Bewehrung

ε_{cm} – mittlere Dehnung des Betons

mit

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0{,}6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \tag{13}$$

und

$$s_{r.max} = \frac{d_s}{3{,}6 \cdot \rho_{eff}} \leq \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3{,}6 \cdot f_{ctm}} \tag{14}$$

k_t – Faktor zur Berücksichtigung der Dauer der Lasteinwirkung

ρ_{eff} – effektiver Bewehrungsgrad

d_s – Stabdurchmesser

Der Faktor k_t kann wegen der Kurzzeitigkeit der Lasteinwirkungen mit 0,6 angesetzt werden.

Der effektive Bewehrungsgrad ist mit

$$\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c.eff}} \tag{15}$$

$A_{c.eff}$ – Wirkungsbereich der Bewehrung

definiert.

Der Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{c.eff}$ kann mit

$$A_{c.eff} = b \cdot h_{eff} \tag{16}$$

B – Querschnittsbreite

h_{eff} – effektive Querschnittshöhe

berechnet werden.

Die effektive Querschnittshöhe ist als der kleinste Wert aus:

$$h_{eff} = 2.5 \cdot (h_d - d) \tag{17}$$

und

$$h_{eff} = \frac{(h_d - x)}{3} \tag{18}$$

anzunehmen.

Nachweis der Ermüdungssicherheit:

Nach [DIN EN 1992-2 NA], Abschnitt 6.8.1 (g/h) muss kein Ermüdungsnachweis geführt werden, wenn keine geschweißte Bewehrung verwendet wird und die Druckspannung im Beton unter der seltenen Einwirkungskombination auf $0{,}6 \cdot f_{ck}$ beschränkt wird.

Die seltene Einwirkungskombination im Sinne der [DIN EN 1992-2 NA] kann mit den Lasten des LF 2 für die Betonstraßendimensionierung gleichgesetzt werden. Sofern keine Mattenbewehrung verwendet wird, ist mit dem Nachweis der Begrenzung der Betonspannung also auch der Ermüdungsnachweis erbracht.

Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens:

Die Mindestbewehrung zur Sicherstellung des duktilen Bauteilverhaltens nach [DIN EN 1992-1-1 / ÖNORM EN 1992-1-1], Abschnitt 9.2.1.1 soll ein schlagartiges Versagen verhindern. Die Bewehrung ist so zu bemessen, dass der Zuganteil des Biegemomentes beim Versagen der Betonzugzone von der Bewehrung aufgenommen werden kann. Daraus folgt, dass die erforderliche Mindestbewehrung mit der Biegezugfestigkeit des Betons ansteigt. Da die Straßenbetone eine hohe Biegezugfestigkeit besitzen, ergeben sich entsprechend hohe

Mindestbewehrungsquerschnitte. Die Mindestbewehrung wäre damit im Regelfall für die Bemessung maßgebend. Dies ist auch nicht überraschend, da Betonplatten normalerweise die planmäßige Belastung ohne Bruch des Betons aufnehmen können.

Die Platten wären damit für einen Zustand zu dimensionieren, welcher planmäßig nie eintreten sollte. Im Hochbau und Ingenieurbau wird dies auch so gefordert. Für den hier interessierenden Fall der Betonplatte im Gebrauchszustand kann auf die Forderung nach Duktilität aber verzichtet werden, weil aus einem Querschnittsversagen keine unmittelbare Gefahrensituation entsteht.

Ein gewisses duktiles Verhalten ergibt sich auch bereits aus der flächigen Auflagerung, welche Spannungsumlagerungen ermöglicht. Aus diesem Grund erlauben auch die gültigen Stahlbetonnormen auf die Mindestbewehrung bei Gründungsbauteilen zu verzichten.

6.2.4 Unbewehrte Fertigteile

6.2.4.1 Dimensionierung für den Transport- und Montagelastfall

Wie bereits in Abschnitt 6.2.2 erläutert, ist es für einen Nachweis der Handhabungssicherheit nicht ausreichend, die Biegespannungen zu begrenzen. Selbst wenn die Zugspannungen mit den zu erwartenden Einwirkungen unterhalb der rechnerischen Zugfestigkeit liegen, ist ein Bruch nicht mit hinreichender Sicherheit auszuschließen. Die Handhabungssicherheit ist deshalb mit detaillierten technologischen Anweisungen für Transport und Montage sicherzustellen.

6.2.4.2 Dimensionierung für den Gebrauchszustand

Die Dimensionierung für den Gebrauchszustand kann nach [RDO Beton 09] erfolgen.

6.3 Beginn einer belastungsabhängigen Katalogisierung

Fertigteile werden derzeit entsprechend der vorhandenen Konstruktion hinsichtlich Länge, Breite und Dicke ausgebildet. Entsprechend der standardisierten Regelaufbauten (gemäß RStO 12] bzw. [RVS 03.08.63]) sind Deckendicken zwischen 16 und 29 cm zu erwarten. Aufgrund der im Fertigteil vorhandenen Bewehrung und der hohen Festigkeitsklasse des Betons kann von einer ausreichenden Tragfähigkeit in jedem Fall ausgegangen werden.

Eine belastungsabhängige Ausbildung der Fertigteile ist derzeit nicht absehbar und erfordert weitere Forschung.

7 ENTWICKLUNG BAUTECHNOLOGIE UND BAUABLAUF

7.1 Untergrundprofilierung

Ist im Vorfeld die Entnahme von Bohrkernen im betrachteten Bereich möglich, kann der Schichtenaufbau annähernd genau ermittelt und bei der Planung der Fertigteile berücksichtigt werden. So kann der zu verfüllende Hohlraum möglichst gering gehalten werden.
Sind jedoch keine oder nur ungenaue Aussagen zum vorhandenen Befestigungsaufbau vorhanden, kann die Fertigteildicke nur abgeschätzt werden. Dies führt im Allgemeinen dazu, dass das Fertigteil zu dünn oder zu dick für den jeweiligen Anwendungsbereich ausgebildet und eine Bearbeitung des Untergrundes erforderlich ist. Ist das Fertigteil zu dick ausgebildet, muss die vorhandene Tragschicht abgetragen werden, um die Möglichkeit der Unterpressung und gleichmäßige Auflagerungsbedingungen zu schaffen. Ist es hingegen zu dünn ausgebildet, ist der Hohlraum unter dem Fertigteil zu groß, um in einem wirtschaftlichen Rahmen mit Siliaktharz ausgefüllt werden zu können. Beide Aspekte erfordern also einen Eingriff zur Untergrundprofilierung vor Fertigteileinbau.

