Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübergänge
EVAF
Ergebnisbericht AP 1 – AP 4

Ein Projekt finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2012 (**VIF2011**)

März 2015

Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Renngasse 5
A - 1010 Wien

ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A - 1010 Wien

Für den Inhalt verantwortlich:

Name der durchführenden Organisation

Adresse

PLZ Ort

Programmmanagemen:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

Bereich Thematische Programme

Sensengasse 1

A – 1090 Wien

Formale Vorgaben:

Einrichtung der Seite	**Abstand** in cm
Oben:	3,5
Unten:	3
Links:	3
Rechts:	2,5

Formatvorlage	**Schriftart**	**Schriftgröße**
Hauptkapitelüberschriften	Arial, fett, Großbuchstaben	13pt
Überschriften	Arial, fett	13pt
Standardtext	Arial, 1,5-zeilig, Blocksatz	11pt
Überschriften von Verzeichnissen	Arial, fett, Großbuchstaben	13pt
Inhaltsverzeichnis Abbildungsverzeichnis Tabellenverzeichnis Literaturverzeichnis	Arial	12pt
Fußnotenzeichen	Arial, hochgestellt	10pt
Fußnotentext	Arial	10pt
Untertitel von Tabellen und Abbildungen	Arial, fett	10pt
Quelle von Tabellen und Abbildungen	Arial	8pt
Seitennummerierung	Arial, zentriert, Seitenende	10pt

ZIELE UND ERGEBNISSE

Die im Werkvertrag zugrunde liegenden Ziele des AP1 *Identifikation von Schadenskategorien an Fahrbahnübergangskonstruktionen*, AP2 *Quantifizierung der Einwirkungen sowie der daraus resultierenden Schäden an bestehenden Systemen*, AP3 *Darstellung und Beurteilung von aktuellen, im internationalen Markt bereits eingesetzten Lösungen zur Instandsetzung* und des AP4 *Neue Lösungsansätze: Möglichkeiten innovativer und robuster, wartungsarmer Konstruktionen* wurden erreicht. Im Zuge des Projektfortschrittes haben sich die ursprünglich geplanten Methoden als effektiv und zielführend erwiesen. Die ursprünglich definierten Ziele sind und waren noch aktuell bzw. realistisch.

Folgende definierte Ziele des AP1 bis AP4 konnten erreicht werden:

AP1:

- Klassifizierung von Fahrbahnübergangskonstruktionen
- Erfassung von Einwirkungen
- Kategorisierung von an Fahrbahnübergängen aufgetretenen Schadensfällen
- Abschätzung von für verschiedene Fahrbahnübergangskonstruktionen relevante Einwirkungstypen

AP2:

- Sensitivitätsstudie der Zustandsentwicklung in Abhängigkeit definierter Randbedingungen
- Optischer Bildnachweis von FÜK-Systemen mit RoadSTAR
- Analyse der Einwirkungen durch Unstetigkeit im Fahrbahnlängsprofil

Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung. Highlights:

- Mit dem Bewertungsbogen nach Schadenskatalog sowie dem Bewertungssystem nach RVS 13.03.11 wurde ein anwenderfreundliches Tool für das Erhaltungsmanagement entwickelt, welches auch webbasiert zur Verfügung steht und die elektronische Auswertung ermöglicht.
- Es konnten klare Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Einwirkungen und Schäden bzw. deren Folgeschäden erstellt werden.
- Die Analyse der dynamischen Lasteinwirkung auf die FÜKs zeigte klare und logisch nachvollziehbare Ursachen für erhöhte Lasten auf den Konstruktionen. Daraus ließen sich Konstruktionsregeln ableiten welche bei Einhaltung zu einer Entlastung der FÜKs beitragen.
- Die optische Erfassung der FÜK mittels der RoadSTAR Zeilenkamera zeigte die Möglichkeit bestehende Schäden durch Bewertung von aktuellen Aufnahmen zeitnah zu identifizieren und an den Straßenerhalter weiterzuleiten.

- Es konnte eine breite Übersicht von verschiedenen Lösungen zur Sanierung von Fahrbahnübergängen an konkreten Beispielen aufgezeigt und hinsichtlich wirtschaftlicher und technischer Kennwerte beschrieben werden.
- Es konnten erste erfolgsversprechende Versuche bzgl. Lösungsansätzen für schadhafte Kragfingerfahrbahnübergänge durchgeführt werden (Ausgleich mittels Multimetall).
- Schadensursachen bei Fingerfahrbahnübergängen konnten analytisch validiert werden und mit neuen Ausführungsdetails gezielt verbessert werden.
- Mögliche Verbesserungsvorschläge für Fahrbahnübergänge konnten zu einem großen Teil in dem bestehenden Normenkontext zugeordnet werden. Hierdurch wird eine Durchsetzung dieser Maßnahmen für die Bauherrschaft deutlich vereinfacht.
- Viele Punkte zur Gewährleistung möglichst verschleißarmer Fahrbahnübergänge werden durch bereits gültige oder in kürze eingeführte Normen erfassen. Hierdurch ergibt sich eine deutlich erleichterte Umsetzung höherer Anforderungen.

Probleme:

- Die ursprünglich angedachte Analyse der BAUT Datenbank konnte die hochgesteckten Erwartungen nicht im vollen Umfang erfüllen. Dies konnte mithilfe von Aufzeichnungen der Strassenerhalter und vor Ort Inspektion von Fahrbahnübergängen zum Teil ausgeglichen werden, eine lebenszyklusorientierte Analyse ist mit den vorhandenen Daten derzeit nicht möglich. Im Zuge der Erhebungen erfolgte der Aufbau eines Inspektionsrahmenwerkes, welche auf Basis der neuen RVS Bestimmungen auf die wesentlichen zu prüfenden Gefährdungsbilder bzw. Schadensbilder eingeht.
- Die geplante Inspektion der Konstruktionen konnte aufgrund der jahreszeitlich bedingten Wettersituation (starker Schneefall) nicht für alle ursprünglich anvisierten FÜK durchgeführt werden. Die Datenlage ist für Korrelationen mit relevanten Randbedingungen wie Fahrbahngeometrie, Einbaujahr und Hersteller nicht ausreichend. Die Einflussfaktoren sind sehr differenziert, ein der Stichprobenumfang war nur begrenzt für fundierte Aussagen. Dieser Punkt konnte durch spezifische Analysen (v.A. Interviews und Expertengespräche) zum großen Teil ausgeglichen, jedoch nicht vollständig mit objektiven Daten abgesichert werden.
- Die letzte RoadSTAR Befahrung der ersten Fahrspur stammt aus dem Jahr 2009. Teilweise wurden die FÜKs in der Zwischenzeit bereits saniert. Die optische Analyse stimmt deshalb nicht immer mit den aufgenommenen FÜKs überein.
- Schäden durch lockere Schrauben und Fingerplatten gingen nur bedingt in die Schadens- und Sensitivitätsanalyse ein, da diese im Regelfall zeitnah behoben werden und somit bei der Schadensaufnahme kaum anzutreffen waren.
- Für die Bewertung der Kosten von Sanierungsmaßnahmen stand je Verfahren keine umfangreiche Datenbasis je Verfahren zur Verfügung. Somit ist eine Einschätzung der tatsächlichen Kosten kaum auf eine vornehmlich objektive Basis zu bringen. Dieses betrifft insbesondere die indirekten Kosten, für Sperrung oder Verkehrsbeeinträchtigung, da auch zu den konkret betrachteten Projekten hierzu zumeist keine Datenbasis vorlag.
- Sanierungsmaßnahmen unterliegen stark fallspezifischen Erfordernissen, sodass eine allgemeine Anpassung und Weiterentwicklung der einzelnen Verfahren kaum zu leisten ist. Vielmehr wurde ein besonderer Schwerpunkt auf die Beschreibung der einzelnen Verfahren und deren Bewertung gelegt um eine möglichst gute Basis zur Auswahl möglichst geeigneter Verfahren zu erlauben.
- Innerhalb des Projektes angestoßene Lösungsansätze zur Instandsetzung von schadhaften Fingerfahrbahnübergängen konnten im Projektrahmen nicht mehr innerhalb eines Pilotprojektes praktisch getestet werden.

- Die Basis für eine Lebensdaueranalyse in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht konnte im Zuge des AP1 leider nicht ausreichend gewonnen werden. Somit verbleibt auch die Bewertung von neuen in AP4 erarbeiten Lösungen rein qualitativ und kann nicht mit konkreten Zahlen hinterlegt werden. Kennzahlen für den grundsätzlichen Erhalt von verschiedenen Typen von Fahrbahnübergängen konnten bereitgestellt werden.
- Die Erstellung von Unterhaltsplänen hat sich als sehr Typ spezifisch herausgestellt. Eine für alle Hersteller gültige allgemeine Formulierung wird nicht als zweckdienlich betrachtet. Vielmehr wird empfohlen dieses von den Herstellern im Zuge der Typenprüfung einzufordern.

ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE

Übersichtstabellen

Tabelle 1 Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
		Anf.	End	Anf.	End	
1	Identifikation von Schadenskategorien an Fahrbahnübergangskonstruktionen	06/12	11/13	08/12	06/13	Flexibel katalogisierte, einfach handzuhabende Datenbasis für den Vergleich mit anderen Datenbanken und Analysemethoden + WEB-Anwendung
2	Quantifizierung der Einwirkungen sowie der daraus resultierenden Schäden an bestehenden Systemen	10/12	04/13	01/13	06/13	Sensitivitätsmatrix für Einfluss von definierten Randbedingungen auf die Zustandsentwicklung
3	Darstellung und Beurteilung von aktuellen, im internationalen Markt bereits eingesetzten Lösungen zur Instandsetzung	03/13	07/13	06/13	10/13	Recherche State-of-the-Art für die Sanierung von Fahrbahnübergängen zusammengetragen. Bewertungsmatrix und Beurteilung der Einzellösungen noch ausstehend. Extraktion und Aufbereitung relevanter Detaillösungen begonnen.
4	Neue Lösungsansätze: Möglichkeiten innovativer und robuster, wartungsarmer Konstruktionen	07/13	01/14	09/13	01/14	

Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübergänge

EVAF

Ergebnisbericht AP1

Ein Projekt finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2011)

AutorInnen:

Prof. Dr. DI Alfred Strauss

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

MAGEBA GesmbH
Seglerweg 1
6972 Fußach

Universität für Bodenkultur Wien
Peter Jordan Str. 82
1190 Wien

AIT – Austrian Institute of Technology
Donau City Str. 1
1220 Wien

1.1 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

1.1.1 Arbeitspaket 1

1.1.1.1 Kategorisierung der Konstruktionstypen und der Schäden an Fahrbahnübergängen

Anhand von Literatur über Fahrbahnübergänge, Datenblättern und der einschlägigen für FÜK relevanten Bestimmungen (RVS, ETAG 032, wissenschaftliche Publikationen) wurde eine Kategorisierung der Konstruktionstypen vorgenommen und ihre Hauptelemente sowie die relevanten Einwirkungen bestimmt. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde die weitere Untersuchung auf vier Konstruktionstypen eingegrenzt, die hinsichtlich Verbreitung, Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Wartungsaufwand besonders problembehaftet relevant sind: (Krag- und Gleitfingerkonstruktionen, Belagsdehnfugen, Modulardehnfugen). Vom Auftraggeber übersandte Schadenslisten und -dokumentationen wurden gründlich studiert sowie eine Schadensdokumentation für einen Straßenabschnitt mit statistischer Auswertung erstellt. Anhand dieser Unterlagen erfolgte die Identifikation und Kategorisierung der möglichen Schäden, die in einem Schadenskatalog für Fahrbahnübergänge nach Konstruktionstyp und Bauteil geordnet zusammengefasst wurden. Der Schadenskatalog enthält neben der Schadensbeschreibung und –abbildung auch Angaben zu den Ursachen, Folgewirkungen und zur Schadensbeseitigung.

Bild 1: **Beispiel Datenblatt aus dem Schadenskatalog**

1.1.1.2 Schadenserhebung

Mithilfe der Datenbank BAUT und zugehörigen GIS-Auszügen wurden in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber Streckenabschnitte ausgewählt, die insgesamt von jedem relevanten Konstruktionstyp eine repräsentative Stichprobe zur Schadensaufnahme (15-25 Objekte) enthalten. Diese wurden im Rahmen einer Begehung untersucht und Schadensdokumentationen mit Fotos für jede einzelne Übergangskonstruktion erstellt, welche auch Daten zur Schadenshistorie (aus Inspektionsprotokollen und Aufzeichnungen der Straßenerhalter) sowie die unter Arbeitspaket 2 beschriebenen RoadSTAR-Daten enthalten. Insgesamt wurden so über 100 Konstruktionen besichtigt, und wovon 89 in die weitere Untersuchung einbezogen wurden:

Tabelle 2: Aufstellung der inspizierten Fahrbahnübergangskonstruktionen, welche in die Bewertung nach RVS 13.03.11 eingingen:

	Anzahl
Belagsdehnfugen	15
Modulardehnfugen	23
Kragfingerkonstruktionen	29
Gleitfingerkonstruktionen	22
Summe	**89**

In Anlehnung an die RVS 13.03.11 wurde für die aufgefundenen Schäden ein Bewertungssystem erstellt, welches dem Anwender erlaubt, der Konstruktion bzw. dem Schaden nach dem erforderlichen Handlungsbedarf eine Note zuzuordnen. Mithilfe eines eigens dafür entwickelten Internetportals wurden die Schäden jeder einzelnen Übergangskonstruktion einer Bewertung durch Angehörige der Projektgemeinschaft, Fachexperten des Auftraggebers und externe Sachverständige zugeführt und die Ergebnisse statistisch ausgewertet. Das Online-Portal zur Schadensbewertung steht für die zukünftige Verwendung durch den Auftraggeber weiter zur Verfügung. Die Ergebnisse flossen in die unter Arbeitspaket 2 dargelegte Sensitivitätsanalyse ein.

Bauteil	Schadens Nr.	Schadensart	Beurteilung RVS				
			1	2	3	4	5
Ablaufrinne	11.1	Undichtigkeit					
	11.2	Verschmutzung		2	2		
	11.3	Wasserableitung defekt (Fallrohre)			1	3	
	11.4	Ablaufrinne ausgerissen				2	2
	11.5	Sonstiges					

Bild 2: **Beispiel für eine Schadensbewertung nach RVS im Online-Portal**

1.1.1.3 Vertiefende Untersuchung spezieller, für Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Wartungsaufwand hochrelevanter Schäden

Die Auswertung der Schadensbewertung zeigte, dass bei den Inspektionen hauptsächlich Schäden der Noten Klassifizierung 2 und 3 festgestellt wurden, bei welchen zwar die Gebrauchstauglichkeit bedingt eingeschränkt ist, aber bezüglich der Tragsicherheit kein unmittelbarer Handlungsbedarf besteht. Schäden der Noten Klassifizierung 4 und 5 bedeuten eine Einschränkung der Tragsicherheit und sind somit mit einem Risiko für den Verkehrsteilnehmer behaftet. Solche Schäden (dies betrifft vor allem Schraubenbrüche und lockere Fingerplatten, die nach Aussagen des Auftraggebers häufiger auftreten) werden

innerhalb kurzer Zeitraume repariert. Auf diese Weise wird die statistische Auswertung der Schadensaufnahme, die einen Momentanzustand zu einem bestimmten Zeitpunkt darstellt, verzerrt. Für die vertiefende Untersuchung dieser Schäden wurde daher ein lebenszyklusorientierter Ansatz gewählt, welcher die folgenden Schritte beinhaltet:

1) Auswahl spezifischer Fahrbahnübergänge, an denen diese Schäden der Noten 4 und 5 gehäuft auftreten und Inspektion dieser Konstruktionen
2) Erstellung von Ereignisbäumen bzw. Flussdiagrammen zum Schadenshergang und der Folgeschäden
3) Fachgespräche mit Experten des Auftraggebers über die gefundenen Zusammenhänge und Vertiefung der Erkenntnisse
4) Zuführung der ausgewählten Fahrbahnübergänge zur dynamischen FE-Analyse um Zusammenhänge mit der Fahrbahngeometrie zu eruieren.

1.1.1.4 Schlussfolgerung AP 1

Nach dem Abschluss liegt ein Überblick über die statistische Häufigkeit der Schäden mit Benotung Klassifizierung 2 und 3 vor. Es wurden die wesentlichen Einwirkungen erfasst und Ursache-Wirkungsdiagramme erstellt. Als Nachschlagewerk für den Anwender dient der Schadenskatalog, welcher sämtliche identifizierten Schäden an Fahrbahnübergangskonstruktionen mit Beschreibung und Ursachen enthält. Des Weiteren liegt eine fundierte Datenbasis für die in AP 2 durchgeführte Sensitivitätsanalyse und die Analyse der dynamischen Lasteinwirkung vor. Zusammenfassend kann folgende Aussage getroffen werden:

Als häufigster Schaden wurde Umläufigkeit oder Undichtheit der Konstruktion in anderer Form festgestellt. Die signifikanteste Ursache für eine Reihe von Schäden jeglicher Schadensschwere liegt in Mängeln bei der Bauausführung bzw. schon in der Planung von Umbauten und Sanierungen. Zeitmangel und die damit verbundene zu frühe Belastung der Konstruktion sowie die Übertragung von Schwingungen bei fahrstreifenweisem Einbau wirken sich besonders schwerwiegend aus.

Identifikation von Schadenskategorien

Für die vier untersuchten FÜKs wurden die am häufigsten identifizierten Schäden basierend auf RVS 13.03.11 dokumentiert und durch die Projektbeteiligten, sowie externe Experten bewertet. Die Bewertung wurde nicht exakt nach den definierten Zustandsklassen (Benotung: 1 = sehr guter, …, 5 = sehr schlechter Zustand) der RVS vorgenommen, sondern in Form von Mittelwerten (MW) und zugehöriger Standardabweichung (STD) angegeben.
Neben der Verteilung und Anzahl der Schäden waren mögliche kausale Zusammenhänge zwischen den Schadensbildern und den Fahrbahngeometrieverhältnissen bzw. Anlageverhältnissen (z.B. Zusammenhang zwischen den Verdrückungen und der Fahrbahngeometrie und den Verkehrsdaten) von Interesse.