7.1.1 Abtragen der Tragschicht

Das Entfernen überschüssigen Tragschichtmaterials hängt im Wesentlichen von der Art der Tragschicht ab. Bei ungebundenen Tragschichten kann dies recht einfach mit Schaufeln, Bagger oder ähnlichen Bearbeitungswerkzeugen erfolgen, die in den Arbeitsraum hineinpassen. Bei gebundenen Tragschichten gestaltet sich dies deutlich schwieriger. Hier muss man durch Stemmen mit Meißelbagger bzw. Presslufthammer, Fräsen oder mit anderen abtragenden Verfahren die Tragschicht lösen und aus dem Raum für das Fertigteil entfernen. Aufgrund der eher dünner bemessenen Fertigteile ist das Abtragen von Tragschichtmaterial jedoch recht selten oder zumindest nur an vereinzelten Stellen erforderlich.

7.1.2 Auffüllen von Ausbruchstellen in der Tragschicht

Wird ein Reprofilieren der Tragschicht durch Auffüllen erforderlich, weil das Fertigteil zu dünn geplant ist oder die Tragschicht beim Ausbau beschädigt wurde, empfiehlt es sich, den Hohlraum mit einem Einkorngemisch aufzufüllen. Dieses muss nach der Schüttung ausreichend Hohlräume aufweisen, die mit dem Silikatharz verfüllt werden können. Hierdurch kann die Menge an notwendigem Silikatharz reduziert und somit die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden.

7.2 Transport unbewehrter Fertigteile

Wie bereits festgestellt, werden unbewehrte Fertigteilplatten aufgrund der Handhabungssicherheit während des Transportes und der Montage momentan nicht berücksichtigt. Daher wurden in diesem Forschungsvorhaben alle Fertigteile, mit Ausnahme der Bohrlochfüllkörper, bewehrt ausgeführt.

Das zur Anwendung gekommene Transportankersystem HESTER-Kombi 2.0 ist jedoch so konzipiert, dass es ohne spezifische Bewehrung (Rückhängebewehrung oder Schrägzugbewehrung) auskommt.

Mit dem System können Fertigteile bis zu einem Gewicht von 7.000 kg transportiert werden.

Ist ein Transport unbewehrter Fertigteile geplant, muss auf die Varianten mit Vakuumhebetechnologie oder auf Hochleistungsgurte zurückgegriffen werden. Es stellt sich jedoch immer die Frage nach der Handhabungssicherheit auf der Baustelle, da die Platte teilweise deutlich angehoben werden müssen. Insbesondere bei der Vakuumtechnologie ist die entsprechende Technik auf der Baustelle vorzuhalten. Bei beiden Technologien ist jedoch die Grenze hinsichtlich des zu bewegenden Gewichts des Fertigteils zu beachten.

7.3 Einbaugeräte

Zum Verlegen der Fertigteile kommen in der Regel Geräte wie Bagger oder Mobilkrane zum Einsatz. Hierbei ist darauf zu achten, dass diese auch dann noch über ausreichende Kraft verfügen, wenn der Schwerpunkt des Fertigteils aufgrund der Abmessungen etwas entfernter vom Hebegerät ist. Bei den bisher verwendeten kreisrunden Fertigteilen mit Durchmesser bis 190 cm und einem Gewicht von ca. 1,5 t ist hierzu ein entsprechender Bagger ausreichend. Sobald jedoch großflächigere Fertigteile verlegt werden, muss in der Regel jedoch ein Mobilkran mit höheren zulässigen Lasten eingesetzt werden.

7.4 Verschlussmaterial für Dübelkammern/Dübelaussparungen

Die nach unten offenen Dübelkammern werden bei der aktuellen Bauweise durch aufsteigendes Silkatharz verfüllt, dass über die Verpressöffnungen in den Hohlraum unter der Platte eingebracht wird. Ggf. erfolgt zudem eine Füllung von oben über die Fuge. Im Projekt [HESTER 2018] wurden FEM-Berechnungen durchgeführt, um hinsichtlich der erforderlichen Materialeigenschaften und der Ausbildung der Dübelkammern weitere Aussagen treffen zu

können. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass das Füllmaterial der Dübelkammern möglichst einen E-Modul > 10.000 MPa aufweisen sollte, um die volle Querkraftübertragung zu erreichen. Angestrebt werden sollte ein Wert > 30.000 MPa (betonähnlich). Es hat sich zudem gezeigt, dass die Steifigkeit des Füllmaterials Einfluss auf die erforderliche Dübellänge hat. Bei betonähnlicher Steifigkeit ist eine Dübellänge von 12 cm, bei weichen Materialien (E < 10.000 MPa) über 20 cm erforderlich.

Die innerhalb des beschriebenen Forschungsvorhabens durchgeführten großformatigen Laborversuche haben jedoch gezeigt, dass die Konstruktion Dübel/Dübelkammer (gefüllt mit Silikatharz) eine wirksame Querkraftübertragung ermöglicht, die Querkraftübertragung zu einer wesentlichen Reduzierung der maximalen Spannungen in der belasteten Platte führt und dass die Größe des in den [RDO Beton 09] angegebenen Dübelfaktors experimentell bestätigt wurde.

Aufgrund der o.g. Berechnungsergebnisse wäre es jedoch zielführend, für die Kopplung ein anderes Füllmaterial zu verwenden, das höhere Steifigkeiten aufweist. Dazu ist ein Abgrenzen der verschiedenen Bereiche (Kopplungselemente und Bettung) notwendig. Bei den momentan verwendeten, nach unten offenen Dübelkammern ist eine Abgrenzung nur schwer möglich, da das Silkatharz auch in der Fuge aufsteigen soll. In diesem Bereich ist ein steiferes Material nicht zielführend. Jeder Kopplungsbereich müsste also für sich vollständig abgegrenzt und eine separate Zuführung des betonähnlichen Materials ermöglicht werden können. Denkbar wäre dies über eine elastische Dichtschnur, die um die Kammern herum aufgeklebt wird. Ein ähnliches Vorgehen wurde bereits bei der amerikanischen „Super-Slab“® umgesetzt. In jedem Fall ist es notwendig, die einzelnen Kammern mit zwei Öffnungen zu versehen, zum einen, um Material einbringen zu können und zum anderen, um Luft während des Einfüllens entweichen lassen zu können. In Deutschland wurde bisher angestrebt, so wenig Öffnungen wie möglich in der Fertigteiloberfläche vorzusehen. Auch aus diesem Grund wurde diese Variante nicht eingehender untersucht. Im Gegensatz zu dem amerikanischen Vorgehen, bei dem die Platte in ein vorbereitetes Mörtelbett gesetzt wird, kann zudem durch die eingesetzte Höhenjustiertechnik (Traversen oder Elemente) nicht gewährleistet werden, dass die Abdichtung an der Unterseite auch ausreichend ist.

Eine mögliche Alternative ist die Abwandlung des bereits mehrfach getesteten Systems Nut-Nut. Hierbei könnten einzelne, sich an den Fertigteilplatten gegenüberliegende Aussparungen vorgesehen werden, die mit Dichtmaterial umgeben sind und nach dem Verlegen eine Kammer bilden. Diese könnte schließlich über separate Öffnungen gefüllt werden. Auf diese Art können Kopplungselement und Fugenspalt voneinander getrennt werden. Diese Variante

bietet sich jedoch nur für die Kopplung von Fertigteil zu Fertigteil an, da die entsprechenden Aussparungen im Bestand nicht hergestellt werden können.

7.5 Verschlussmaterial für Bohrlöcher

Ebenso wie für die großen FT, die in den vorherigen Kapiteln Thema waren, wird für das FT zum Bohrlochverschluss der zuvor beschriebene, für den Straßenbau geeignete Beton verwendet. Im Vergleich zu den sonst üblichen Verschlussmethoden mit Betonersatzsystemen oder Kaltasphalt, die im Vergleich zum angrenzenden Beton andere mechanische Eigenschaften aufweisen, bildet ein derartiger Verschluss eine Einheit mit der Betondecke. Fixiert wird das FT ebenfalls mit dem für die großen FT verwendeten Silikatharz. Hierdurch wird das hochwertige Verschlusssystem komplettiert.

8 DEMONSTRATOREN

Die Demonstratoren dienen der Überprüfung der Umsetzbarkeit der theoretischen Erkenntnisse vorangegangener Arbeitspakete in die Praxis. Sie bilden demnach den Abschluss der Arbeiten.

8.1 Probefertigteil

Für den Vorversuch war zunächst geplant, ein Probefertigteil in einem weniger stark belasteten Bereich einer österreichischen Autobahn einzubauen und mit Messtechnik zu versehen. Da laut Aussage der ASFINAG in Österreich in den Nebenanlagen der Autobahn (Mautstellenbereiche, Parkflächen) keine Betonflächen vorhanden sind, musste das Probefertigteil im Fahrbahnbereich einer Autobahn eingebaut werden. Das Probefertigteil wurde als kreisrundes Fertigteil mit einem Ø 162 mm konzipiert. Als Einbauort wurde die A1, RF Salzburg bei km 145 von der ASFINAG angegeben, da in diesem Bereich ohnehin Betondeckeninstandsetzungen in den Monaten Juli und August 2017 geplant waren. Ein konkreter Einbauort wurde zunächst nicht festgelegt. Zur Ermittlung der Betondeckenstärke wurden Bohrkerne entnommen und die Ergebnisse der Arbeitsgemeinschaft zur Erstellung der notwendigen Planunterlagen zur Verfügung gestellt. Dabei wurden Dicken von 24,5 bis 26 cm (nur Betondecke) und von 32 bis 34 cm (Beton und Asphaltzwischenschicht) ermittelt. Daraus schlussfolgernd wurde für das Fertigteil eine Dicke von 24 cm festgelegt, da die Tragschicht nicht entfernt werden sollte.

Das Fertigteil wurde am 06.07.2017 betoniert. Für dieses kleinformatige Fertigteil konnte die benötigte Kleinstmenge an Waschbeton für einen 2-schichtigen Aufbau nicht zielsicher hergestellt werden. Daher wurde für das gesamte Fertigteil eine Waschbetonrezeptur verwendet.

Abbildung 52: Schalung und Bewehrung vor dem Betonieren

Abbildung 53: Nachbehandlung nach dem Ausbürsten

Prüfzeugnisse zu Druck- Biegezug- und Spaltzugfestigkeiten wurden erstellt. Es sind Druckfestigkeiten von 60 MPa, Biegezugfestigkeiten von 6,7 MPa und Spaltzugfestigkeiten von 5,0 MPa nachgewiesen. Die Anforderungen an einen StC 35/45 – 3,7 wurden deutlich übertroffen.

Die im Schalplan vermerkten Regelwerke ZTV Beton STB und TL Beton STB sind für die Herstellung von Fahrbahnen in Ortbetonbauweise vorgesehen und waren für eine Fertigteilbauweise anzupassen. Die Anforderungen nach ZTV Beton STB und TL Beton STB für einen Beton der Feuchteklasse WS wurden eingehalten. Als Zement kam allerdings fertigteilspezifisch, wie bei den vergangenen Forschungsvorhaben, ein CEM I 52,5 N (bs), mit einem Na_2O Äquivalent kleiner 0,8 zum Einsatz. Der Zement erfüllt mit Ausnahme der höheren Festigkeitsklasse die Anforderungen an einen Straßendeckenzement.

Zum Einbautermin am 12./13.07.2017 wurden mehrere Stellen besichtigt und schließlich eine geeignete Schadstelle im Fugenkreuzbereich (Abbildung 54) festgelegt. Vor dem Schneiden der Aussparung (Abbildung 55) wurde die Lage der an den folgenden Schnitt angrenzenden Dübel und Anker ermittelt (Abbildung 54), um einen Kontakt zwischen Bohrkrone und Stahl und somit Verzögerungen zu vermeiden.

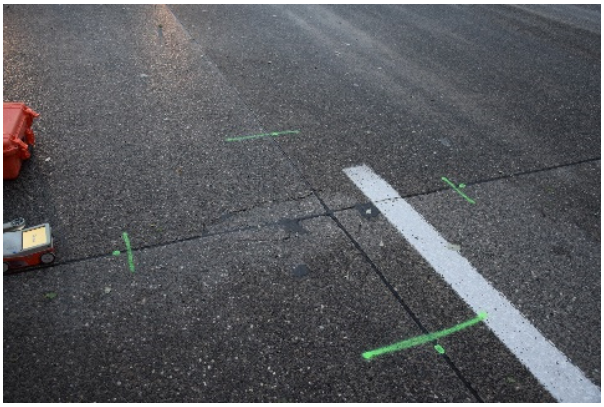

Abbildung 54: Schadhafter Bereich - Einbaustelle

Abbildung 55: Spezialkernbohrgerät

Abbildung 56: Einbaustelle mit im Bestand eingeklebten Dübeln

Abbildung 57: Einheben des Fertigteils

Abbildung 58: eingesetztes Fertigteil beim Unterpressen

Abbildung 59: Fertigteil nach dem Abbau der Traversen

Nach dem Entfernen des geschädigten Betons wurde festgestellt, dass in dem ausgewählten Bereich keine Asphaltzwischenschicht (wie die Bohrkerne zeigten) sondern eine hydraulisch gebundene Schicht als Tragschicht vorlag (Abbildung 56). Aufgrund des noch sehr guten Verbundes war auch zuvor das Herausheben der einzelnen Teile nicht möglich, so dass die