Belagsdehnfugen

Die BDF wurde als einer der Konstruktionstypen gewählt, welche aufgrund der Häufigkeit des Einsatzes und der Schadensbilder aus der Vergangenheit für die Vertreter der ASFINAG und der ÖBB für die Schadensanalyse (AP1) von großem Interesse sind. Für diesen Konstruktionstyp erfolgte die Schadenserhebung an 15 BDFs. 11 BDFs war gemein, dass sie im gleichen Straßenzug lagen (ähnliches Verkehrsaufkommen mit Schwerlastanteil) und alle aus dem gleichen Baujahr und vom gleichen Hersteller stammen. 4 BDFs weisen einen unbekannten Hersteller und unbekanntes Baujahr auf.
In der Tabelle 3 sind die am häufigsten identifizierten Schäden dokumentiert. Es zeigt sich, dass die Umläufigkeit, gefolgt von Betonabplatzungen, Bewehrungskorrosion und Lagerkorrosion die häufigste Schadensart ist. 13 von 15 Konstruktionen zeigten dieses Schadensbild. Die meisten der erhobenen Schäden wurden im angrenzenden Fahrbahnbelag festgestellt wobei das Schadensbild Umläufigkeit (Indexzahl 9.4) dem Fahrbahnbelag zugeordnet wurde. Das Bild 3a gibt einen Einblick in die Anzahl der einzelnen Schadensarten.

Tabelle 3: Häufig identifizierten Schadensbilder an der BDF (1 = sehr guter Zustand, 5 = sehr schlechter Zustand)

Schadens-art	9.4		21.1		8.1		8.2		9.2	
Objekt	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD
201					**3,00**	0,41			**3,10**	0,40
202	**3,10**	0,40			**2,99**	0,43			**3,11**	0,39
203	**2,94**	0,40								
204	**3,08**	0,47	**3,12**	0,40						
205	**2,98**	0,40	**3,02**	0,38						
210	**3,14**	0,36	**3,16**	0,38						
212	**3,15**	0,41	**3,15**	0,43	**3,14**	0,41	**3,37**	0,42	**3,00**	0,42
213	**3,14**	0,36					**3,32**	0,41		
217	**2,25**	0,43			**2,75**	0,39			**2,77**	0,41
218	**3,42**	0,46					**3,76**	0,45		
219	**3,14**	0,46					**3,39**	0,42		
220	**3,35**	0,44	**3,25**	0,45			**3,65**	0,54		
221	**3,23**	0,31	**3,23**	0,38	**2,86**	0,39				
222	**3,26**	0,33	**3,31**	0,40	**2,89**	0,38				
Alle BDF	**3,16**	0,42	**3,16**	0,43	**2,94**	0,42	**3,49**	0,47	**2,99**	0,42

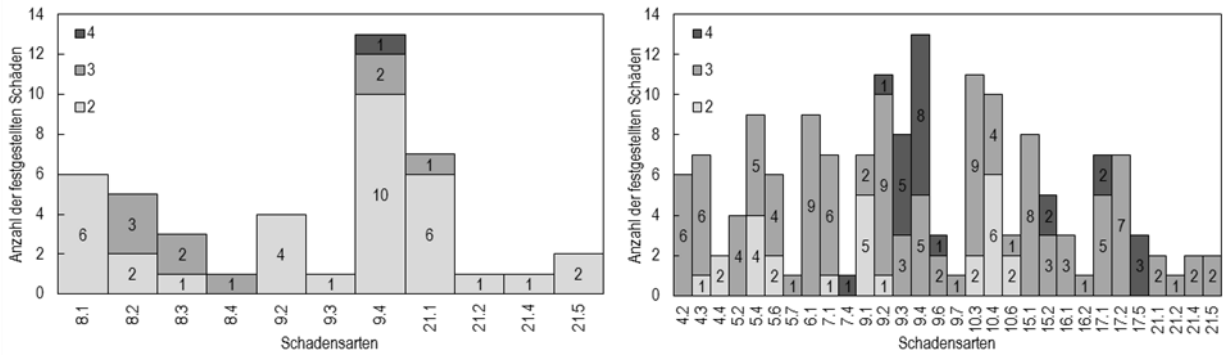
Bild 4 zeigt die Schäden Verdrückungen (8.1), Risse (8.2) und Fahrbahnanschluss zu tief/Verdrückungen/Spurrinnen (9.2) in Abhängigkeit der Längsneigung, der Querneigung, der Krümmung und der Spurrinnentiefe. Schaden 8.2 ist für die untersuchten FÜKs nur bei positiver Längsneigung und Querneigungen über 3% vorhanden. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ist dies jedoch nur als Hinweis zu betrachten. Es gibt keine weitere Signifikanz in der Korrelation der Schäden zu der Fahrbahngeometrie und den Verkehrsdaten.

Weiterführende Sensitivitätsuntersuchungen zeigen jedoch eine signifikante Abhängigkeit zwischen (a) den Spurrinnen und den Verdrückungen im Fugenbelag, (b) der Umläufigkeit und den Bauwerksschäden, und (c) der Umläufigkeit und den Rissen im Fugenbelag, siehe Tabelle 4.

Tabelle 4: Häufig identifizierten Schadensbilder an der BDF (1 = sehr guter Zustand, 5 = sehr schlechter Zustand)

Schadensart	9.4	21.1	8.1	8.2	9.2
9.4	1	**0,5**	-0,1	0,4	-0,3
21.1	**0,5**	1	0,2	-0,1	-0,2

8.1	-0,1	0,2	1	-0,2	**0,7**
8.2	0,4	-0,1	-0,2	1	-0,1
9.2	-0,3	-0,2	**0,7**	-0,1	1



(a)

1: 8.1, 8.2, 8.3, 8.4

2: 9.2, 9.3, 9.4, 21.1, 21.2, 21.4,

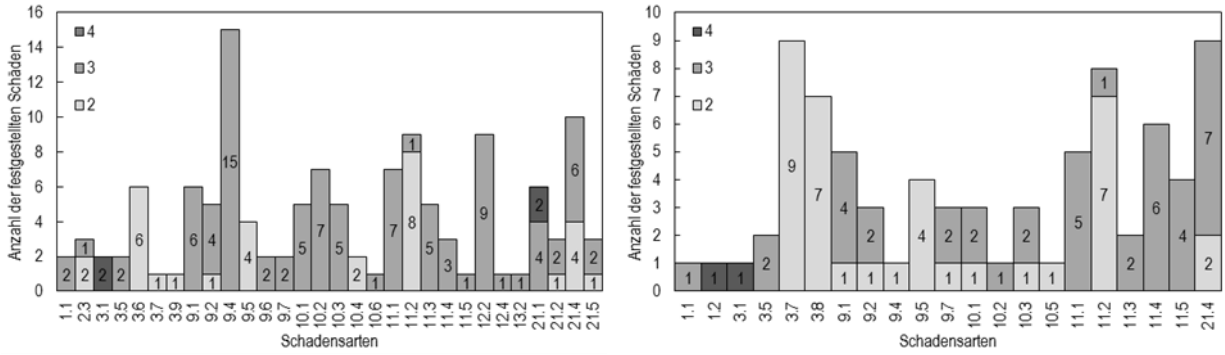
3: 21.5

(b)

1: 4.2, 4.3, 4.4, 5.2, 5.4, 5.6, 5.7, 6.1, 7.1, 7.4

2: 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 21.1, 21.2, 21.4

3: 9.6, 9.7, 10.3, 10.4, 10.6, 21.5



(c)

1: 1.1, 2.3, 3.1, 3.5, 3.6, 3.7, 3.9, 9.5, 10.1, 10.2, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 12.2, 12.4, 13.2

2: 9.1, 9.2, 9.4, 21.1, 21.2, 21.4

3: 9.6, 9.7, 10.3, 10.4, 10.6

(d)

1: 1.1, 1.2, 3.1, 3.5, 3.7, 3.8, 9.5, 10.1, 10.2, 10.5, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5

2: 9.1, 9.2, 9.4, 21.4

3: 9.7, 10.3,

Bild 3: **Anzahl der Schäden in Bezug auf die einzelnen Schadensarten (a) BDF, (b) MDF, (c) GGF und (d) KFÜK; 1 = FÜK-spezifischer Schaden, 2 = Belag-spezifischer Schaden, 3 = FÜK und Belag-spezifischer Schaden**

Neben den Schadenserhebungen an den Fahrbahnübergängen der ausgewählten Autobahnabschnitten erfolgte eine kontinuierliche Diskussion über weitere Schadensbilder mit ausgewählten Experten. Aus deren Erfahrungen und den Diskussionen ergaben sich folgende Empfehlungen bzw. Erkenntnisse: (a) Belagsdehnfugen sind nur auf untergeordneten Straßen bzw. auf wenig befahrenen Schnellstraßen mit geringem Schwerlastanteil geeignet, (b) Belagsdehnfugen sind sehr sensibel in Bezug auf die Verkehrsbelastung, den Schwerlastanteil und Kurvenradien. Problematisch ist hier die Wahl der richtigen Mischung (große Rückstellkräfte verursachen Flankenabrisse, weiches Material ist anfällig für Verdrückungen). (c) Für Belagsdehnfugen sind die Bedingungen beim Einbau von großer Bedeutung. Die Mischungstemperatur muss genau eingehalten werden und die Bauwerkstemperatur muss im Mittel zwischen den Extremen liegen, was einen Einbau im Frühjahr oder Herbst voraussetzt. Weitere Probleme sind die große Streuung der Materialkennwerte bei Bitumen und die Verdichtung des Anschlussbelages bei händischem Einbau.

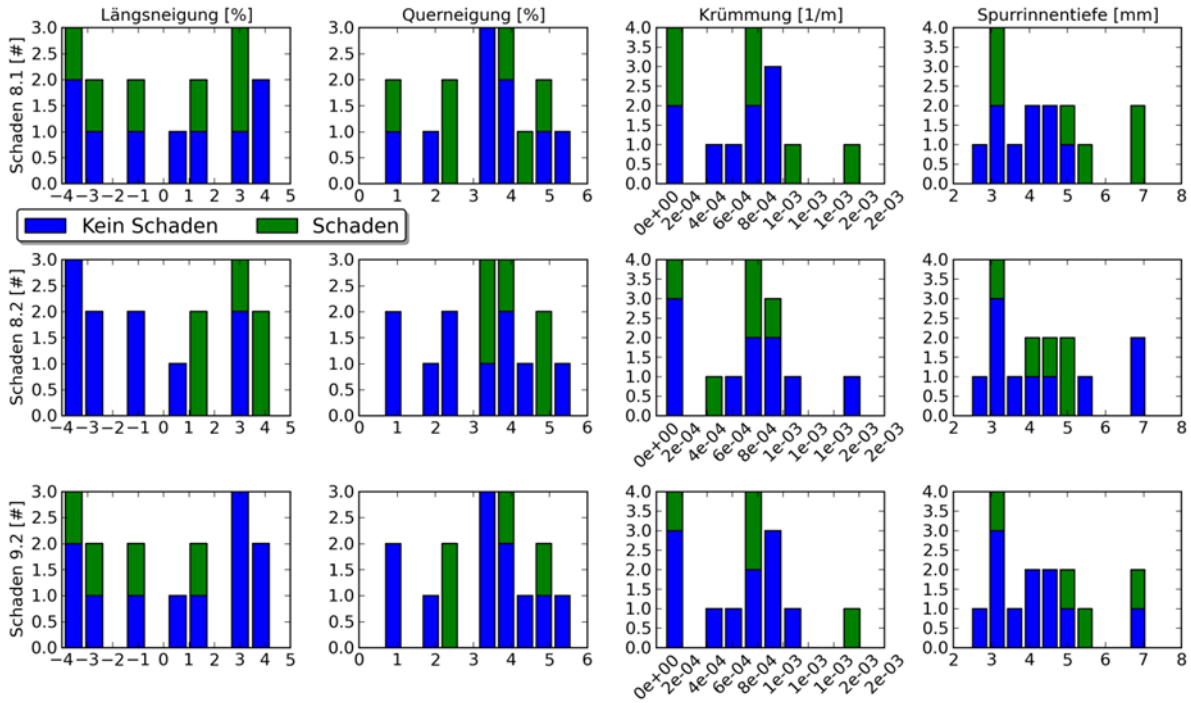


Bild 4: **Sensitivitätsstudie zwischen ausgewählten Schadensbildern der BDF und der Längsneigung, der Querneigung, der Fahrbahn-Krümmung im Grundriss und der Spurrinnentiefe**

Modulardehnfugen

Die MDF ist durch eine Vielzahl an mechanisch beweglichen Teilen charakterisiert. Es besteht dadurch eine größere Wahrscheinlichkeit für einen gewissen Wartungsaufwand. Dies ist wesentlich für das Erhaltungsmanagement.

Für die Analyse der potentiellen Schadensbilder wurden 23 MDFs der Hersteller Stalko, Maurer-Söhne und Mageba auf unterschiedlichen Verkehrswegen untersucht. Wie in Tabelle 5 zu erkennen, ist die Umläufigkeit die häufigste Schadensursache. 57% der inspizierten Konstruktionen zeigten ein Umläufigkeitsproblem und 39% aller inspizierten MDFs besaßen ein undichtes Dichtprofil. Für eine objektive Bewertung dieser Ergebnisse ist jedoch anzuführen, dass bei sechs der Konstruktionen der Fugenspalt nicht einsehbar oder von unten nicht inspizierbar war. Sieben der Konstruktionen waren Konstruktionen mit Scherensteuerung, welche nicht mehr produziert wird. Eine der Fugen befand sich auf einer Rampe und nicht auf der Hauptfahrbahn. Nur eine einzige von den 23 MDFs konnte als komplett dicht bewertet werden.

Bei dieser FÜK wurde als zweithäufigster Schaden ein zu tiefer Fahrbahnbelag bzw. Spurrinnen und sonstige Verdrückungen (bei etwa der Hälfte der untersuchten Konstruktionen) aufgefunden. Als Ursachen sind eine starke Verkehrsbelastung und hohe dynamische Einwirkungen auf die Konstruktion anzuführen. Die im Anschlussbelag sonstigen festgestellten Schäden waren Ausbrüche, mangelhafter Fugenverguss, und ein zu hoher Belagsanschluss, wobei diese im Vergleich zur Spurrinnenbildung in ihrer Anzahl verhältnismäßig klein waren. Bild 3b zeigt die Anzahl der Schäden je nach Schadensart. Neben den zuvor erwähnten Schadensarten wurden weiters Schlaggeräusche, verschmutzte Dichtprofile, Korrosion der Lamellen und undichte Dichtprofile erhoben.

Konstruktionen aus den späten neunziger Jahren zeigen im Durchschnitt eine höhere Schadensanzahl zum Erhebungszeitpunkt. Die mit Undichtheit assoziierten Schäden: Lamellenkorrosion (5.4), Dichtprofil ausgeknüpft bzw. undicht (6.1) und Umläufigkeit (9.4) wurden in der „mittelalten“ Kategorie (1996-2005) prozentual häufiger festgestellt als bei jüngeren oder älteren Konstruktionen. Dies gilt auch für Spurrinnen bzw. zu tiefen Anschlussbelag (9.2). Bei den Schäden: Geräuschentwicklung (10.3) und Dichtprofil verschmutzt (10.4) sind eher die älteren und jüngeren Konstruktionen mehr geschädigt, wobei die Differenzen weniger gravierend sind und eher mit dem Verkehrsaufkommen zusammenhängen.

Tabelle 5: Häufig identifizierte Schadensbilder an der MDF (1 = sehr guter Zustand, 5 = sehr schlechter Zustand)

Schadens-art	9.4		9.2		10.3		10.4		5.4		6.1	
Objekt	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD
106	**3,49**	0,37									**3,46**	0,49
207	**3,47**	0,32	**2,61**	0,33							**3,31**	0,37
208	**3,47**	0,32			**2,83**	0,49			**2,88**	0,45	**3,16**	0,29
209					**2,58**	0,50						
211	**3,34**	0,30			**2,72**	0,54						
214					**2,45**	0,53						
215	**3,38**	0,48			**2,93**	0,63			**2,94**	0,65	**3,32**	0,53
216	**3,13**	0,34	**2,71**	0,38	**2,79**	0,56						
307	**3,50**	0,32	**2,93**	0,33			**2,49**	0,65				
308	**2,75**	0,43	**3,30**	0,36	**2,56**	0,60	**2,41**	0,65	**2,57**	0,48		
309	**3,19**	0,53	**3,24**	0,35			**2,24**	0,56				
310			**2,88**	0,02								
311									**2,65**	0,51		
312	**3,25**	0,56										
313	**3,52**	0,33										
401							**2,39**	0,52	**2,42**	0,48	**3,02**	0,53
424							**2,08**	0,53				
425			**2,50**	0,40			**2,55**	0,61	**2,49**	0,55	**2,91**	0,63
427							**2,61**	0,70	**2,35**	0,54	**3,05**	0,48
428	**3,50**	0,58	**3,36**	0,40	**2,72**	0,47	**2,57**	0,50	**2,73**	0,57	**3,10**	0,40
429	**3,59**	0,38	**3,56**	0,36	**2,60**	0,53			**2,39**	0,51	**3,08**	0,44
460			**2,04**	0,73	**2,47**	0,49	**2,46**	0,60				
431			**3,34**	0,34	**2,78**	0,50	**2,65**	0,68				
Alle MDF	**3,66**	0,30	**2,97**	0,48	**2,68**	0,56	**2,45**	0,63	**2,59**	0,56	**3,17**	0,51

Ein Zusammenhang der Gesamtanzahl der Schäden mit dem Verkehrsaufkommen (unterschieden in Gesamtverkehr und Schwerlastverkehr) konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt zwischen den mit Undichtheit assoziierten Schäden und dem Verkehrsaufkommen keine Korrelation bzw. nur eine geringe Korrelation zur Lamellenkorrosion (5.4). Zu den Schäden 10.3 und vor allem 10.4 ist eine deutliche

Sensitivität zum Verkehr erkennbar. Ein sichtbarer Zusammenhang mit dem Verkehr wurde auch für den Schaden Asphaltausbrüche (9.3) festgestellt.