Betondecke mittels Bohrhammer zerkleinert und die Einzelteile händisch beseitigt werden mussten. In den Bestandsbeton wurden schließlich durch Bohren und Einkleben Dübel (Abbildung 56) eingesetzt, über die das Fertigteil schließlich mit Hilfe der vorhandenen und später zu verfüllenden Dübeltaschen (Abbildung 57) an die angrenzende Betondecke gekoppelt werden konnte. Das Fertigteil wurde in die Aussparung eingesetzt (Abbildung 57), durch Traversen am Bestand ausgerichtet (Abbildung 58) und mit Silikatharz unterfüllt (Abbildung 58). Nach einer geringen Aushärtezeit konnten die Traversen bereits entfernt (Abbildung 59) und das Fertigteil befahren werden. Die Füllung der umlaufenden Fuge erfolgte durch die OAT Österreich innerhalb der folgenden Tage im Zuge weiterer projektexterner Arbeiten.

Folgende Schlussfolgerungen können anhand der Erfahrungen beim Einbau des Probefertigteils gezogen werden:

- Die Einbaustellen sind bereits vor der Maßnahme konkret festzulegen, die Bohrkerne bezogen auf die gewählte Stelle zu entnehmen und die Deckendicke zu bestimmen.
- Auf der Baustelle muss geeignetes Gerät vorgehalten werden, um auch auf außerplanmäßige Situationen (hier: Verbund zwischen Tragschicht und Betondecke) reagieren zu können. Dadurch können Zeitverzögerungen beim Einbau vermieden werden.

8.2 Demonstrator - Kreisrunde Fertigteile

8.2.1 Einbaubereich

Wie bereits mehrfach belegt, eignen sich kreisrunde Fertigteile besonders für den Einsatz in Bereichen mit geschädigten Fugenkreuzen. Innerhalb kurzer Zeiträume können auf diese Weise mehrere schadhafte Stellen dauerhaft saniert werden. Um die Umsetzbarkeit in die Praxis zu zeigen, wurde für einen der zu erstellenden Demonstratoren festgelegt, drei Fertigteile Ø193 innerhalb einer Nacht einzubauen.
Ein Bereich, der entsprechende Schädigungen aufwies, war ein Abschnitt der A1, RF Salzburg bei km 143,500 (siehe Abbildung 60). Neben Schäden an den Fugenkreuzen im 1./2. Fahrstreifen konnten auch vermehrt Abbrüche in Form von Kantenschäden in allen Fahrstreifen festgestellt werden.

Abbildung 60: Einbaubereich runde Fertigteile A1, RF Salzburg, km 143,500
[QUELLE: https://www.openstreetmap.de/karte.html]

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollten insgesamt drei runde Fertigteile eingebaut werden. Um parallele Arbeiten an den einzelnen Einbaustellen zu ermöglichen und somit den Bauablauf optimieren zu können, waren Einbaustellen zu eruieren, die nah beieinander liegen. Die daraufhin ausgewählten Stellen sind in Abbildung 61 bis Abbildung 63 dargestellt und befinden sich alle innerhalb eines 70 m Abschnitts.

Abbildung 61: Einbaustelle 1 – Platte 3, km 143,458

Abbildung 62: Einbaustelle 2 – Platte 2, km 143,523

Abbildung 63: Einbaustelle 3 – Platte 1, km 143,528

8.2.2 Planung und Herstellung der Fertigteile

Die zunächst vorgesehenen Bohrkernentnahmen mussten kurzfristig abgesagt werden, da eine Verkehrssicherung nicht möglich war. Da diese aufgrund anderweitiger Bauarbeiten auch für einen längeren Zeitraum nicht möglich war, wurde entschieden, auf die Bohrkernentnahmen zu verzichten, die vorgesehenen Einbaustellen aber dennoch zu nutzen. Zur Definition der Parameter für die Fertigteile (z. B. Plattendicke) musste daher auf vorhandene Informationen bzw. auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden.

Nach Angaben der ASFINAG beträgt die Schichtdicke der Betondecke in diesem Bereich normalerweise im Mittel 25,5 cm (min.23-max.27 cm). Diese Angaben dienten jedoch aufgrund der Schwankungen innerhalb der Schichtdicke nur zur Information. Ein Anspruch auf Richtigkeit bestand dabei nicht. Demzufolge wurde eine Fertigteildicke von 22 cm zu Grunde gelegt und in den Ausführungsplänen berücksichtigt.

Wie zuvor festgelegt, wurden die standardmäßig vorgesehenen Kopplungselemente (Dübelkammern) bei einem Fertigteil nicht vorgesehen, so dass dieses Fertigteil später ohne jegliche Kopplungsmöglichkeiten eingebaut wird. Grund hierfür ist die Annahme, dass das Fertigteil allein durch die Geometrie und die Einbaubedingungen ausreichend gut in die Betondecke eingebettet und eine weitere Querkraftübertragung nicht notwendig ist. In den Ausführungsunterlagen wurden die Änderungen daher beim Fertigteil 3 berücksichtigt. Fertigteil 1 und 2 erhielten standardmäßig 4 Dübelkammern.

Zudem sollte die Messsensorik in dem runden Fertigteil integriert werden, das keine Kopplungselemente (Dübelkammern) enthält.

Die Messsensorik ist auf eine externe Stromversorgung angewiesen. Dies war bereits bei Auswahl geeigneter Einbaustellen zu berücksichtigen. Im Bereich, in dem die runden Fertigteile eingebaut werden sollten, befindet sich eine entsprechende Möglichkeit an einer vor der Einbaustelle befindlichen Nothaltebucht. Um den Abstand zu dieser Stelle möglichst gering zu halten, wurde das Fertigteil 3 (ohne Dübel, mit Messsensorik) an der in Fahrtrichtung ersten Stelle eingebaut.

8.2.3 Einbau der Fertigteile

Der Einbau der kreisrunden Fertigteile erfolgte in der Nacht vom 20.08.2018 auf den 21.08.2018. Die notwendige Verkehrssicherung wurde von der zuständigen Autobahnmeisterei gestellt. Die Planung sah zunächst 2 Nächte für den Einbau der Fertigteile vor. Aufgrund der gegenüber der Planung reduzierten Anzahl von Nächten, die zur Ausführung zur Verfügung standen, mussten bereits in der ersten Nacht alle drei runden Fertigteile verlegt werden. Die zusätzliche Zeit wurde zunächst vorgesehen, um insbesondere mit Unzulänglichkeiten, die im Zusammenhang mit dem Einbau der Messsensorik entstehen könnten, besser umgehen zu können. Auch war aufgrund der unbekannten Untergrundsituation das Einplanen eines Zeitpuffers erforderlich. Da jedoch in anderen Versuchen mit runden Fertigteilen der Einbau mehrerer Platten innerhalb einer Nacht möglich war, konnte auch hier davon ausgegangen werden, dass eine Umsetzung möglich ist.