Die Histogramme in Bild 5 zeigen die Schäden 6.1, 9.2, 9.4 und 17.1 (Gleitlager defekt) in Abhängigkeit der mittleren Werte für die Längsneigung, Querneigung, Krümmung und Spurrinnentiefe. Es sind hier keine besonderen Häufungen von Schäden auszumachen, welche auf eine Korrelation mit den geometrischen Randbedingungen schließen ließe.

Weiterführende Sensitivitätsuntersuchungen zwischen den nach RVS erhobenen Schäden, siehe Tabelle 6, zeigen eine geringe Korrelation zwischen den Schäden 9.2 und 9.3. Des Weiteren treten Spurrinnen bzw. ein zu tiefer Fahrbahnanschluss relativ häufig gemeinsam mit der Umläufigkeit auf. Ein unmittelbarer kausaler Zusammenhang konnte jedoch nicht abgeleitet werden, wobei ein Zusammenhang von undichten Dichtprofilen (6.1) mit der Lamellenkorrosion (5.4) gegeben ist.

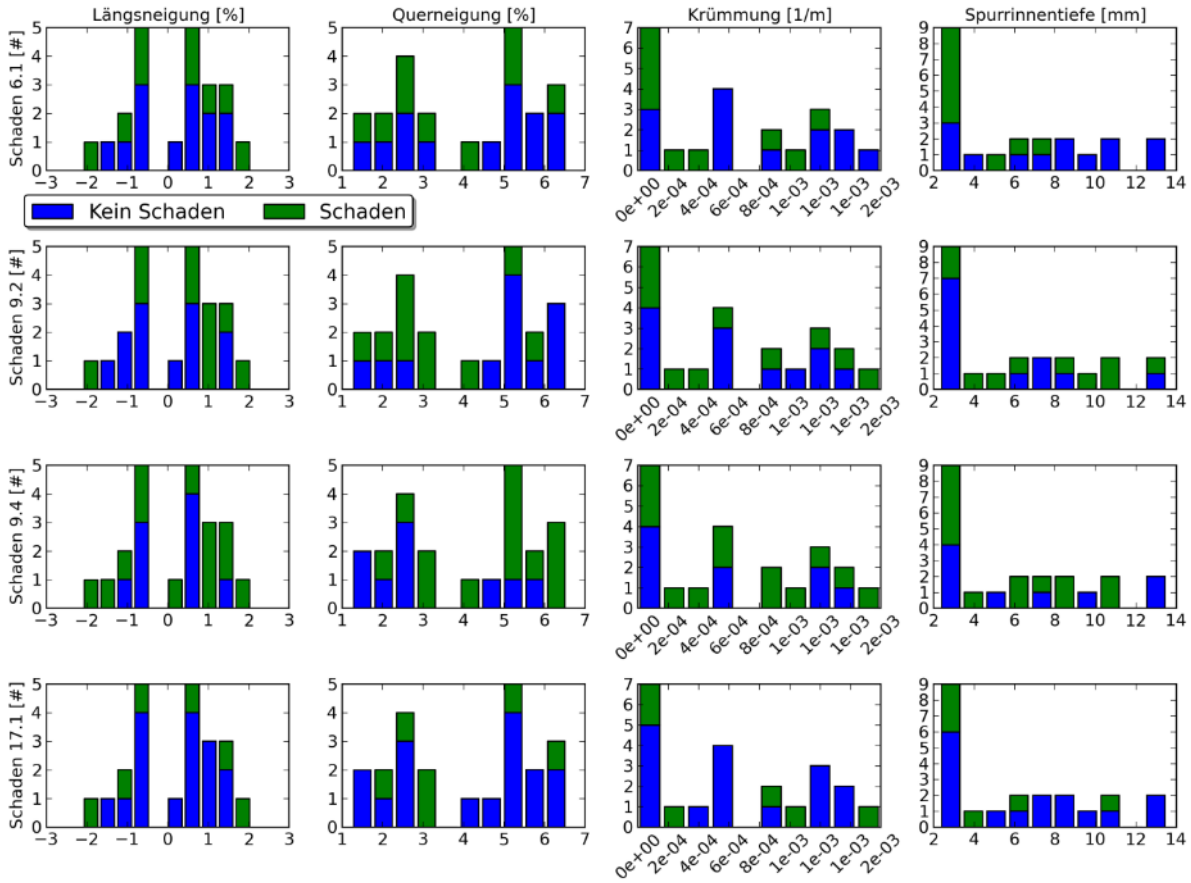


Bild 5: **Sensitivitätsstudie zwischen ausgewählten Schadensbildern der MDF und der Längsneigung, der Querneigung, der Fahrbahn-Krümmung im Grundriss und der Spurrinnentiefe**

Tabelle 6: Weiterführende Sensitivitätsuntersuchungen zwischen den Schadensbildern an der MDF

Schadensart	9.4	9.2	10.3	10.4	5.4	6.1	9.3
9.4	1	**0,5**	0,2	-0,2	0,1	0,2	0,3
9.2	**0,5**	1	0,2	0,1	0,1	0,1	**0,6**
10.3	0,2	0,2	1	-0,1	0,2	0	0,1
10.4	-0,2	0,1	-0,1	1	0,2	0	0,2
5.4	0,1	0,1	0,2	0,2	1	**0,5**	0,1
6.1	0,2	0,1	0	0	**0,5**	1	0,1
9.3	0,3	**0,6**	0,1	0,2	0,1	0,1	1

Aus den Erfahrungen der Expertenbefragung lassen sich folgende wesentliche Erkenntnisse ableiten: (a) Konstruktionen mit Scherensteuerung ist wegen ihrer Anfälligkeit für Bolzenbrüche keine geeignet Konstruktion, (b) Dichtprofile können durch Verschmutzung in Verbindung mit mechanischer Beanspruchung beschädigt werden oder durch Korrosion der Klauenprofile umläufig werden. Weiters kann die Umläufigkeit durch versehentliche Beschädigung im Zuge von Sanierungsarbeiten entstehen und (c) Unebenheiten im Anschlussbelag entstehen in erster Linie während des Einbaus. Spurrinnen und Verdrückungen entstehen durch die Verkehrsbeanspruchung. Unebenheiten im Fahrbahnbelag schlagen sich in erhöhtem Verschleiß der Gleit- und Drucklager nieder.

Gleitfingerfuge

Aufgrund relativer Häufung und wiederholten Auftretens bestimmter Schäden an GFFs wurden in Übereinstimmung mit Vertretern der ASFINAG und der ÖBB die vertieften Untersuchungen an diesen Typ festgelegt.

Für die Schadenserhebung wurden an drei unterschiedlichen Autobahnen 22 FÜKs aus zwei unterschiedlichen Bauarten ausgewählt. Der Einbau dieser FÜKs erfolgte zwischen 2002 und 2005. Tabelle 7 zeigt die am häufigsten identifizierten Schadensbilder. Die Umläufigkeit ist wie bei den zuvor diskutierten FÜKs das dominante Schadensbild, gefolgt von zu großen Spaltweitenöffnungen (bei sehr tiefen Bauwerkstemperaturen), verlegte Ablaufrinnen,

Korrosionserscheinungen an der Unterkonstruktion, seitlich versetzte Fingerplatten und undichte Ablaufrinnen.

Tabelle 7: Häufig identifizierte Schadensbilder an der GFF (1 = sehr guter Zustand, 5 = sehr schlechter Zustand)

Schadens-art	9.4		21.4		11.2		12.2		10.2		11.1	
Objekt	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD
301	**2,83**	0,43	**2,70**	0,37							**3,11**	0,40
302	**2,86**	0,51	**2,24**	0,40					**2,71**	0,50		
303					**2,49**	0,74						
304			**2,42**	0,40	**2,36**	0,63					**3,11**	0,45
305			**2,71**	0,39	**2,47**	0,62			**2,93**	0,43		
314	**2,64**	0,52	**2,31**	0,85								
315	**2,64**	0,48	**2,31**	0,85					**2,52**	0,41		
403					**2,30**	0,49						
406	**2,99**	0,46	**2,65**	0,38	**2,49**	0,49	**2,96**	0,61			**3,01**	0,44
407	**3,04**	0,48	**2,64**	0,41			**3,17**	0,63	**2,81**	0,47		
408	**3,01**	0,37			**2,46**	0,45	**2,90**	0,51	**2,60**	0,48		
409	**2,98**	0,35			**2,40**	0,50						
410	**3,07**	0,46					**3,10**	0,40			**3,07**	0,51
411	**3,12**	0,40									**3,14**	0,48
413			**2,75**	0,43	**2,35**	0,51						
414	**3,14**	0,50	**3,20**	0,32			**3,25**	0,60			**3,23**	0,52
415	**3,07**	0,39					**2,97**	0,51				
416	**3,05**	0,47					**3,07**	0,64				
417	**3,07**	0,53					**3,17**	0,59	**2,68**	0,49		
418	**2,99**	0,48			**2,55**	0,61	**3,19**	0,66	**2,66**	0,42	**3,08**	0,52
Alle GFF	**2,97**	0,48	**2,72**	0,51	**2,42**	0,58	**3,09**	0,59	**2,68**	0,49	**3,11**	0,49

Die Bewertung der Spaltweitenöffnung erfolgte durch Vergleich der theoretisch nach dem Eurocodemodell berechneten Spaltweite für die bei der Begehung erhobene Bauwerkstemperatur mit der tatsächlich vorhandenen Spaltweite. Im Allgemeinen war die Spaltweite größer als die prognostizierte und für die theoretischen Minimaltemperaturen wurde der maximale zulässige Spalt laut Herstellerangaben überschritten.

Zu den Ursachen für diese Effekte gehören mit einer hohen Wahrscheinlichkeit: (a) unerwartete Bauwerksbewegungen, (b) unterschätzte Schwind- und Kriechprozesse und (c) Abweichungen in den Annahmen und Berechnungsmethoden nach ÖNORM in Bezug auf

die angewandten Eurocode-Formulierungen. Bild 3c zeigt die Anzahl der Schäden je nach Schadensart.

Die Sensitivitätsanalyse nach Baujahr war aufgrund des relativ gleichen Alters der Konstruktionen nicht zielführend. Der Vergleich der Schadensanzahl nach Konstruktionsart zeigt keine Signifikanz, ebenso wenig wie nach dem Verkehrsaufkommen. Auch die Aufschlüsselung der spezifischen Schäden zeigt keine eindeutigen Sensitivitäten nach Verkehr oder Konstruktionsart.

Die Sensitivitätsanalyse der Schäden untereinander zeigt eindeutige Korrelationen zwischen (a) lockeren Schrauben und lockeren Fingerplatten und damit auch der Geräuschentwicklung und (b) zwischen Bauwerksschäden durch Undichtigkeiten und Materialeintrag. Des Weiteren zeigt Tabelle 8 (a) eine Abhängigkeit der Korrosion der Unterkonstruktion (12.2) von der Umläufigkeit (9.4), und (b) eine schwache Korrelation zwischen einem tiefem Fahrbahnanschluss (9.2) und der Verschmutzung der Gleitflächen (10.4) sowie einer Beschädigung der Gleitnocken (13.2).

Tabelle 8: Weiterführende Sensitivitätsuntersuchungen zwischen den Schadensbildern an der GFF

Schadensart	9.4	21.4	11.2	12.2	10.2	11.1
9.4	1	0,1	-0,2	**0,6**	0,3	0,3
21.4	0,1	1	0	0,1	0,1	0,2
11.2	-0,2	0	1	0	0,1	0,1
12.2	**0,6**	0,1	0	1	0,3	0,3
10.2	0,3	0,1	0,1	0,3	1	-0,2
11.1	0,3	0,2	0,1	0,3	-0,2	1

Eine Abhängigkeit der Schäden von der Fahrbahngeometrie konnte bei den Gleitfingern nicht nachgewiesen werden. Die Histogramme in Bild 6 zeigen die Schäden Geräuschentwicklung (10.3) und Fahrbahnanschluss zu tief/Verdrückungen/Spurrinnen (9.2) in Abhängigkeit der mittleren Werte für die Längsneigung, Querneigung, Krümmung und Spurrinnentiefe. Es sind hier keine besonderen Häufungen von Schäden erkennbar, welche auf keine Korrelation mit den geometrischen Randbedingungen schließen lassen. Ein Vergleich mit Schäden an Schrauben und Fingerplatten konnte nicht erfolgen, da diese Schäden durch den unmittelbaren Reparaturbedarf im Regelfall nicht aufgenommen werden konnten.

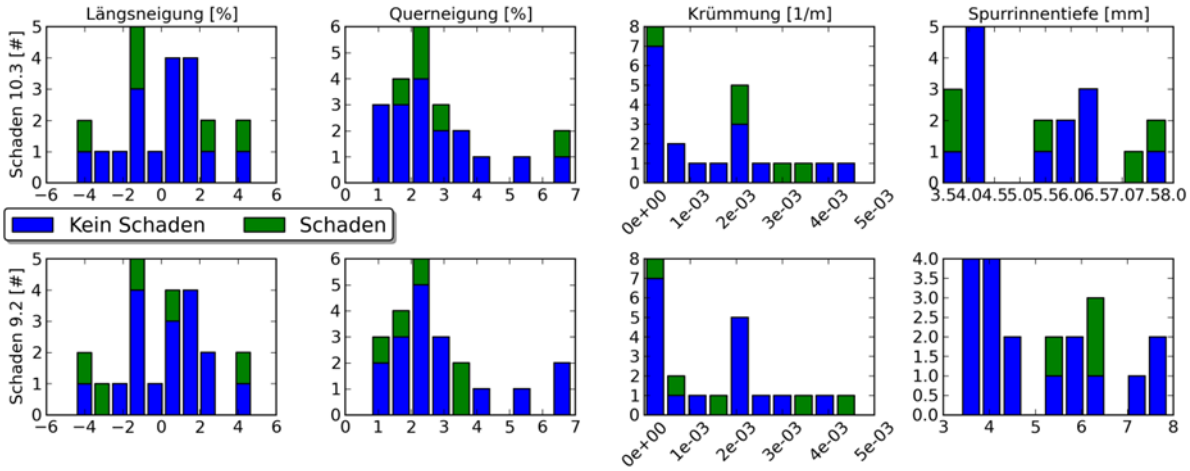


Bild 6: **Sensitivitätsstudie zwischen ausgewählten Schadensbildern der GFF und der Längsneigung, der Querneigung, der Fahrbahn-Krümmung im Grundriss und der Spurrinnentiefe**

Aus den Schadenserhebungen, den Expertenbewertungen und den Expertengesprächen können folgende wesentliche Erkenntnisse für die GFFs zusammengefasst werden:

Schraubenbrüche: (a) Ein überhöhter Fahrbahnbelag kann nicht als unmittelbare Ursache für Schraubenbrüche verantwortlich gemacht werden, hat aber einen wesentlichen Einfluss auf das Schadensbild, (b) als Ursache für Schraubenbrüche wird auch eine nicht ebenflächige Auflage der Fingerplatten auf der Unterkonstruktion und damit ungleichmäßige Abnutzung der Verschleißelemente gesehen, in diesem Zusammenhang ist auch der Einfluss der Unterkonstruktion zu erwähnen, welche ggf. den ebenen Einbau erschwert und auch mögliche Hohlstellen im Beton. Diese begünstigen die Schwingungen der Konstruktion und somit Schraubenbrüche. (c) an den Schraubenbrüchen können unter anderem auch Horizontalkräfte (Bremsen, Anfahren etc.) beteiligt sein. (d) beim Einbau kann eine Überdehnung der Schrauben insbesondere bei gefetteten Schrauben (25% höhere Beanspruchung) die Ermüdungsprozesse und folglich die Schraubenbrüche begünstigen und (e) die Qualitätskontrolle der geforderten Stahlqualität (8.8 bzw. 10.9) der Schrauben und die Kontrolle der Verwendung des vorgeschriebenen Einbauwerkzeuges wurde als wesentliche Maßnahme zur Vermeidung von Schraubenbrüchen definiert.

Fingerbrüche: Bei den GFFs sind nur an speziellen Konstruktionstypen Fingerbrüche aufgetreten. Die Ursache für diese Fingerbrüche sind mit einer hohen Wahrscheinlichkeit Schwingungsbelastungen aufgrund: (a) eines Höhenversatzes der Finger, welche durch Verschleiß der Gleitnocken oder der Abhebesicherung oder Bauwerksbewegungen verursacht wird, (b) lockerer Schrauben bzw. Fingerplatten, (c) Hohlräume im Beton, (c)

eines zu hohen Fahrbahnbelages und (d) von Spurrinnen bzw. eines zu tiefem Fahrbahnbelages und die damit verbundenen Schläge.

Allgemeine Schäden an der Konstruktion: können (a) im Zuge von Baumaßnahmen auftreten, wie z.B. Überdehnung der Finger bei Lagertausch, Stoßbelastung durch schwere Baustellenfahrzeuge nach dem Abfräsen des Belages, (b) durch die Fahrbahngeometrie z.B. erhöhte Querkräfte aufgrund von engen Kurvenradien und somit einer verkehrsbedingten Querbelastung bzw. Zwangsbeanspruchung durch Behinderung der Querverformung der Finger (Unterdimensionierung) und (c) durch Niveauunterschiede aufgrund von Bauwerksbewegungen, starker Verschmutzung (Abheben der Finger; Verschleiß der Gleitnocken) zwischen den Fingerplatten entstehen. Bild 7 zeigt die Kausalitäts – Interaktionsdarstellung für die Schadensbilder Finger- und Schraubenbrüche auf Basis der Schadenserhebungen und Expertengespräche.

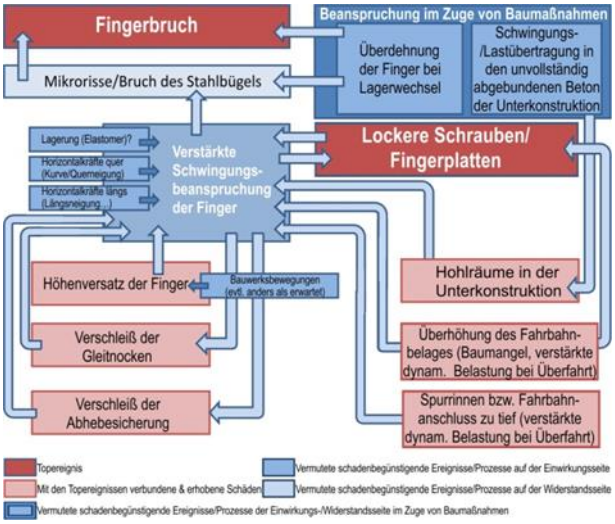


Bild 7: **Kausalitäts – Interaktionsdarstellung für die Schadensbilder Finger- und Schraubenbrüche an GFFs**

Kragfingerübergänge

Die KFÜK wurde wie die GFF aufgrund relativer Häufung und wiederholten Auftretens bestimmter Schäden für die Untersuchung ausgewählt.

Die Schadensbilderhebung erfolgte an 29 KFÜKs aus unterschiedlichen Baujahren und aus unterschiedlichen Autobahnabschnitten. Acht der Konstruktionen besaßen keine Ablaufrinne, sondern eine Ablaufschürze, welche das Wasser in eine Betonrinne unter dem Fugenspalt leitet. Tabelle 9 zeigt die am häufigsten identifizierten Schadensbilder.

Bei den KFÜKs wurden weniger Schäden pro Konstruktion festgestellt als bei den anderen Konstruktionstypen. Am häufigsten wurde eine Abplatzung der Beschichtung vorgefunden, ebenso wie die vermutlich damit verbundene Korrosion der Fingerplatten. Da diesen Mängeln von Experten wenig Bedeutung beigemessen wird, wurde bei der Analyse nicht näher darauf eingegangen. Für das Schadensbild der Überschreitung der Spaltweite (21.4) konnte ähnliches wie bei den GFFs festgestellt werden. Wie auch bei den GFFs gehören zu den fünf häufigsten Schadensbildern die Verschmutzung der Ablaufrinne (11.2) und das Ausreißen der Ablaufrinne (11.4). Das Bild 3d zeigt die Anzahl der Schäden unterteilt nach Schadensart.

Die Sensitivitätsanalyse zwischen den Schäden zeigte, wie aus Tabelle 10 ersichtlich ist, zwischen den Schäden: Beschichtung (3.7) und Korrosion der Fingerplatten (3.8) eine eindeutige Korrelation. Weiters zeigte die Analyse einen klaren Zusammenhang zwischen lockeren Schrauben und losen Fingerplatten, wobei jedoch aufgrund der zu kleinen Stichprobe kein signifikanter Korrelationskoeffizient ermittelt werden konnte. Zwischen ausgerissener Ablaufrinne und undichter Ablaufrinne gibt es, wie zu erwarten, eine starke Korrelation.

Tabelle 9: Häufig identifizierte Schadensbilder an der KFÜK (1 = sehr guter Zustand, 5 = sehr schlechter Zustand)

Schadens-art	3.7		21.4		3.8		11.2		11.4	
Objekt	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD	MW	STD
101					**2,10**	0,48				
102	**1,89**	0,41			**1,93**	0,41				
107							**2,22**	0,55		
109	**1,99**	0,51	**2,63**	0,60						
110	**2,03**	0,53	**2,45**	0,57	**2,10**	0,53	**2,23**	0,50		
111	**2,09**	0,68								
112	**2,05**	0,65	**2,60**	0,54	**2,10**	0,60				
113	**1,94**	0,62	**2,54**	0,57			**2,46**	0,56		
114	**1,99**	0,60			**1,98**	0,54				
115	**1,94**	0,60	**2,37**	0,53	**2,02**	0,60				
116	**1,92**	0,55	**2,64**	0,51	**1,97**	0,55				
117							**1,95**	0,46		
118							**2,29**	0,61	**3,29**	0,52
402									**3,30**	0,54
404			**2,66**	0,42			**2,45**	0,51	**3,20**	0,50
405									**3,14**	0,44
420							**2,52**	0,55	**3,37**	0,36
421			**2,83**	0,48			**2,46**	0,55		

422			**2,93**	0,46						
423									**3,42**	0,50
Alle KFÜK	**1,97**	0,59	**2,61**	0,55	**2,02**	0,54	**2,32**	0,57	**3,30**	0,52

Tabelle 10: Weiterführende Sensitivitätsuntersuchungen zwischen den Schadensbildern an der KFÜK

Schadensart	3.7	21.4	3.8	11.2	11.4
3.7	1	**0,5**	**0,7**	0	-0,2
21.4	**0,5**	1	0,3	0,3	-0,1
3.8	**0,7**	0,3	1	-0,1	-0,2
11.2	0	0,3	-0,1	1	0,3
11.4	-0,2	-0,1	-0,2	0,3	1

Aus der Untersuchung der Schadensbilder in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens konnten keine eindeutigen Zusammenhänge gezogen werden, ebenso verhielt es sich in Bezug auf die Fahrbahngeometrie. Die Histogramme in Bild 8 zeigen die Schäden: Ablaufrinne ausgerissen (11.4), Finger verformt (3.5), Fahrbahnanschluss zu tief/Verdrückungen/Spurrinnen (9.2) und Geräuschentwicklung (10.3) in Abhängigkeit der mittleren Werte für die Längsneigung, Querneigung, Krümmung und Spurrinnentiefe. Es sind hier keine besonderen Häufungen von Schäden auszumachen, welche auf eine Korrelation mit den geometrischen Randbedingungen schließen lassen. In diesen Untersuchungen konnten Schäden an Schrauben und Fingerplatten nicht aufgenommen werden, da diese Schäden wie bei den GFFs unmittelbar behoben werden und in der klassischen Inspektion nicht erfasst werden.

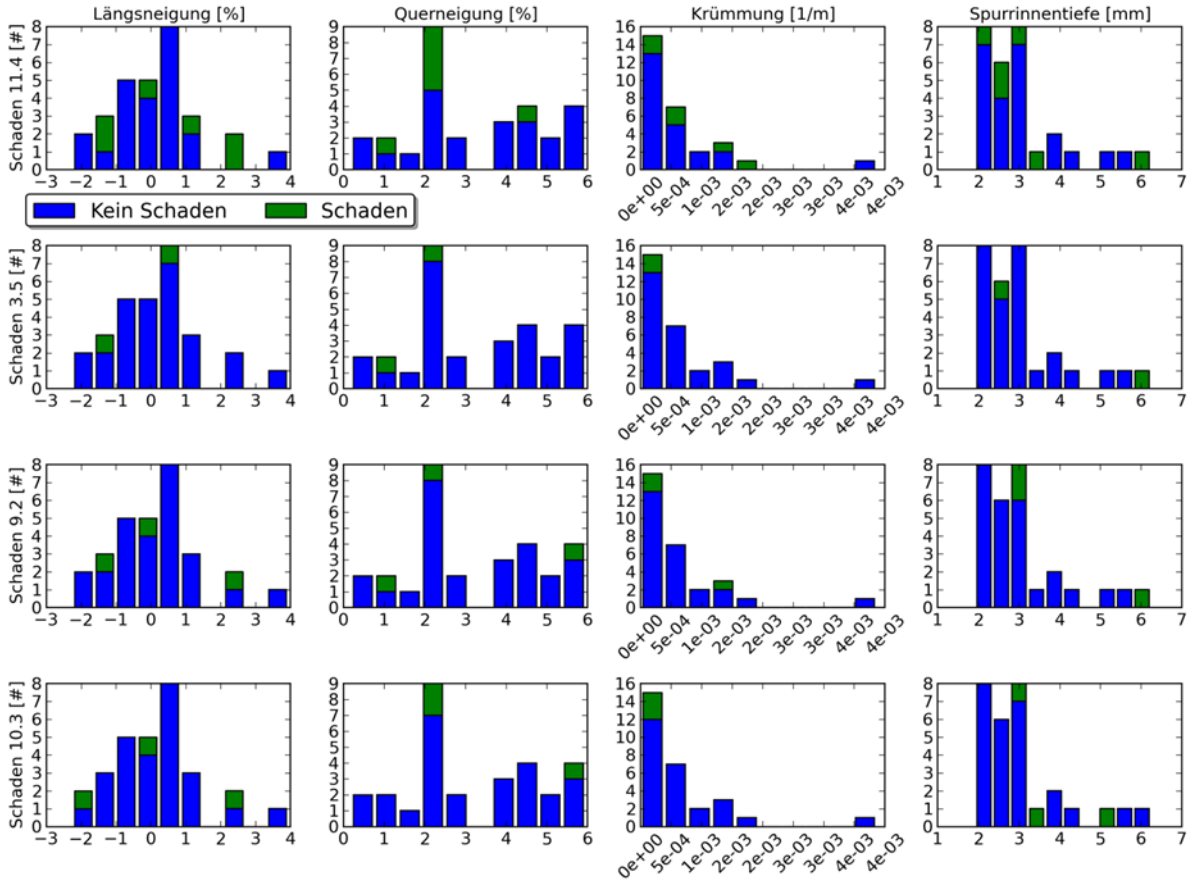


Bild 8: **Sensitivitätsstudie zwischen ausgewählten Schadensbildern der KFÜK und der Längsneigung, der Querneigung, der Fahrbahn-Krümmung im Grundriss und der Spurrinnentiefe**

Die Schadenserhebungen, die Expertenbewertungen und die Expertengespräche zeigten für die KFÜKs folgende Situation:

(a) Unebenheiten im Fahrbahnbelag vor und nach den FÜK haben einen signifikanten Einfluss auf die Lockerung von Schrauben und Bruchprozesse. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Schraubenbrüchen und Unebenheiten im Fahrbahnbelag war aus den Inspektionsdaten nicht eindeutig ableitbar, da die Mehrzahl der inspizierten FÜKs, an denen Schraubenbrüche aufgetreten sind, mit der Fahrbahn plan in einer Ebene lagen.

(b) für Schraubenbrüche sind auch mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eine nicht perfekte plane/satte Lage der Fingerplatte auf der Unterkonstruktion verantwortlich bzw. eine Unebenheit in der Unterkonstruktion (zusätzliche verstärkte Schwingungen). Ein nachträgliches Einebnen der Unterkonstruktion kann diesen Umstand entschärfen.

(c) Hohlräume im Verguss der Unterkonstruktion sind u.a. ebenfalls an der Schädigung der Schrauben beteiligt. Diese Hohlräume können aufgrund folgender Prozesse entstehen: (A)

Vibrationen (z.B. aufgrund fahrstreifenweisem Einbau) während des Abbindevorgangs des Vergussmörtels fördern die Entmischung und somit die Hohlraumbildung, (B) frühzeitige Belastung des Fahrbahnüberganges durch Baustellenfahrzeuge bzw. frühzeitige gewollte oder ungewollte Entfernung des Belastungsschutzes (Abdeckung), (C) der Abbindevorgang des Vergussmörtels der FÜK ist bei Verkehrsfreigabe (Fahrbahn/Fahrstreifen) noch nicht abgeschlossen, (D) Unterlassung der Entfernung der Transportsicherung vor dem Betoniervorgang – der Fahrbahnübergang kann im jungen Beton den Bauwerksbewegungen nicht folgen, daraus folgt eine locker sitzende Unterkonstruktion, (E) eine unzureichende Fahrbahnabdichtung, welche nicht über die Unterkonstruktion geht, ermöglicht einen Wasser- bzw. Tausalzzutritt und fördert durch Frost/Tauwechselwechsel die mechanischen Beschädigungen wie z.B. die kontinuierliche Erweiterung der (Mikro-) Risse, darüber hinaus beschleunigt der ständige Lastwechsel (Pumpvorgang) den Schädigungsprozess und (F) Verwindung bzw. Verformung der Konstruktion während des Einbaus.
(d) zu den Ursachen für undichte Ablaufrinnen gehören: (A) eingetragene scharfkantige Gegenstände oder Rückstände von Sanierungen (Beton- und Asphaltrückstände werden durch die Lastwechsel zusammengerüttelt und verfestigen sich), welche aufgrund der Sogkräfte aus den Überfahrten in ständiger Bewegung sein können und über längere Zeiträume mechanische Schäden hervorrufen, (B) versehentliche Beschädigungen (z.B. unachtsame Handhabung von Schweißflammen), (C) der Rückstau bei hohem Wasserandrang kann bei in Stößen verlegten Ablaufrinnen zu einen massiven Wasseraustritt an den Stößen führen – wurde auch bei verschweißten Lösungen zum Teil beobachtet und (D) abgerissene Ablaufrinnen aufgrund einer unzureichend dimensionierten Befestigung – Unterschätzung der zyklischen Sogkräfte aus den Membranbewegungen.

Umläufigkeit

Als Umläufigkeit wird in diesem Beitrag das Eindringen und Abfließen von Wasser zwischen Abdichtung und zu schützendem Bauteil bezeichnet. Bei der Schadensanalyse an den 89 FÜKs wurde an 43 Umläufigkeiten festgestellt, darüber hinaus wurde an weiteren 17 Konstruktionen eine Undichtheit erkannt.
Bei den BDFs und den GFFs war eine Sensitivität zwischen der Umläufigkeit und dem Verkehrsaufkommen feststellbar. In Bezug auf das Einbaujahr bestand keine Sensitivität. Bei den KFÜKs wurden nur in 7% der Fälle Anzeichen für Umläufigkeit gefunden. Bei den BDFs trat die Umläufigkeit mit 87% am häufigsten auf, allerdings war hier eine Unterscheidung der Gründe für die Undichtheit nicht möglich.

Auf Basis der erhobenen Datensätze konnte keine Korrelation zwischen den geometrischen Randbedingungen und den aufgenommenen Schäden der Umläufigkeit festgestellt werden. Der Einfluss der geometrischen Randbedingungen der Fahrbahnen auf die Schäden konnte auf Basis der durchgeführten Erhebungen im Allgemeinen als gering festgestellt werden im Vergleich zur Verkehrsbelastung, dem mangelhaftem Einbau und den konstruktiven Mängeln der FÜKs.

Aus den Expertengesprächen ergaben sich folgende wesentliche Aspekte: (a) die Umläufigkeit hat für Folge-Schadensprozesse eine große Bedeutung, insbesondere die Beeinträchtigung der Unterkonstruktion des Fahrbahnüberganges durch Korrosion und das Initiieren von Degradationsprozessen am und im Bauwerk/Brücke (z.B. Eindringen von Wasser bzw. in Verbindung mit Tausalzen verursacht Betonabplatzungen und Bewehrungskorrosion sowohl durch chemische Angriffe als auch durch Frost/Tauwechsel), (b) sehr oft sind die Brückenlager aufgrund von Umläufigkeiten durch Korrosion betroffen, welche einen Einfluss auf die Funktionalität hat, (c) aber auch Erosionen und Ablagerungen von Feinmaterial bei starkem/kontinuierlichen Wasserandrang gehören zu den Schädigungsprozessen.

Zu den wesentlichen Ursachen für Umläufigkeiten gehören: (a) Die Abdichtung wird im Einbau beschädigt oder nicht fachgerecht ausgebildet. (b) Es gibt keine Unterflurentwässerung bzw. sie ist verstopft oder nicht ausreichend dimensioniert. Dadurch baut sich über der Abdichtung ein hydrostatischer Druck auf, der durch die Lastwechsel des Verkehrs zu Pumpeffekten führt. Die Folge sind Asphaltausbrüche und die mechanische Beschädigung der Abdichtung. Stärkere Längsneigungen begünstigen diesen Effekt, da das unter der Fahrbahn ablaufende Wasser an der Übergangskonstruktion gestaut wird. (c) Umläufigkeit tritt oft an den Stößen der Abdichtung auf. Offenbar sind die Überlappungen und Schweißnähte für das mit Druck anstehende Wasser nicht ausreichend dicht. Stöße entstehen vor allem im Mittelstreifen und bei fahrstreifenweisem Einbau. Im Mittelstreifen liegen meist Leitungen, die durch die Abdichtung geführt werden müssen. Solche Punkte sind potenzielle Schwachstellen, weil die korrekte Abdichtung schwierig ist. (d) Bei der Ausbildung von Überlappungen kann das „Abdichtungspaket“ im Vergleich zur Asphaltauflage recht dick werden. Beim Überfahren verhält sich das Paket elastisch. Durch die auftretenden Bewegungen kann der Asphalt ausbrechen und die Abdichtung mechanisch beschädigt werden. (e) Bei Fingerfahrbahnübergängen kann das Wasser über die Aussparungen in der Unterkonstruktion ins Bauwerk eindringen. (f) Ein mangelhafter Fugenverguss erleichtert den Wasserzutritt und kann zum Umfließen der Abdichtung oder

zur Verstärkung der Pumpeffekte führen. Bild **9** zeigt die Interaktionen der wesentlichen Erkenntnisse in Bezug auf die Umläufigkeit.