In einem ersten Arbeitsgang erfolgte die Herstellung der Fuge mittels Fugenschnitt an der Einbaustelle 1 (Abbildung 61), um die Verkabelung der Messsensorik bei Fertigteil 3 zur Außenseite der Fahrbahn führen zur können. Anschließend wurden durch Kernbohrungen die beschädigten Fugenkreuze (Abbildung 61 bis Abbildung 63) freigeschnitten. Aufgrund des noch sehr guten Haftverbundes war das Herausheben der einzelnen Teile an Stelle 1 und 2 nicht möglich, so dass die Betondecke mittels Hydromeißel und Bohrhammer zerkleinert und händisch beseitigt werden musste (Abbildung 64). An der Stelle 2 kam es auch zum Klemmen der Bohrkrone, so dass diese mittels Bohrhammer gelöst werden musste. Nach dem Lösen des Verbundes an Stelle 3 mit Hilfe einer von OAT eingesetzten Hebekonstruktion erfolgte das Herauslösen der Teile nahezu problemlos. Abbildung 65 zeigt den Baubereich (Stelle 1 is 3) nach dem Herstellen der Aussparungen.

Nach dem Bohren und Einkleben der Dübel an den Stellen 2 und 3 wurden die Fertigteile in die Aussparungen eingesetzt. Auf die Tragschicht wurden zuvor Stahlplatten aufgelegt, die als

Unterlage für die Justierschrauben dienen und ein Eindrehen in die Tragschicht verhindern sollten. Dabei war es insbesondere bei dem Fertigteil ohne Dübelkammern schwer, die genaue Lage der Höhenjustierelemente im Fertigteil mit den Platten auf der Tragschicht nachzuempfinden. Nachdem die Fertigteile eingesetzt (Abbildung 66) waren, wurden sie mit Hilfe der Justierschrauben höhenmäßig am Bestand ausgerichtet (Abbildung 67) und anschließend mit Silikatharz unterpresst. Nach Aushärtung des Silikatharzes wurden bei sämtlichen Fertigteilen sowie der Anschlussfuge für die Messsensorik die Fugen ausgebürstet und ein Heißverguß eingebracht (Abbildung 68).

Abbildung 64: Ausbau vorhandener Betonschichten

Abbildung 65: Einbaustellen für Fertigteile nach dem Bohren der Aussparungen

Abbildung 66: Einheben des Fertigteils

Abbildung 67: Höhenjustierung der Fertigteile

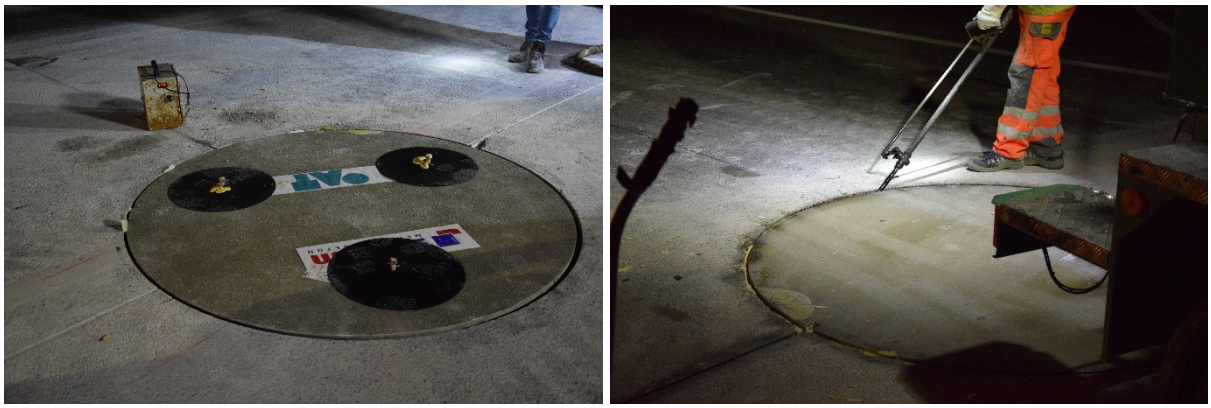

Abbildung 68: Fertigteil nach dem Unterpressen und Fugenverguss

In Abbildung 69 bis Abbildung 71 sind die Fertigteile am Tag nach dem Einbau abgebildet.

Abbildung 69: Fertigteil 3, Einbaustelle 1 nach dem Einbau

Abbildung 70: Fertigteil 2, Einbaustelle 2 nach dem Einbau

Abbildung 71: Fertigteil 1, Einbaustelle 3 nach dem Einbau

Abbildung 72: Fertigteile 2 und 1 nach dem Einbau

8.3 Demonstrator - Ersatz mehrerer Platten im Hauptfahrstreifen hintereinander

8.3.1 Einbaubereich

Innerhalb des Projektes war als ein Demonstrator zunächst der Ersatz von 2 aufeinanderfolgenden Platten im Hauptfahrstreifen vorgesehen. Da jedoch ein weiterer geplanter Demonstrator (Fertigteilstreifen über die gesamte Fahrbahn) nicht ausgeführt werden konnte, weil eine Verkehrssicherung nicht möglich war, wurde mit der ASFINAG abgestimmt, im Hauptfahrstreifen eine Platte mehr auszutauschen. Dies entspricht in etwa den für den ausgefallenen Demonstrator kalkulierten Aufwendungen.

Die Suche nach einer geeigneten Einbaustelle gestaltete sich schwierig, da zusätzlich zu einem entsprechenden Schadensbild auch aufgrund der vorgesehenen Messtechnik eine Anschlussmöglichkeit an die Energieversorgunkg gegeben sein sollte.

Als Einbaubereich wurde daher zunächst eine Stelle auf einem Bauwerk gefunden, bei der der Fertigteileinbau prinzipiell möglich gewesen wäre. Allerdings waren mehr Platten als die drei vorgesehenen geschädigt, so dass ein weiträumiger Austausch erforderlich gewesen wäre. Da eine Finanzierung dessen innerhalb des Forschungsvorhabens nicht möglich war, wurde von der ASFINAG, der BASt und dem Forschungsnehmer gemeinsam entschieden, diese Stelle zu verwerfen und nach einer besser geeigneten Stelle zu suchen.