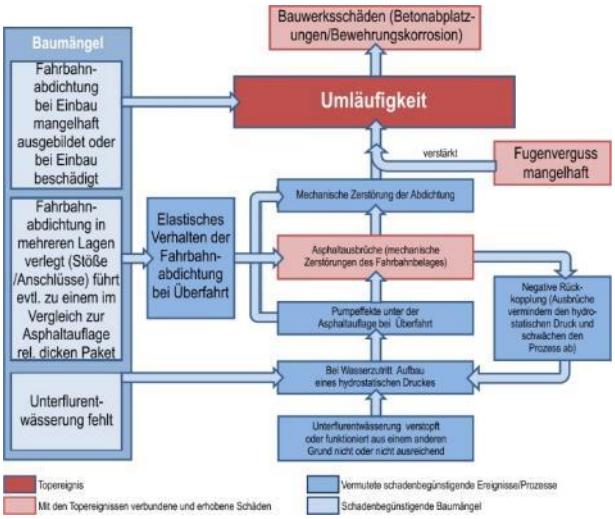


Bild 9: **Kausalitäts – Interaktionsdarstellung für die Schadensbilder Finger- und Schraubenbrüche an GFFs**

Schlussfolgerungen

Die meisten der untersuchten Fahrbahnübergänge wurden seit Inbetriebnahme der Bauwerke bereits mindestens einmal ausgetauscht. Man kann davon ausgehen, dass die Sanierungen im fahrstreifenweisen Einbau erfolgten. Ausnahmen in dieser Untersuchung sind die Dilatationen auf der A23, deren Einbau seit 1999 unter FlyOver-Konstruktionen erfolgt. Dies ist eine Stahlkonstruktion, welche Instandsetzungsarbeiten auf bestehenden Fahrbahnen ermöglicht, ohne die Fahrbahn für den fließenden Verkehr sperren zu müssen. Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die Fingerbrüche treten nur bei GGFs auf, sonst überhaupt nicht.
- Schraubenabrisse sind mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von einer nicht planen Auflage der Fingerplatte auf der Unterkonstruktion u.a. aus folgenden Gründen verantwortlich:
    - Verwindungen in der Unterkonstruktion während des Einbaus
    - Generell nicht fachgerechter Einbau
    - Hohlräume durch Vibrationen in Verbindung mit einem noch nicht abgeschlossenen Abbindeprozess des Vergussmörtels
    - Frühzeitige Belastung durch Baufahrzeuge
    - Unterlassung der Entfernung der Transportsicherung der Unterkonstruktion

  - Hohlräume infolge Wasser-Taumittelzutritts bei unzureichender Abdichtung
- Ein fahrstreifenweiser Einbau birgt größere Risiken im Hinblick auf spätere Schäden, die aus folgenden Gründen verursacht werden können:
  - An den Stößen ist eine sorgfältige Fahrbahnabdichtung sehr schwierig. Sie ist entweder von Anfang an nicht dicht oder das „Paket“ wird im Vergleich zum darüber liegenden Asphalt sehr dick. Die Folge ist eine mechanische Beschädigung durch überrollenden Verkehr, Asphaltausbrüche sind ebenfalls möglich.
  - Durch den im angrenzenden Fahrstreifen überrollenden Verkehr kann die gerade im Einbau befindliche Konstruktion in Schwingungen versetzt werden. Dadurch wird die Aushärtung des Vergussbetons beeinträchtigt, was Hohlstellen zur Folge haben kann auch der Einbau einer kompletten FÜK über eine gesamte Richtungsfahrbahn kann durch Schwingungen beeinträchtigt werden, sofern das Tragwerk von der anderen Richtungsfahrbahn statisch nicht entkoppelt ist.
- Eine weitere wichtige Ursache für Schäden an FÜKs sind zu frühe Belastungen (Überfahren durch schwere Baufahrzeuge, Aushärtezeit des Betons wird nicht angemessen berücksichtigt).
- Das Nachverpressen der Hohlräume scheint das Problem der lockeren Schrauben zu verbessern.
- Die Überhöhung des Fahrbahnbelags kann eine Rolle bei den lockeren Schrauben spielen, konnte aber nicht als systematische Ursache festgestellt werden. Vielmehr ruft ein zu tiefer Fahrbahnbelag hohe Belastungen der FÜKs hervor.
- Die Schwächen liegen nur teilweise in der Konstruktion selbst, viel wichtiger scheint die Qualität des Einbaus zu sein. Zeitmangel und fehlende Erfahrung der Fachkräfte spielen hier eine große Rolle.

Schlussfolgerungen aus der Schadenserhebung Umläufigkeit: Ausgehend von den vorangegangenen Ausführungen können zur Vermeidung von Umläufigkeit die folgenden Empfehlungen gegeben werden:

- Einbau einer ausreichend dimensionierten Unterflurentwässerung. Diese ist auch bei Sanierungen vorzusehen.
- Überlappungen und Stöße der Abdichtungen sind mit einer besonderen Sorgfalt auszuführen – auf eine qualitative Bauausführung ist besonderes Augenmerk zu legen.
- ein fahrstreifenweiser Einbau und damit verbundene Stöße in der Abdichtung sollten möglichst vermieden werden.

Die erhobenen Daten an den unterschiedlichen FÜKs sollten als Basis für (a) Empfehlungen zur Schadensbehebung und (b) zur Entwicklung innovativer FÜKs gezielt nach den Anforderungen dienen. Nachfolgend wird auf die Ergebnisse von AP2 mit einer Evaluierung

von dynamischen Belastungen auf FÜKs durch Belagsunebenheiten eingegangen. Basierend auf den APs 1 und 2 werden in den APs 3 und 4 anschießend Sanierungsmethoden für geschädigte FÜKs sowie Möglichkeiten zur Ausbildung von robusteren Konstruktionen ermittelt. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen des Forschungsprojektes EVAF sollen außerdem Empfehlungen für normative Festlegungen getroffen werden.

Nomenklatur

AP Arbeitspaket
FÜK Fahrbahnübergangskonstruktion
KFÜK Kragfingerübergang
MW Mittelwert
BDF Belagsdehnfuge
GFF Gleitfingerfuge
MDF Modulardehnfuge
STD Standardabweichung

Schraube (GFF/KFÜK)
1.1 locker
1.2 fehlt/ abgerissen
1.3 Vergussmasse fehlt/ beschädigt
1.4 Sonstiges

Randprofil (GFF/KFÜK)
2.1 gebrochen
2.2 verformt
2.3 beschädigt
2.4 Sonstiges

Fingerplatten (GFF/KFÜK)
3.1 Platte locker
3.2 Platte fehlt
3.3 Platte gebrochen
3.4 Finger gebrochen
3.5 Finger verformt
3.6 Oberflächliche Beschädigung/Abplatzung
3.7 Beschichtung
3.8 Korrosion

Sonstiges (alle)
10.1 Niveauunterschied der Fingerplatten
10.2 seitlicher Versatz Fingerplatten
10.3 Geräuschentwicklung
10.4 Verschmutzung
10.5 Schleppblech
10.6 Sonstiges

Ablaufrinne (GFF/KFÜK)
11.1 Undichtigkeit
11.2 Verschmutzung
11.3 Wasserableitung defekt (Fallrohre etc.)
11.4 Ablaufrinne ausgerissen
11.5 Sonstiges

Unterkonstruktion (GFF/KFÜK)
12.1 Beschädigung Gewinde
12.2 Korrosion
12.3 Hohlstellen Beton
12.4 Sonstiges

Lagerung Gleitplatte (GFF)

3.9 Sonstiges

Randprofil (MDF)
4.1 gebrochen
4.2 verformt
4.3 beschädigt
4.4 Korrosion
4.5 Sonstiges

Lamellen (MDF)
5.1 gebrochen
5.2 verformt
5.3 beschädigt
5.4 Korrosion
5.5 locker
5.6 ungleichmäßiger/nicht ausreichender Abstand
5.7 Sonstiges

Dichtprofil (MDF)
6.1 undicht/ausgeknüpft
6.2 Materialalterung
6.3 Sonstiges

Traverse (MDF)
7.1 Korrosion
7.2 verformt
7.3 gebrochen
7.4 Sonstiges

Belag (BDF)
8.1 Verdrückungen
8.2 Risse
8.3 Abreißen der Fugenfüllmasse

13.1 Kunststofflager feste Seite
13.2 Gleitlager bewegliche Seite
13.3 Gleitflächen beschädigt
13.4 Sonstiges

Abhebesicherung (GFF)
14.1 Schraube/Mutter defekt
14.2 Feder defekt
14.3 locker
14.4 Halterung beschädigt
14.5 Korrosion
14.6 Sonstiges

Steuersystem (MDF)
15.1 Korrosion
15.2 Schrauben defekt/fehlen
15.3 Steuerfedern defekt
15.4 Unterrostung des Gleitblechs
15.5 Sonstiges

Rahmen für Lager- bzw. Federsystem (MDF)
16.1 Korrosion
16.2 Gleitlager
16.3 Feder defekt
16.4 Schrauben defekt/fehlen, Sonstiges
16.5 Versagen des Rahmens
16.6 Sonstiges

Traversenkasten (MDF)
17.1 Gleitlager
17.2 Korrosion
17.3 Versagen der Arretierung
17.4 Feder defekt
17.5 Versagen des Kastenbodens

8.4 Sonstiges

Fahrbahnanschluss (alle)

9.1 Höhenversatz (zu hoch)

9.2 zu tief, Verdrückungen, Spurrillen

9.3 Ausbruch

9.4 Umläufigkeit

9.5 Stützrippen verkehrt herum

9.6 Vergussmasse fehlt/mangelhaft

9.7 Sonstiges

17.6 Sonstiges

Bauwerk (alle)

21.1 Folgeschäden durch Undichtigkeiten

21.2 Materialeintrag durch Undichtigkeiten

21.3 Inspektionsstellen verwachsen

21.4 Zulässige Spaltweiten über-/unterschritten

21.5 Sonstiges

Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübergänge

EVAF

Ergebnisbericht AP2

Ein Projekt finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2011)

AutorInnen:

DI Dr. Stefan Lachinger

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

MAGEBA GesmbH
Seglerweg 1
6972 Fußach

Universität für Bodenkultur Wien
Peter Jordan Str. 82
1190 Wien

AIT – Austrian Institute of Technology
Donau City Str. 1
1220 Wien

2.1 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

2.1.1 Arbeitspaket 2

Dieser Bericht umfasst die Ergebnisse welche im Rahmen von Arbeitspaket 2 des Forschungsprojektes EVAF – Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübüergänge von AIT – Austrian Institute of Technology in Zusammenarbeit mit mageba und der Universität für Bodenkultur (BOKU) durchgeführt wurden.

Laut Forschungsantrag wurde in AP2 die folgende Zielsetzung bearbeitet:

- Sensitivitätsstudie der Zustandsentwicklung in Abhängigkeit definierter Randbedingungen
- Optischer Bildnachweis von FÜK-Systemen mit RoadSTAR
- Analyse der Einwirkungen durch Unstetigkeit im Fahrbahnlängsprofil

Die Ergebnisse der Sensitivitätsstudie flossen in die Schadensbewertung von AP1 ein und wurden im Zuge dieses Arbeitspaketes beschrieben. Deshalb beschreibt dieser Bericht die Erfassung der geometrischen Randbedingungen, die Möglichkeit zum optischen Nachweis sowie der Analyse der dynamischen Einwirkungen durch Fahrbahnunebenheiten.

Das Forschungsprojekt beschränkte sich auf die Analyse von vier gebräuchlichen Konstruktionsarten: (1) Belagsdehnfugen – BDF; (2) Modulare Dehnfugen (Lamellenübergänge) – MDF; (3) Gleitfingerkonstruktionen – GFF; (4) Kragfingerkonstruktionen – KFÜK. Beispielhafte Darstellungen der einzelnen Konstruktionstypen sind in Bild 10 dargestellt. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes fließen auch in die sich gerade in Entwicklung befindliche ÖNORM B 4031/4032 [1] ein, welche die bisherige RVS 15.04.51 [2] unter Berücksichtigung der 2013 veröffentlichten ETAG 032 [3] ersetzen soll.

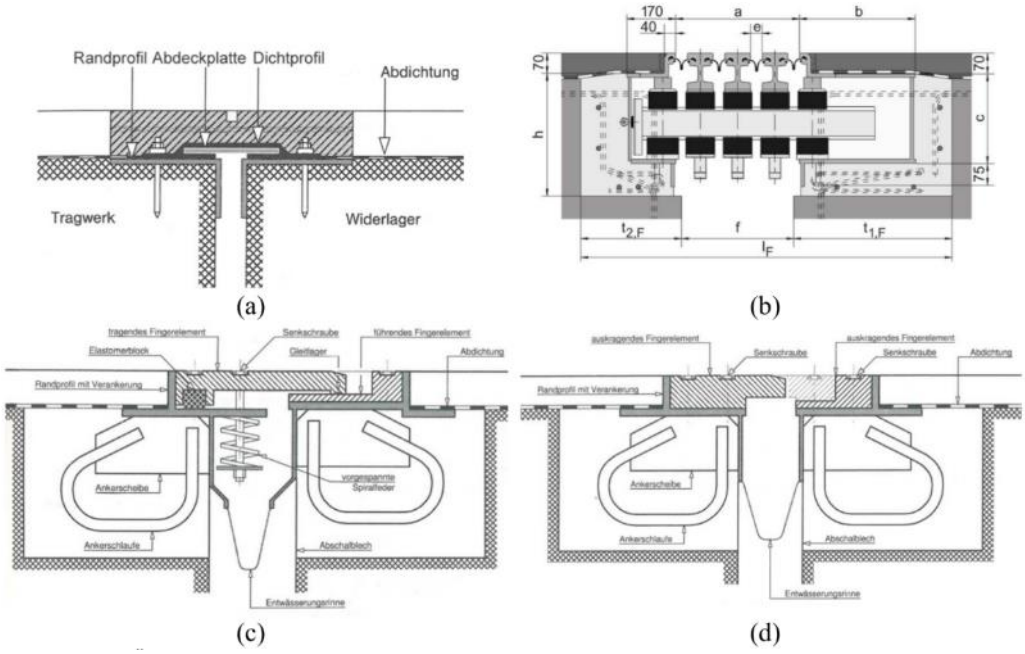


Bild 10: Beispielhafte Darstellung der untersuchten Konstruktionsarten. (a) Belagsdehnfugen – BDF, aus [4]; (b) Modulare Dehnfugen (Lamellenübergänge) – MDF, aus [5]; (c) Gleitfingerkonstruktionen - GFF, aus [4]; (d) Kragfingerkonstruktionen – KFÜK, aus [4]

In Abschnitt 2 wird auf die mit dem mobilen Straßenzustandserfassungssystem RoadSTAR durchgeführte Datenerfassung eingegangen. Die erhobenen Daten sind in die Sensitivitätsanalyse in AP1 eingeflossen. Des Weiteren wird in diesem Abschnitt die Möglichkeit aufgezeigt, bei künftigen Messfahrten oberflächennahe Schäden zeitnah zu detektieren und somit den Infrastrukturbetreiber bei einer effizienten Instandhaltungsplanung zu unterstützen. Die Untersuchungen zu den auftretenden dynamischen Lasten auf FÜKs welche in Abschnitt 2.5 beschrieben werden stellen den Hauptteil des vorliegenden Berichtes dar. Hierzu wurden mittels einer transienten FE-Analyse die dynamischen Reifenkontaktkräfte eines 40to LKWs für unterschiedliche Höhenprofile ausgewertet und einfache Grundsätze für die Ausführung des Fahrbahnanschlusses an die FÜK abgeleitet.

2.2 Mobile Datenerfassung RoadSTAR

2.2.1 *Beschreibung mobiles Straßenzustandsmesssystem RoadSTAR*

Das mobile Straßenzustandsmesssystem RoadSTAR, siehe Bild 11, wurde entwickelt, um in einer einzigen Überfahrt alle für den Straßenerhalter wichtigen Oberflächeneigenschaften einer Fahrbahn zu erfassen. Ursprünglich als Fahrzeug zur Messung der Fahrbahngriffigkeit konzipiert, wurden in den letzten 20 Jahren kontinuierlich die Erfassungssysteme erweitert.

Heute wird neben der Griffigkeit (Prinzip des modifizierten Stuttgarter Reibungsmessers mit gebremsten Rad) eine Vielzahl anderer Parameter während der Fahrt im fließenden Verkehr erhoben. Haupteinsatzgebiet ist die netzweite Zustandserfassung, die gemeinsam mit Deckenaufbau, Deckenalter und Verkehrsstärken als Entscheidungsgrundlage für die Erhaltungsplanung dient. Dabei werden aggregierte Daten (50 m- oder 100 m-Mittelwerte) verwendet. Für Detailuntersuchungen wie im gegenständlichen Projekt liegen Daten in wesentlich höherer Auflösung vor. Im Projekt wurde auf Daten aus den Systemen „Längsebenheit“, Querebenheit“, „Oberflächenschäden“ und „Trajektorie“ zurückgegriffen.

Die Längsebenheitsmesseinrichtung arbeitet nach dem Prinzip des TRRL-Profilometer (Mehrfachabtastung) [6]. Vier Lasersensoren auf einem 2 m langen Balken tasten die Straße in einem 5 cm-Intervall in der rechten Radspur ab. Nach Berechnung steht ein Höhenprofil mit einer Auflösung von 10 cm zur Verfügung, das einen Wellenlängenbereich von 0,5 bis 50 m abdeckt.

Die Querebenheitsmesseinrichtung erfasst in einem Längsabstand von 10 cm Profile mit einer Breite von 3,3 m. Der Punktabstand quer zur Fahrtrichtung beträgt 15 cm.

Die Trajektorie bzw. die Lage und Position des Messfahrzeuges wird mittels eines Koppelnavigationssystems (zwei GNNS-Empfänger, eine IMU und ein Weggeber) mit einer Frequenz von 200 Hz präzise bestimmt.

Das Oberflächenbild wird mit einer Zeilenkamera mit einer Pixelauflösung auf der Fahrbahnoberfläche von 1 mm auf einer Breite von 4 m erfasst.

Aus der Trajektorie, dem Längs- und Querprofil wurde ein Straßenmodell mit einem Raster von 10 x 10 cm für die spätere Simulation erstellt. Das Oberflächenbild wurde für die Validierung der FÜK-Typen bzw. zur optischen Beurteilung des Zustands der FÜK verwendet.

Bild 11: **AIT RoadSTAR**

2.3 Erhobene Daten

Für das Projekt EVAF wurden die Daten von insgesamt 239 FÜK auf fünf unterschiedlichen Autobahnabschnitten in Österreich erhoben und für jede Fahrspur getrennt ein Datenblatt mit den wichtigsten Kenndaten der FÜK erstellt. Es wurden somit insgesamt 457 Datenblätter, wie in Tabelle 11 aufgeschlüsselt erstellt. Bei der Streckenbezeichnung steht der Buchstabe R für die Fahrtrichtung mit aufsteigender Kilometrierung und L für absteigende Kilometrierung. Von diesen 239 FÜK wurden 88 FÜK unterschiedlicher Konstruktionsarten im Rahmen von AP 1 begutachtet und bewertet. Für die Resultate wird hier auf die vorangehende Veröffentlichung [9] verwiesen. Als maßgebend für die detaillierte Auswertung wurde jeweils die erste Fahrspur, welche hohe Belastungen durch Schwerverkehr aufweist betrachtet.

Tabelle 11: Zusammenstellung mittels Datenblatt ausgewerteter Fahrbahnübergangskonstruktionen

Strecke	1. Spur	2. Spur	3. Spur	4. Spur	Summe
A10L	24				**24**
A10R	24	5	4		**33**
A13L	24	13	2		**39**
A13R	19	11	2		**32**
A22L	2				**2**
A23L	19	17	17	9	**62**
A23R	19	17	17	9	**62**
A2L	17	12			**29**
A2R	17	11			**28**
A4L	39	37			**76**
A4R	35	35			**70**
Summe	**239**	**158**	**42**	**18**	**457**

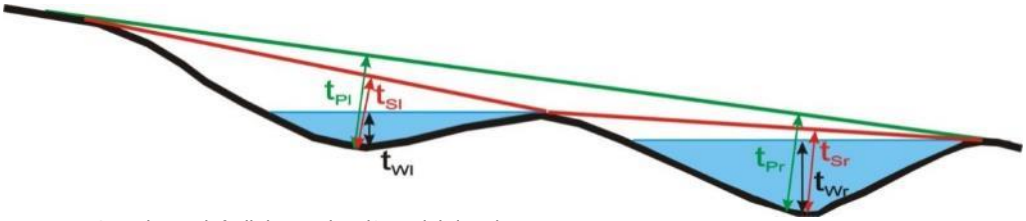
Die ausgewerteten Daten stammten von der jeweils letzten RoadSTAR Messung in den betreffenden Straßenabschnitten. Der Abstand zwischen den Messungen beträgt fünf Jahre pro Fahrspur. Die verwendeten RoadSTAR Messungen der ersten Fahrspur wurden im Jahr 2009 durchgeführt, wodurch optisch erhobenen Schäden zur Zeitpunkt der Analyse vielfach bereits behoben waren. Die Straßenabschnitte wurden in Abstimmung mit den Auftraggebern ausgewählt. Die in AP1 vorgestellten Schadenserhebungen bezogen sich ebenfalls auf FÜK dieser Straßenabschnitte.

Für jedes der einzelnen Datenblätter wurden folgende Kennwerte aus den Messdaten der RoadSTAR Befahrungen extrahiert:

- Position des Fahrbahnübergangs.
- Zuordnung zu einem Brückenbauwerk
- Konstruktionstyp des Fahrbahnüberganges
- Bezeichnung Fahrbahnübergang
- Längsneigung: Steigung [%] der Ausgleichsgeraden durch das Höhenprofil. Bezugslänge jeweils 20 m vor und nach dem Fahrbahnübergang.
- Querneigung: Mittelwert der Querneigung [%] aus den Messdaten jeweils 2 m vor und nach dem Fahrbahnübergang

- Kurvenradius [m] am Fahrbahnübergang (R > 10.000 m wird als Gerade betrachtet)
- Spurrinnentiefe [mm] links und rechts, bezogen auf die 2 m Richtlatte. Mittelwert aus den Messdaten jeweils 2,5-0,5 m vor und nach dem Fahrbahnübergang (siehe Bild 12)
- Profiltiefe [mm] links und rechts, bezogen auf die 4 m Richtlatte. Mittelwert aus den Messdaten jeweils 2,5-0,5 m vor und nach dem Fahrbahnübergang (siehe Bild 12)
- Vorhandensein von Stützrippen

Des Weiteren zeigt jedes Datenblatt noch ein Diagramm mit dem Verlauf der maßgebenden Messdaten im Bereich ±20 m zur FÜK sowie aus den Aufnahmen der Zeilen- und Frontkameras extrahierte Aufnahmen der jeweiligen FÜK zur visuellen Kontrolle.



t_{Sl}, t_{Sr} ... Spurrinnentiefe links, rechts (2m-Richtlatte)

t_{Pl}, t_{Pr} ... Profiltiefe links, rechts (4m-Richtlatte)

t_{Wl}, t_{Wr} ... theoretische Wasserfilmtiefe links, rechts

Bild 12: Definition der Querebenheitsparameter

In Bild 13 ist beispielhaft ein Datenblatt dargestellt. Im oberen Bereich finden sich die Allgemeinen Informationen zur FÜK gefolgt von den erhobenen geometrischen Kennwerten. Die Diagramme zeigen die Messwerte des Höhenprofils, der Querneigung sowie von Spur- und Profiltiefe jeweils im 10cm Raster für einen Bereich von ±20 m zur FÜK. Im Diagramm der Profiltiefe zeigt sich eine Unstetigkeitsstelle an der Position der FÜK. Diese entsteht durch die Messung des Quer- und Längsprofils mittels Lasersensoren in dem Fall, wenn ein Lasersensor in den Freiraum zwischen den Fingern oder Profilen einer FÜK misst. Aus diesem Grund wurden die Kennwerte für Spur- und Profiltiefe für den Bereich 2,5-0,5 m vor und nach der FÜK ermittelt. Auf diese Unstetigkeitsstellen der Messung wird in Abschnitt 2.6 noch näher eingegangen.

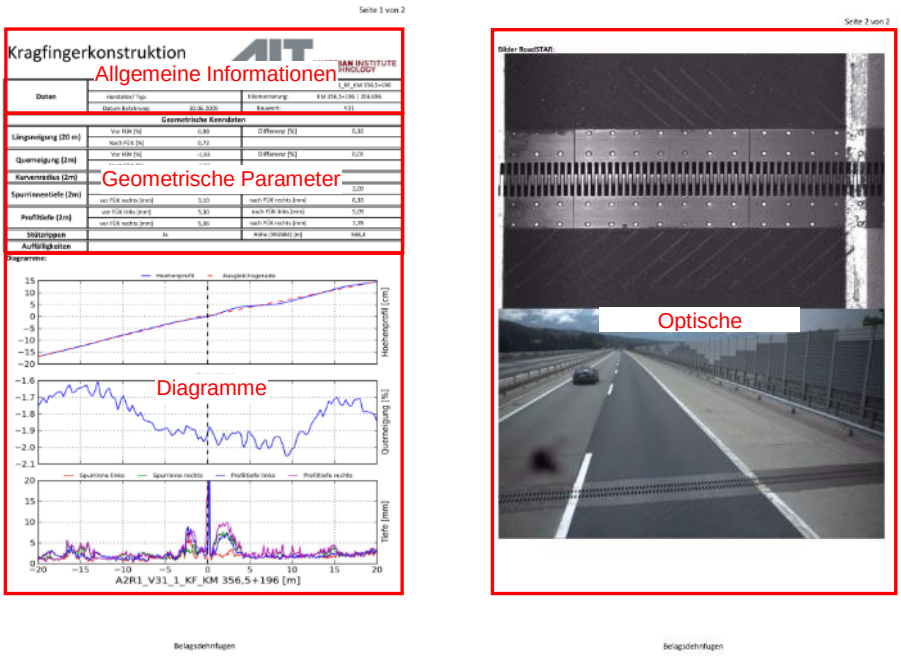


Bild 13: **Beispiel Datenblatt**

Alle erhobenen Datenblätter können nach Registrierung von der EVAF-Projekthomepage [7] heruntergeladen werden. Mögliche Korrelationen der geometrischen Kennwerte mit erhobenen Schäden wurden untersucht und im Rahmen von AP1 beschrieben und dargestellt.

2.4 Mögliche Detektion oberflächennaher Schäden

Die Analyse der aus den RoadSTAR Daten extrahierten Datenblätter zeigte die Möglichkeit der Detektion oberflächennaher Schäden an FÜKs im Rahmen der Auswertung der entsprechenden Straßenabschnitte von RoadSTAR Messfahrten. Derzeit werden die erhobenen Daten nach den Vorgaben der RVS Richtlinien 13.01.11 [8] und 13.01.16 [9] ausgewertet und oberflächennahe Fahrbahnschäden (z.B. Risse, Schlaglöcher, Abplatzungen usw.) erfasst. Diese Auswertung könnte bei zukünftigen Messkampagnen auch um oberflächennahe Schäden bei FÜK erweitert werden und so das Erhaltungsmanagement der Infrastrukturbetreiber unterstützen. Erfasst werden können bei der Auswertung hauptsächlich optisch erkennbare Schäden, welche durch die Zeilenkamera bzw. die Frontkamera aufgenommen werden. Hierzu gehören z.B.:

- Schäden an Fingern (Verformungen, abgebrochene Finger)

- Schäden am Randprofil (Schneepflugschäden)
- Abgerissene Schrauben
- Asphaltausbrüche im Anschlußbereich
- Verdrückungen und Risse bei Belagsdehnfugen
- Fehlende/Beschädigte Rand-/Mittelstreifenabdeckungen (Aufnahme Frontkamera)

In Bild 14a ist ein Beispiel einer durch Risse geschädigten BDF dargestellt. Bild 14b zeigt eine Gleitfingerkonstruktion welche Schneepflugschäden aufweist.

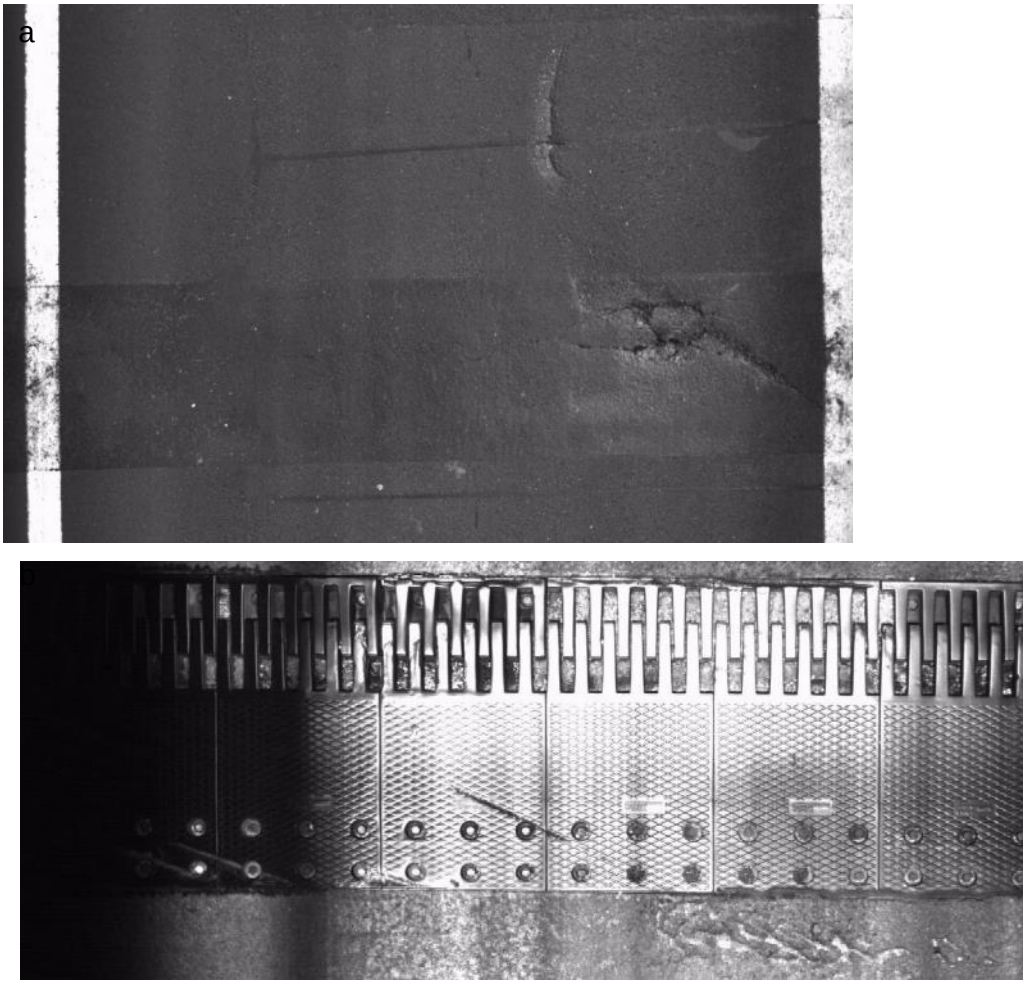


Bild 14: Beispielhafte Bilder geschädigter Fahrbahnübergangskonstruktionen aus den RoadSTAR Auswertungen; a) gerissene Belagsdehnfuge; b) Gleitfingerkonstruktion mit Schneepflugschäden

Da die zum Zeitpunkt der Berichterstellung letzte Befahrung der ersten Fahrspur, welche durch den hohen Schwerverkehrsanteil als maßgeblich betrachtet wird, im Jahr 2009 stattgefunden hat, waren die optisch detektierten Schäden bei der aktuellen Begutachtung oftmals bereits instandgesetzt. Teilweise wurden die FÜKs in der Zwischenzeit auch

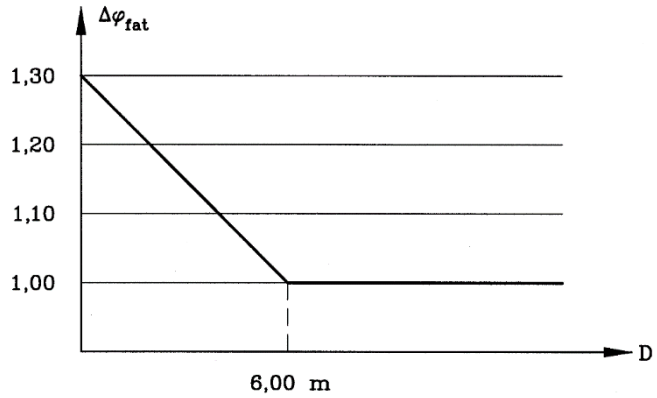
ausgetauscht. Aus diesem Grunde konnten die optisch detektierten Schäden nicht direkt mit den aus der manuellen Bestandsaufnahme der 88 FÜK, welche in AP 1 bewertet wurden verglichen werden.

2.5 Analyse dynamischer Einwirkungen auf Fahrbahnübergangskonstruktionen – Fahrbahn-FÜK Interaktion

Der Großteil von AP 2 beschäftigte sich mit der Analyse der dynamischen Lasten, welche auf FÜKs einwirken können. Hierzu wurde in transienten Berechnungen ein Modell eines 40to LKWs (5-Achser) als Starrkörpermodell in einem FE-Programm (ANSYS) simuliert und somit die auftretenden dynamischen Achslasten für unterschiedliche Höhenverläufe ermittelt.

2.5.1 *Stand der Normung*

In der seit Mitte 2013 gültigen ETAG 032 [3] wird für die zu berücksichtigenden Lasten auf die im EN 1991-2 [10] beschriebenen Lastmodelle verwiesen, welche zwar bereits dynamische Lasterhöhungen bei guten Oberbauverhältnissen berücksichtigen, in ungünstigen Fällen jedoch einen zusätzlichen dynamischen Faktor $\Delta\varphi_{fat}$ vorschlagen. Im Falle von FÜK wird ein maximaler dynamischer Faktor von $\Delta\varphi_{fat}$=1,30 über der FÜK vorgeschlagen, welcher auf eine Länge von 6 m linear auf $\Delta\varphi_{fat}$=1,00 abklingt, siehe Bild 15.



Key
$\Delta\varphi_{fat}$: Additional amplification factor
D : Distance of the cross-section under consideration from the expansion joint

Bild 15: **Dynamische Lasterhöhung im Bereich einer FÜK nach EN 1991-2 (aus** [10]**)**

In der ETAG 032 [3] finden sich auch Vorgaben bzgl. der maximal zulässigen Höhenunterschiede im Bereich der FÜK. Hier wird ein maximaler Höhenunterschied im Bereich der FÜK von 5 mm vorgeschrieben und Sprünge im Höhenverlauf werden mit

maximal 3 mm begrenzt, siehe Bild 16. Es werden hier jedoch keine Vorgaben bzgl. herausstehendem oder versenkten Einbau der FÜK gemacht.

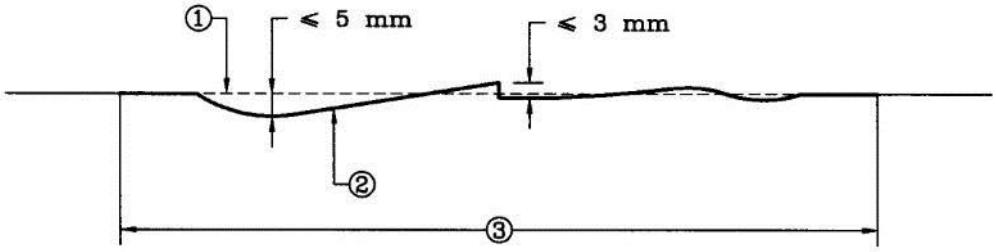


Bild 16: Zugelassene Höhendifferenzen im Bereich der FÜK nach ETAG 032 (aus [3]). (1) Ideale Verbindungslinie; (2) Fahrbahnoberfläche bei der FÜK; (3) Bereich FÜK

Eine vergleichbare Regelung wird auch in der kommenden ÖNORM B4031/4032 [1] zu finden sein, wobei hier auch ein vertiefter Einbau der FÜK vorgeschrieben wird um dynamische Beanspruchungen der FÜK gering zu halten und um mechanische Beschädigungen der FÜK, z.B. durch Schneepflüge, zu vermeiden.