Ausgewählt wurde schließlich ein Standort auf der der A1, Richtungsfahrbahn Wien bei km 151,500. Die drei auszutauschenden Platten befinden sich im Hauptfahrstreifen kurz vor der Ausfahrt der Anschlussstelle St. Valentin (siehe Abbildung 73), bereits in Höhe des

Verzögerungsstreifens, der einen Asphaltoberbau aufwies. Der auszutauschende Bereich (siehe Abbildung 74 bis Abbildung 76) bestand aus den eigentlichen Platten sowie aus einem schmalen Betonstreifen zwischen Platten und Verzögerungsstreifen.

Die für die Messsensorik notwendige Energieversorgung war im Bereich des angrenzenden Bauwerks möglich.

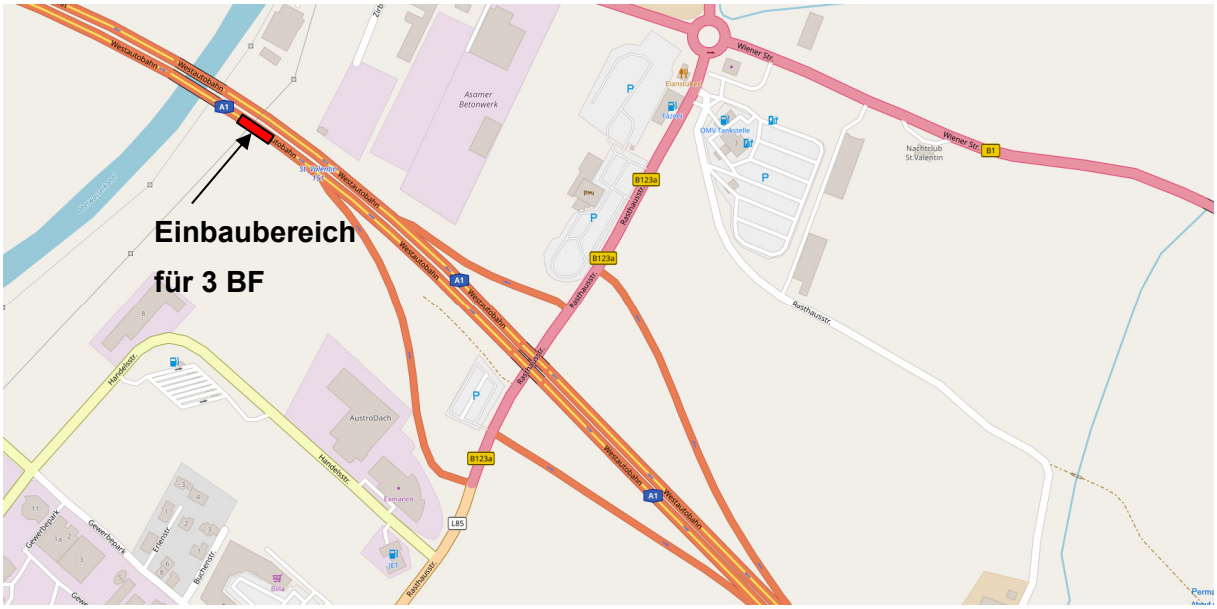

Abbildung 73: Einbaubereich Fertigteile A1, RF Wien, km 151,500
[QUELLE: https://www.openstreetmap.de/karte.html]

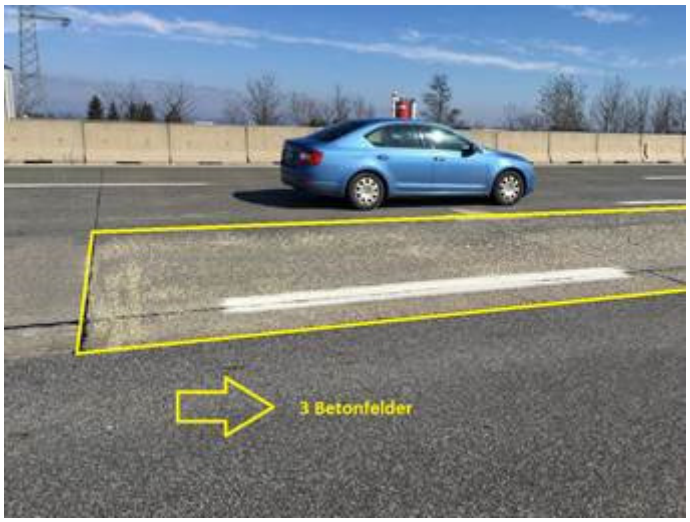

Abbildung 74: erste zu ersetzende Betonplatte im HFS

Abbildung 75: zweite zu ersetzende Betonplatte im HFS

Abbildung 76: dritte zu ersetzende Betonplatte im HFS

8.3.2 Planung und Herstellung der Fertigteile

Zur Ermittlung des tatsächlich vorhandenen Befestigungsaufbaus wurden am 11.04.2018 insgesamt 6 Bohrkerne aus den Platten des Hauptfahrstreifens sowie aus dem an der rechten Seite angrenzenden Betonstreifen entnommen. Die nachfolgende Abbildung 77 zeigt den späteren Einbaubereich zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme.

Abbildung 77: Einbaubereich zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme

Abbildung 78: Flickstelle im 2. Fahrstreifen im Fugenkreuzbereich mit deutlichem Höhenversatz

Abbildung 79: Höhenversatz im Bereich des 1./2. Fahrstreifens

Abbildung 80: Höhenversatz zum angrenzenden Asphaltstreifen

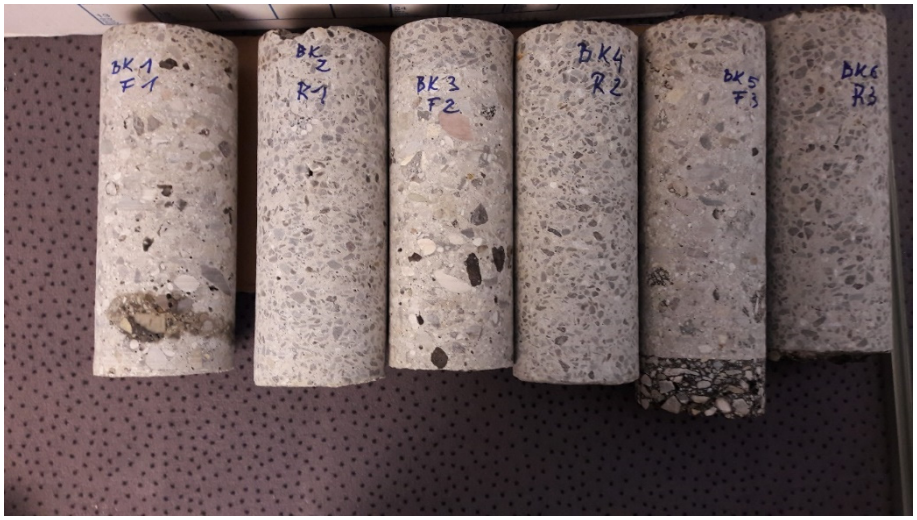

Abbildung 81: entnommene Bohrkerne

Im Rahmen der Bohrkernentnahmen wurden auch die vorhandenen Schäden (siehe Abbildung 82) erfasst. Neben den verschiedenen Rissbildungen in den auszutauschenden Platten wurden auch Höhenversätze zu angrenzenden Befestigungen erfasst.