2.5.2 *Beschreibung LKW-Modell*

Zur Bestimmung der dynamischen Achslasten an FÜKs wurden Berechnungen mit dem FE-Programmpaket Ansys durchgeführt. Hierzu wurden einerseits idealisierte Höhenverläufe der Fahrbahnoberfläche, als auch aus den RoadSTAR Messungen extrahierte Höhenverläufe für ausgewählte FÜKs verwendet um die auftretenden dynamischen Lasten zu evaluieren.
Für die Modellierung des LKWs wurde ein für Mitteleuropa typisches Sattelzugfahrzeug mit guter Ausstattung für den Fernverkehr herangezogen. Das höchstzulässige Gesamtgewicht des Fahrzeugs beträgt 40 to. Zur Berechnung der dynamischen Radlasten wurde ein dreidimensionales Modell dieses Sattelzugs mit fünf Achsen und einer Lastverteilung wie in Bild 17a dargestellt verwendet. Für die Auswertung der Ergebnisse wurden die Kontaktkräfte der Reifen wie in Bild 17b dargestellt nummeriert. Das Modell besteht aus einem Starrkörper System mit insgesamt 172 Elementen und ist in Bild 17c dargestellt.

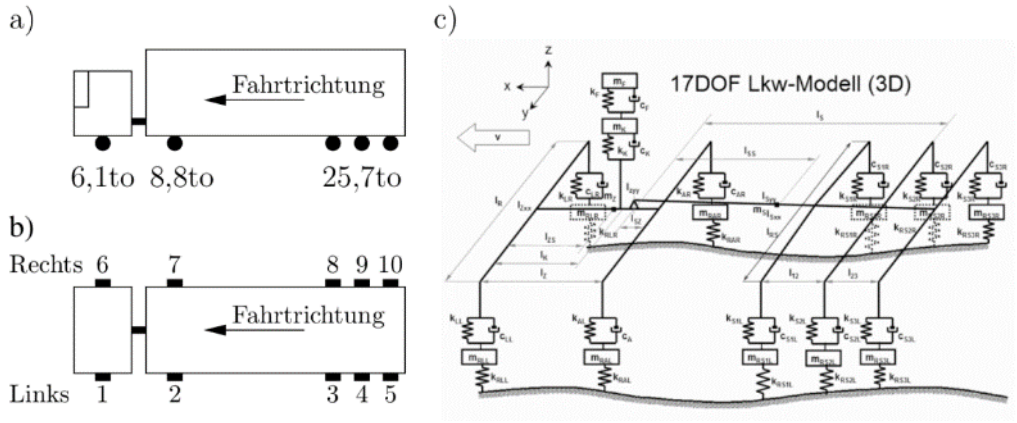


Bild 17: 40 to LKW-Modell. a) Lastverteilung; b) Nummerierung Reifen; c) Starrkörpermodell

Die Radaufstandsfläche wurde mittels Kontaktelementen über eine Fläche von 40 x 15 cm diskretisiert. Die Steifigkeitsverteilung wurde hier so angepasst, dass die Kontaktkräfte in der Mitte der Reifenfläche am größten sind und zum Rand hin abnehmen. Es ist hier zu beachten, dass Höhenänderungen für die gesamte modellierte Reifenfläche gelten. Abroll- und Latscheffekte, welche die dynamischen Lasterhöhungen etwas dämpfen, werden im Modell nicht berücksichtigt, wodurch die berechneten Ergebnisse auf der konservativen Seite liegen. Eine sich zum Zeitpunkt der Berichtserstellung in Bearbeitung befindliche Masterarbeit in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur quantifiziert den Einfluss dieser Effekte in einer Größenordnung von ca. 15%. Die Masterarbeit wird nach Fertigstellung nachgereicht.

Die LKW Überfahrten wurden als Zeitverlaufsberechnungen durchgeführt. Der Höhenverlauf der Fahrbahnoberflächengeometrie wurde linienförmig auf Achse der rechten sowie linken Reifen des LKW-Models in 10 cm Schritten modelliert, bzw. aus den RoadSTAR Aufzeichnungen extrahiert.

2.5.3 *Ergebnisdarstellung und Auswertung*

Für die Darstellung der Ergebnisse wird ein zweigeteiltes Diagramm verwendet. Die Abszisse zeigt die aus dem Zeitverlauf zurückgerechnete Entfernung der jeweiligen Reifenlast zur FÜK. Im oberen Teil des Diagrammes zeigt die Ordinate die jeweilige Reifenlast mit der in Bild 17b dargestellten Nummerierung. Bei symmetrischen Höhenverläufen (idealisierte Höhenverläufe) werden zur besseren Übersicht nur die Ergebnisse für die Reifen 1-5 dargestellt. Der untere Teil des Diagrammes zeigt den der Berechnung zugrundeliegenden Höhenverlauf.

Die angegebenen dynamischen Lasterhöhungen beziehen sich in diesem Bericht jeweils auf Reifen der zweiten Achse des LKWs (Reifen 2 & 7). Diese Achse zeigte sich beim verwendeten LKW-Modell als am stärksten schwingend und wurde somit als maßgebend für die Ermittlung der dynamischen Lasterhöhungen identifiziert. Die Erhöhung bezieht sich jeweils auf die statische Reifenkontaktkraft von 43 kN.

Um den Einfluss der Geschwindigkeit der LKW-Überfahrten zu berücksichtigen wurden die Simulationen mit drei unterschiedlichen Geschwindigkeiten von v=70, 80 und 90 km/h durchgeführt. Da das FE-Modell jedoch nur vertikale Kräfte berücksichtigt unterscheiden sich die Ergebnisse hier nur geringfügig und es wird in diesem Bericht nur auf die Ergebnisse mit einer Richtgeschwindigkeit von v=80 km/h eingegangen. Dargestellt werden ausgewählte Berechnungsergebnisse.

2.5.4 *Idealisierte Höhenverläufe*

Das Ziel dieser Simulationen war es, das grundlegende Verhalten von verschiedenen Höhenverläufen und der daraus resultierenden dynamischen Lasterhöhung am Fahrbahnübergang zu untersuchen. Hierzu wurden verschiedene definierte Höhenverläufe simuliert welche üblichen Situationen an Fahrbahnübergängen entsprechen.

Die idealisierten Höhenverläufe setzten sich Großteils aus folgenden Grundelementen zusammen und sind in Bild 18 skizziert:

- Sprung in Fahrtrichtung von ±5 bzw. 10 mm
- Fahrbahnübergang (FÜK) mit einer Länge von 0,5 m und Erhebungen von ±5 bzw. ±10 mm
- Fahrbahnunebenheiten in Form einer Mulde (Parabel zweiter Ordnung) mit einer Länge von 1,0 m und einer Vertiefung von -10 mm
- Stützrippen zwischen Mulde und FÜK mit Breiten von 0,5 und 0,25 m

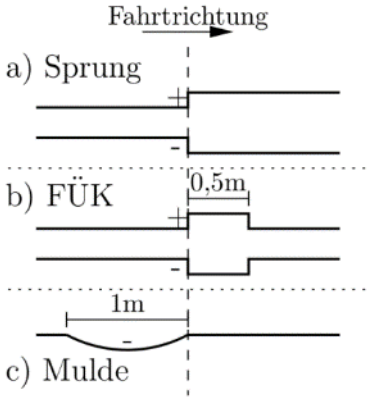


Bild 18: Skizzierte Grundelemente der idealisierten Fahrbahngeometrien

Des Weiteren zeigen die Diagramme die Ergebnisse von Sprüngen und Höhenunterschieden von ±5 mm an FÜKs. Auf die Darstellung der im Verlauf ähnlichen Ergebnisse für ±10 mm wird in diesem Bericht verzichtet, die dynamischen Lasterhöhungen dieser Berechnungen werden in Klammern angegeben.

2.5.5 *Verhalten bei Sprüngen im Höhenverlauf*

Der Verlauf der Reifenkontaktkräfte für Sprünge von ±5 mm im Höhenverlauf ist in Bild 19 dargestellt. In Bild 19a zeigt sich für einen Sprung von +5mm, dass durch den Höhensprung und der daraus resultierenden Kompression der modellierten Federn des LKWs eine sprunghafte Erhöhung der Reifenkontaktkräfte induziert wird, welche anschließend wieder gedämpft ausschwingt. Für die Reifen der zweiten Achse stellt sich somit direkt am Sprung eine dynamische Lasterhöhung von +27% (10mm Sprung: +55%) ein und das erste Kraftminimum beim Ausschwingvorgang liegt mit -13,5% (10mm Sprung: -27%) unter der statischen Kontaktkraft. Bei einem Sprung von -5mm, wie in Bild 19b gezeigt, zeigt sich das umgekehrte Verhalten. Die Reifen der zweiten Achse zeigen beim Sprung eine um -27,7% (-10mm Sprung: -55,3%) verringerte Kontaktkraft welche im ersten Kraftmaximum des Ausschwingvorganges eine dynamische Lasterhöhung von +13,5% (-10mm Sprung: +27,7%) ergeben. Dieses grundsätzliche Verhalten bzw. Kombinationen davon zeigen sich bei allen durchgeführten Berechnungen.

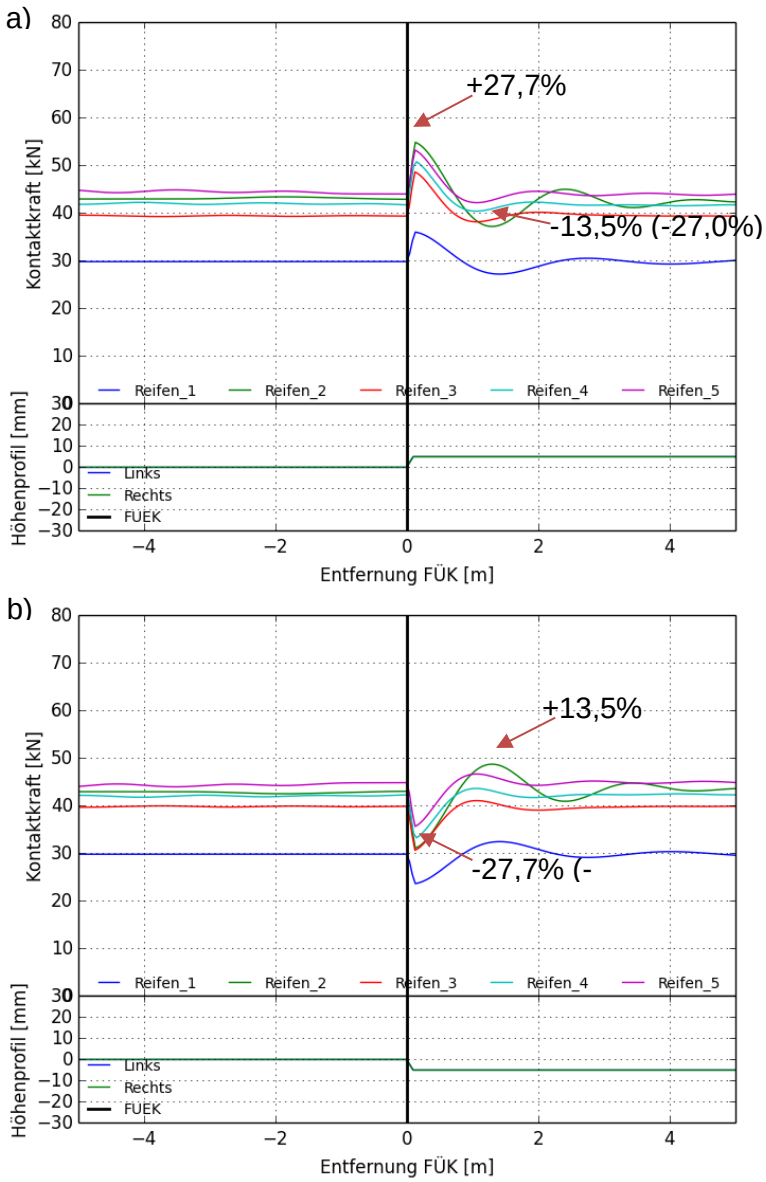


Bild 19: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei Sprung und einer Geschwindigkeit von v=80km/h; a) Sprung +5mm; b) Sprung -5mm; Ergebnisse für Sprünge von ±10mm in Klammern

2.5.6 *Verhalten bei Steigungsänderungen im Höhenverlauf*

Auch Änderungen in der Steigung des Höhenverlaufes zeigen Auswirkungen auf die Reifenkontaktkräfte. Vergleichbar zu Sprüngen im Höhenverlauf, wie in Bild 19 dargestellt, zeigen sich die Auswirkungen auf die dynamischen Reifenkontaktkräfte bei sprunghaften Steigungsänderungen (Knick). Eine positive Steigungsänderung (höhere Steigung in Fahrtrichtung) bewirkt erhöhte dynamische Belastungen im Bereich nach der Knickstelle während eine negative Steigungsänderung (geringere Steigung in Fahrtrichtung) zu

verringerten dynamischen Lasten im Bereich nach der Knickstelle führt. Dies Verhalten ist beispielhaft für eine horizontal angebrachte FÜK im Bereich von steigenden/fallenden Höhenverläufen in Bild 20 dargestellt.

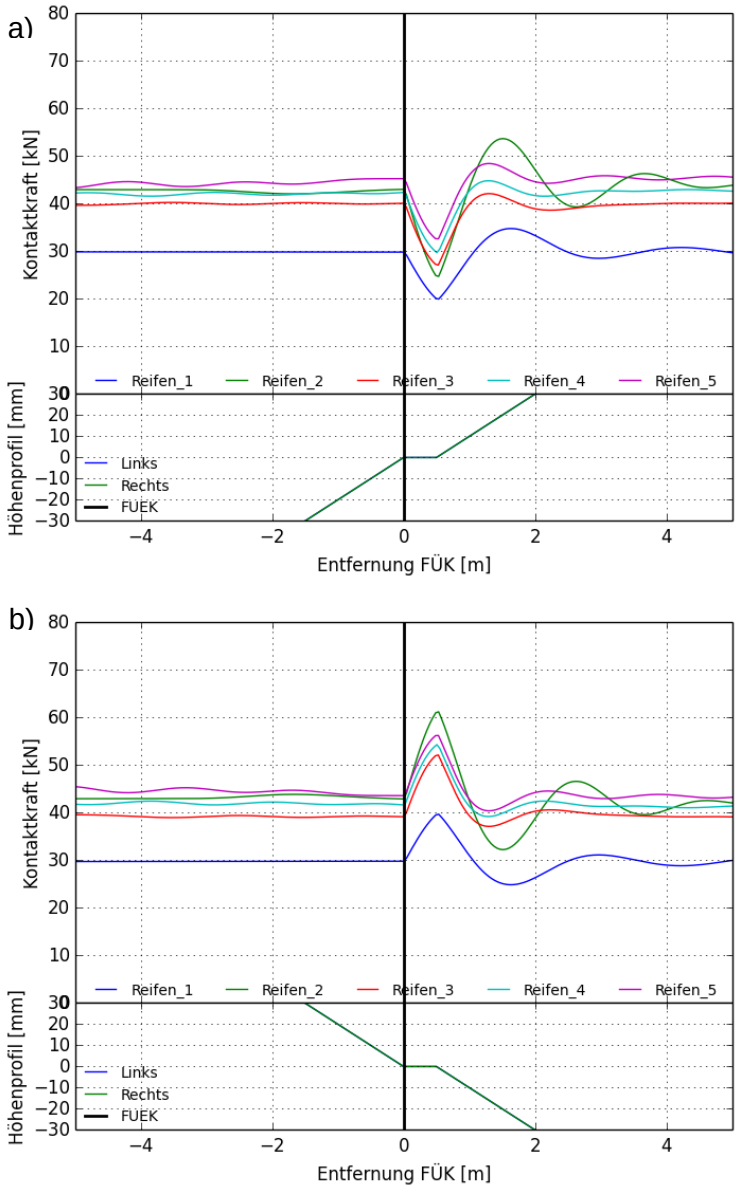
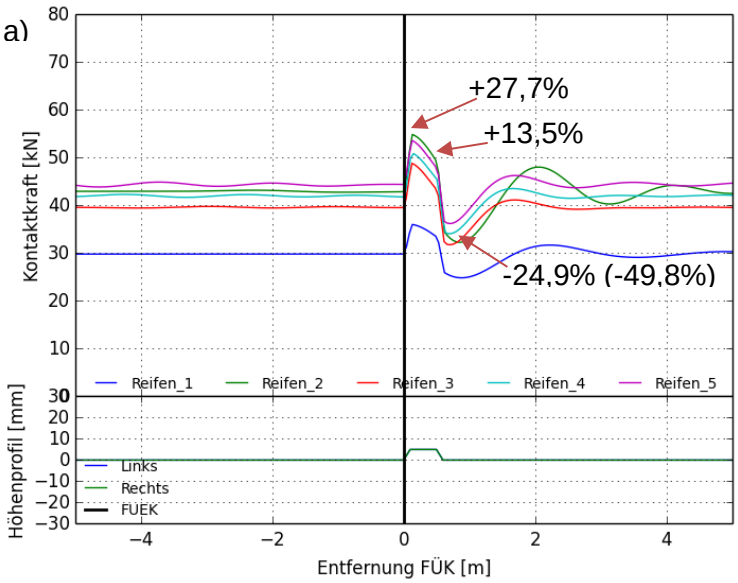


Bild 20: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei einer in einer Steigung horizontal eingebauten eingebauten Fahrbahnübergangskonstruktion und einer Geschwindigkeit von v=80km/h; a) Steigung +2%; b) Steigung -2%