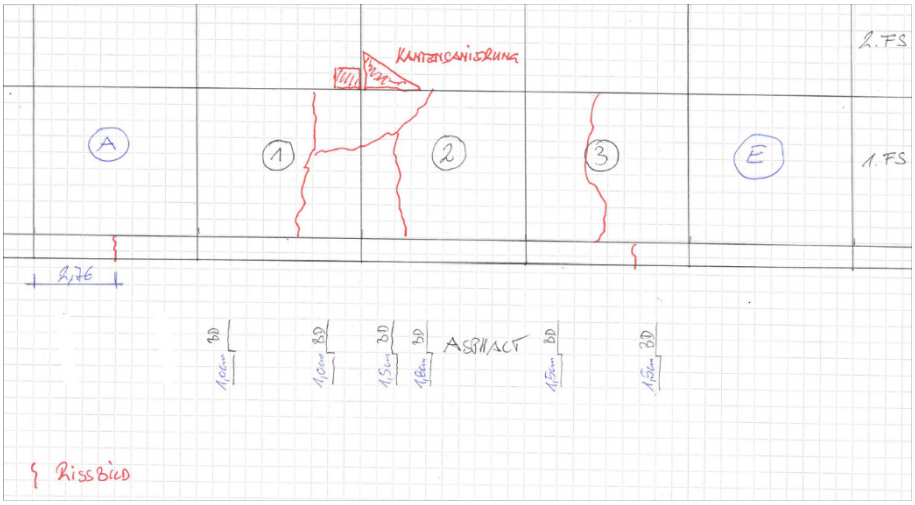

Abbildung 82: Skizze Schadenserfassung

In der angrenzenden Fahrbahn des 2. Fahrstreifens ist bereits eine Kantensanierung (siehe Abbildung 78) vorhanden, die erste Schädigungen aufweist. Die Betonplatte des zweiten Fahrstreifens, die sich in einer Reihe mit der 1. auszutauschen Platte befindet, zeigt einen deutlichen Versatz (siehe Abbildung 79), was insbesondere eine Höhenjustierung mit Traversen schwierig bis unmöglich macht. Idealerweise wäre hier der Austausch dieser Platte oder ein Abschleifen der Unebenheiten zu empfehlen. Zur angrenzenden Asphaltbefestigung war ebenfalls ein leichter Höhenversatz (siehe Abbildung 80) vorhanden.

Im Zuge des Ortstermins wurden insgesamt 6 Bohrkerne entnommen und daran der Schichtenaufbau sowie die Betondeckendicke bestimmt. Es wurde ermittelt, dass die vorhandene Deckendicke zwischen 24,1 und 25,6 cm dick ist und auf einer Asphaltzwischenschicht aufliegt. Zudem wurden die Maße zur Festlegung der Fertigteilgeometrien (siehe Abbildung 83) bestimmt.

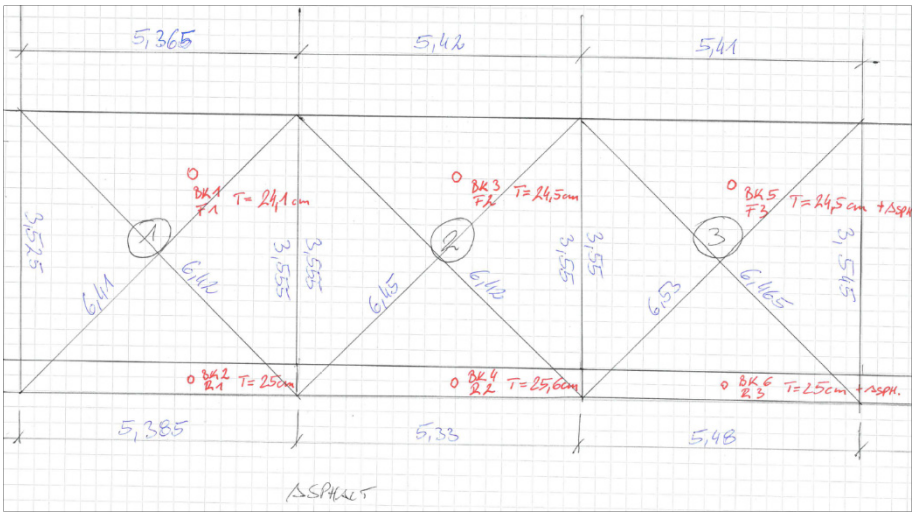

Abbildung 83: Skizze messtechnische Aufnahme und Bohrkerne

Alles in allem erschien die Einbaustelle nicht ideal zu sein. Aber unter den notwendigen Randbedingungen (mehrere geschädigte Platten hintereinander und Zugang zur Energieversorgung) hätte eine neue Einbaustelle nicht so leicht gefunden werden können. Um weitere Verzögerungen im Projektablauf zu vermeiden, entschied sich das Projektteam daher dafür, die Fertigteile wie geplant an dieser Stelle einzubauen.

Um die Ausführungspläne erstellen zu können, mussten im Vorfeld einige Punkte festgelegt werden. Dazu zählen insbesondere die einzusetzenden Kopplungssysteme sowie das vorzusehene Höhenjustiersystem.

Bei der Sanierung von schadhaften Bereichen mit Fertigteilen kam bislang als einziges Kopplungssystem die Variante mit eingeklebten Dübeln im Bestand und nach unten offenen Dübelkammern im Fertigteil zum Einsatz. Diese Variante hat sich bereits in vielen Anwendungsfällen bewährt. Bei der Reihung mehrerer Fertigteile hintereinander wurden in der Vergangenheit noch weitere Varianten untersucht. Dazu zählen unter anderem Nut/Nut- und Nut/Feder-Systeme. Dabei hat sich insbesondere das System Nut/Nut als praktikabel und in der Praxis als leicht umsetzbar erwiesen. Bislang liegen jedoch noch keine Angaben zur Dauerhaftigkeit dieser Systeme unter hoher Verkehrsbelastung vor.

Während die Ausbildung der Systeme in den Fertigteilen relativ einfach ist, gestaltet sich die Umsetzung im Bestand schwieriger. Versuche mit einer entsprechenden Nutfräse wurden zwar durchgeführt, lieferten allerdings noch kein zufriedenstellendes Ergebnis.

Dennoch wurde für die erste Fuge am Übergang von Bestandsbeton zum ersten Fertigteil eine Nut-Nut-Verbindung vorgesehen. Alle weiteren vorgesehenen Kopplungselemente sind der nachfolgenden Abbildung 84 zu entnehmen. Als Hauptkopplungselement wurde die Nut/Nut-Verbindung gewählt. Zudem erhalten die letzten beiden Fugen zu Vergleichszwecken die bewährte Lösung mit Dübeln und Dübelkammern.

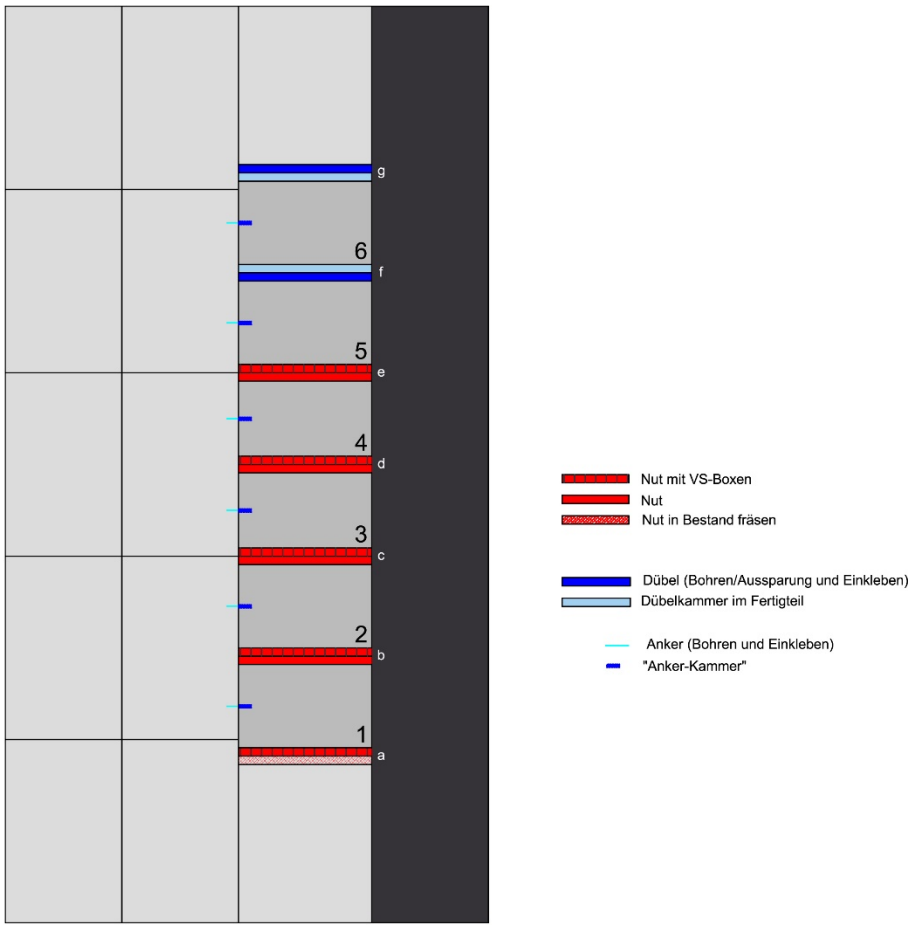

Abbildung 84: Skizze Fertigteile im Hauptfahrstreifen – geplante Kopplungselemente

Um den Einfluss der vorhandenen Dübel in den Fugenbereichen nach dem Durchtrennen zu umgehen, wurde die Anschlussfuge im Hauptfahrstreifen leicht in die vorhergehende und die nachfolgende Platte versetzt. Somit wird beim Ausbau der alten Befestigung der gesamte Fugenbereich inkl. der vorhandenen Dübel beseitigt. Das Herstellen der Nut bzw. das Einbohren der neuen Dübel kann so ungehindert erfolgen.

Die weiteren im Baubereich befindlichen Querfugen wurden bei der Festlegung der Fertigteilgeometrien berücksichtigt. Als Kopplungselement in der Längsfuge wurde jeweils ein Anker je Fertigteil vorgesehen.

Aufgrund der ungünstigen Höhensituation (unterschiedlich ausgeprägte Stufen zwischen Hauptfahrstreifen und 2. Fahrstreifen bzw. Verzögerungsstreifen) der angrenzenden Flächen wurde das im Forschungsvorhaben HESTER [HESTER 2018] erarbeitete Höhenjustiersystem vorgesehen, um die Fertigteile auszurichten. Entgegen Traversen bietet dieses System den Vorteil, dass nur wenige kleine Öffnungen an der Oberfläche der Fertigteile zurückbleiben, die mit entsprechenden Edelstahlverschlussschrauben geschlossen werden können. Traversen hingegen erfordern insbesondere bei schweren Fertigteilen mehrere Befestigungsstellen je Einheit. Das System erfüllt zudem den Zweck des Transportankers und der Verpressöffnung. In ersten Praxisanwendungen konnte das System bereits erfolgreich getestet werden, so dass die Vorteile auch bei den hier einzubauenden Fertigteilen zum Tragen kommen können.

8.3.3 Einbau der Fertigteile

Bereits in der Nacht von Montag, den 20.08.2018 auf Dienstag, den 21.08.2018 wurde für den Einbau der Fertigteilplatten im vorgesehenen Einbaubereich – A1, RF Wien, km 151,500 (Abbildung 73) – mit den Trennschnittarbeiten begonnen. In der darauffolgenden Nacht von Dienstag den 21.08.2018 auf Mittwoch den 22.08.2018 erfolgte der Ausbau für die ersten 3 Fertigteile (Abbildung 85). Zur selben Zeit wurden die weiteren Trennschnitte für die nächste Nachtleistung hergestellt.

Abbildung 85: Ausbau der alten Betonschichten durch Schneiden kleinerer Plattenteile

Der Ausbau der einzelnen Teile erfolgte problemlos. Nach dem Reinigen des Untergrundes wurde die Anschluss-Nut in der Bestandsbetondecke hergestellt (Abbildung 86).

Abbildung 86: Herstellung Nut im Bestand

Abbildung 87: Einbaubereich Fertigteile 1 bis 3

Abbildung 88: Anlieferung der Fertigteile