2.5.7 *Verhalten bei einer versetzt eingebauten Fahrbahnübergangs-konstruktion*

Bild 21 zeigt den Verlauf der Reifenkontaktkräfte bei einer versetzt eingebauten FÜK mit einer Breite von 0,5m. In Bild 21a zeigt sich der Verlauf bei einer um 5mm herausstehenden FÜK. Der Lastanstieg auf der FÜK selbst ist mit +27,7% (10mm Versatz: +55,1%) erwartungsgemäß ident zum Lastanstieg bei einem Sprung von +5mm, wie in Bild 19a dargestellt. Die Lasterhöhung geht bis zum hinteren Rand der modellierten FÜK auf einen Wert von +13,5% (10mm Versatz: +27,0%) zurück. Das erste Lastminimum beim Ausschwingvorgang nach der FÜK wird durch das zurückspringen des Höhenverlaufes von der FÜK auf das Referenzniveau verstärkt und erreicht hier eine um -24,9% (10mm Versatz: -49,8%) verringerte Kontaktkraft.

a)



b)

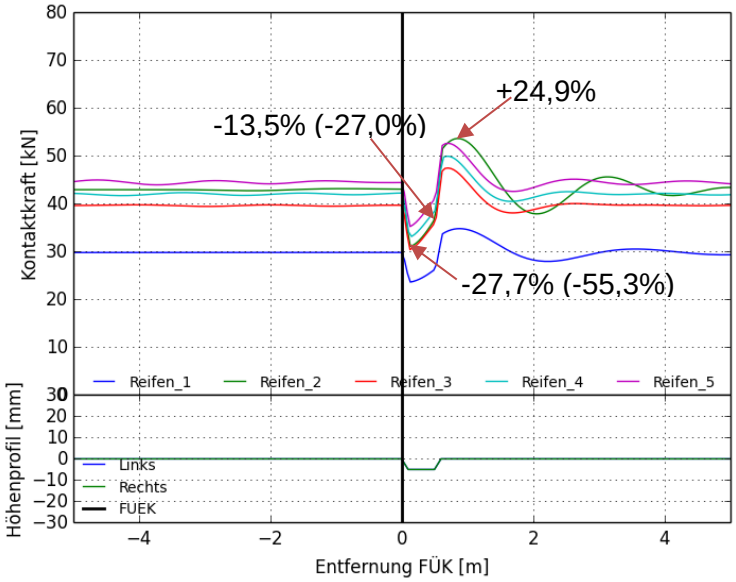


Bild 21: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei einer versetzt eingebauten Fahrbahnübergangskonstruktion und einer Geschwindigkeit von v=80km/h; a) Versatz +5mm; b) Versatz -5mm; Ergebnisse für Versatz von ±10mm in Klammern

Bei dem in Bild 21b dargestellten Fall einer um -5mm vertieft angeordneten FÜK dreht sich dieses Verhalten um. Auf der FÜK wirken hier um von -27,7% bis -13,5% verringerte Kontaktkräfte (-10mm Versatz: -55,3% bis -27,0%), jedoch zeigt sich im Anschlussbereich eine dynamische Lasterhöhung von +24,9% (-10mm Versatz: +49,8%).

2.5.8 *Verhalten einer versetzt eingebauten Fahrbahnübergangskonstruktion mit Berücksichtigung von Fahrbahnunebenheiten (Mulde)*

Fahrbahnunebenheiten wurden im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen mit einer modellierten Mulde im Höhenprofil berücksichtigt. Die Mulde wurde ausgewählt, da sie einerseits im Straßenverlauf häufig auftritt und andererseits hohe dynamische Lasten im Bereich nach der Mulde bewirken. Der als ungünstig eingestufte Fall einer direkt nach einer Mulde auftretenden FÜK ist in Bild 22 dargestellt. Bild 22a zeigt den Verlauf der Reifenkontaktkräfte bei einer direkt an die Mulde anschließenden und +5mm herausstehend angeordneten FÜK. Diese Situation wird als äußerst ungünstig eingestuft, da hier die Amplitude der Reifenkontaktkraft von der Mulde im aufschwingenden Bereich liegt, welcher noch durch den Sprung der herausstehend angebrachten FÜK verstärkt wird. Hier zeigt sich in der Berechnung an der FÜK eine dynamische Lasterhöhung von bis zu +86,5% im Vergleich zur statischen Reifenkontaktkraft.

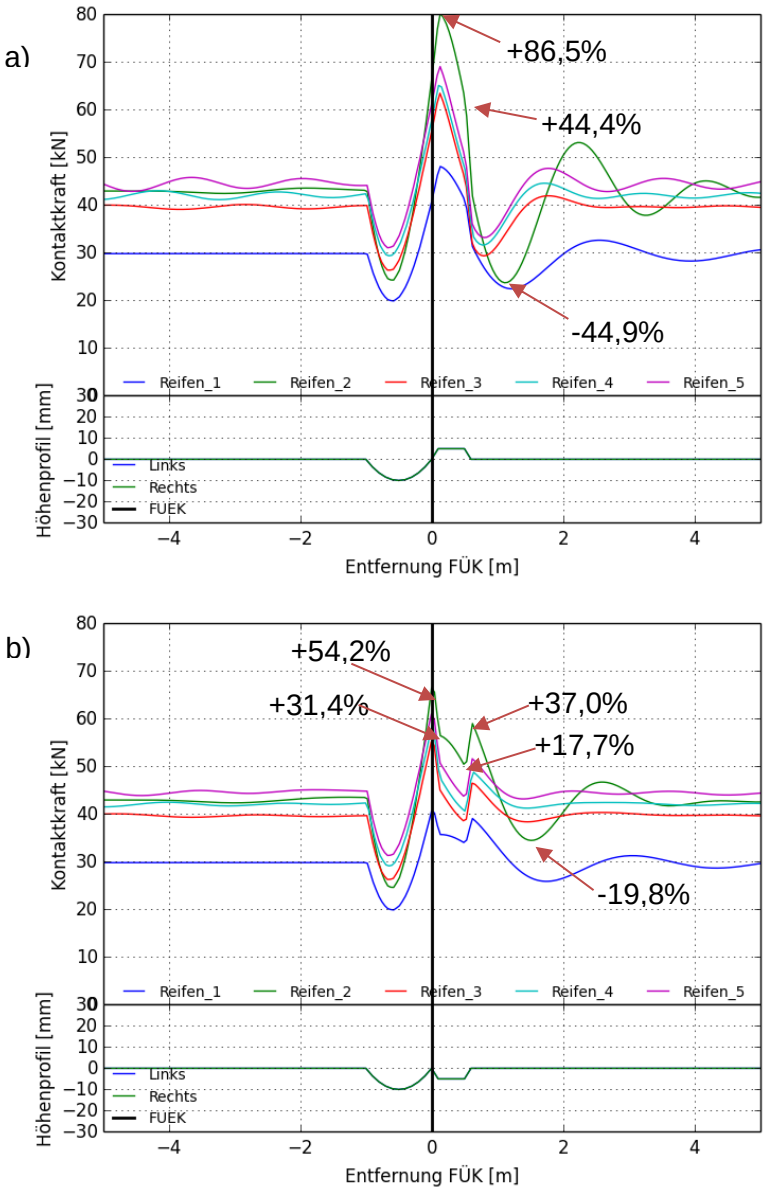


Bild 22: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei einer versetzt eingebauten Fahrbahnübergangskonstruktion mit vorangesetzter Mulde und einer Geschwindigkeit von v=80km/h; a) Versatz +5mm; b) Versatz -5mm

Bei dem in Bild 22b gezeigten Fall einer mit -5mm vertieft eingebauten FÜK im Anschluss an die Mulde zeigt sich, dass die dynamische Lasterhöhung auf der FÜK mit +31,4% wesentlich geringer ist, im Vergleich zu dem in Bild 22a gezeigten Fall einer herausstehend eingebauten FÜK. Zu beachten ist jedoch, dass hier der Fahrbahnbelag im Anschlussbereich mit einer dynamischen Lasterhöhung von +37,0% stärker belastet wird.

2.5.9 *Verhalten einer versetzt eingebauten Fahrbahnübergangskonstruktion mit Berücksichtigung von Fahrbahnunebenheiten (Mulde) bei eingebauten Stützrippen*

Bild 23 zeigt das Verhalten der Reifenkontaktkräfte, wenn vor der FÜK eine Stützrippe eingebaut wird. Im gezeigten Beispiel wurden die Stützrippen mit einer Breite von 0,5m angenommen. Die Stützrippen dienen dazu den Fahrbahnanschluss zur FÜK dauerhaft und eben, ohne Ausbildung von Spurrinnen sicherzustellen.

Durch die modellierten Stützrippen zeigen sich im Vergleich zu Bild 22 stark verminderte dynamische Lasterhöhungen auf der FÜK. Dies vor allem dadurch, da die FÜK nun im abschwingenden Bereich der von der Mulde induzierten Kraftamplitude mit einer maximalen Lasterhöhung von 59,3% liegt. Bei dem in Bild 23a gezeigten Fall der um +5mm herausstehenden FÜK liegt die berechnete dynamische Lasterhöhung auf der FÜK zwischen +43,5% und -5,8%. Im Vergleich dazu liegt die dynamische Lasterhöhung bei einer um -5mm vertieft eingebauten FÜK zwischen -3,0% und -33,5%. Der Einbau von Stützrippen kann somit wesentlich zur Verminderung von aus Fahrbahnunebenheiten resultierenden, dynamischen Lasten auf der FÜK beitragen.

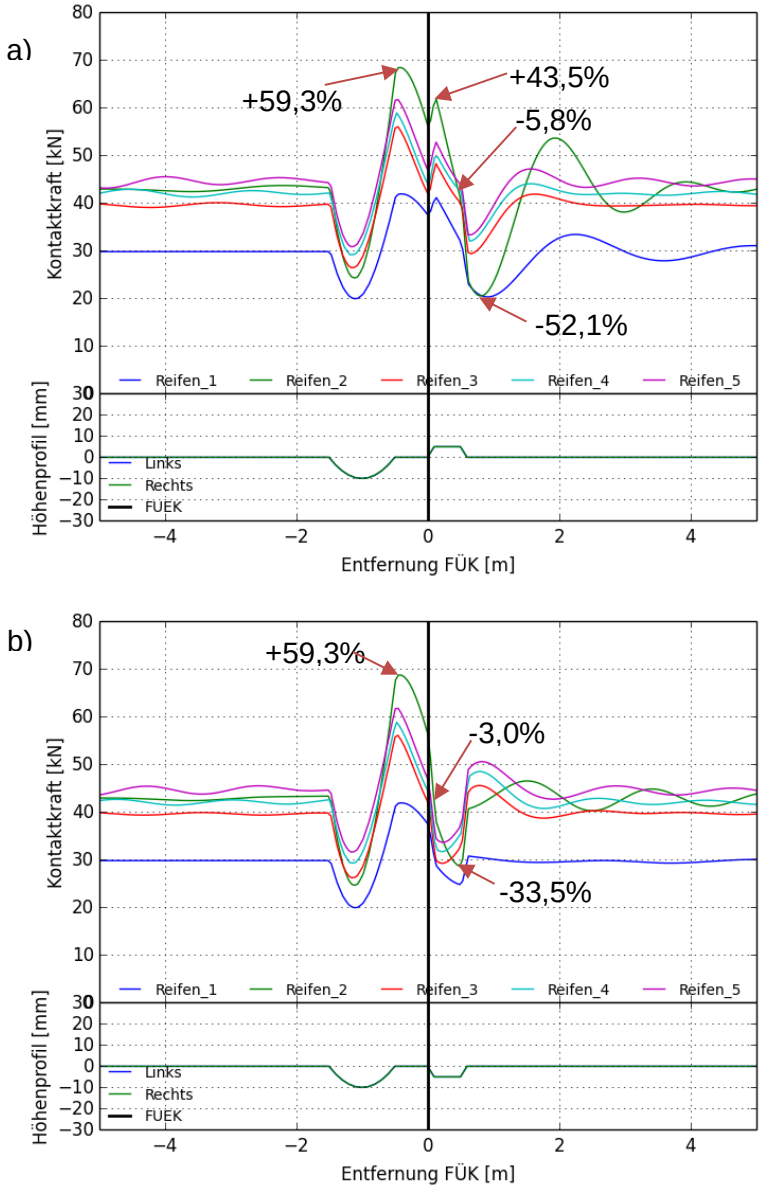


Bild 23: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei einer versetzt eingebauten Fahrbahnübergangskonstruktion mit vorangesetzter Mulde und einer 0,5m breiten Stützrippe für eine Geschwindigkeit von v=80km/h; a) Versatz +5mm; b) Versatz -5mm

2.6 Gemessene Höhenverläufe

Zur Berechnung der auftretenden dynamischen Lasterhöhungen mit aus den RoadSTAR Daten extrahierten Höhenverläufen mussten die Messdaten noch einzeln aufbereitet werden. Wie bereits in Abschnitt 2.3 beschrieben treten bei den Messdaten des Längs- und Querprofiles Unstetigkeiten im Bereich der FÜK auf, da die Lasersensoren im Freiraum zwischen den Fingern bzw. Lamellen keine korrekten Messwerte liefern können. In Bild 24 ist

beispielhaft eine 3D-Darstellung der Querprofilmessung bei einer Fingerkonstruktion zu sehen. Es zeigen sich hier sehr deutlich die Bereiche in welchen die Lasersensoren in den offenen Bereich zwischen den Fingern hineingemessen haben. Für die extrahierten Höhenprofile an den insgesamt 80 berechneten FÜKs wurden diese Unstetigkeiten durch Interpolation der davor und danach liegenden Messwerte korrigiert.

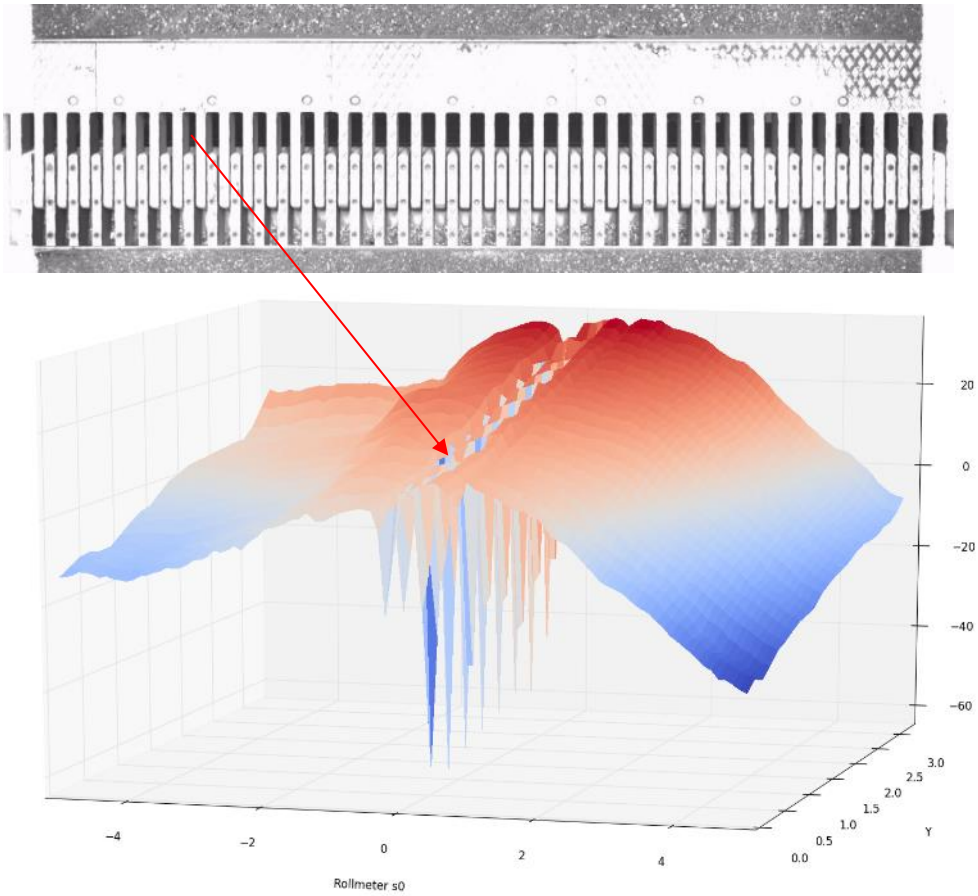


Bild 24: Unstetigkeiten der Lasermessungen im Bereich der FÜK am Beispiel von Querprofilmesswerten

Von den insgesamt 80 berechneten FÜKs werden im folgendem die Ergebnisse von drei beispielhaften Fällen dargestellt:

- Leicht vertieft eingebaute FÜK
- Fahrbahnbelag zur FÜK herabgezogen
- Herausragende FÜK

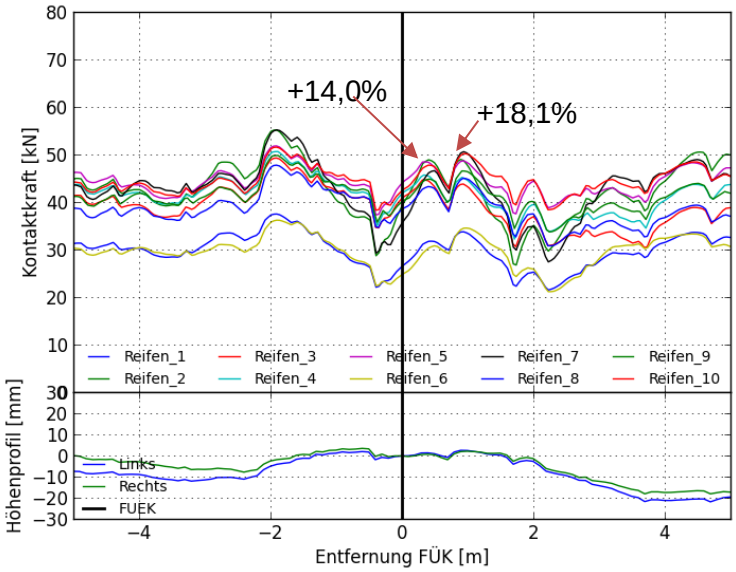
Zur besseren Übersicht wurden in den Darstellungen des Höhenverlaufs die Querneigung sowie die mittlere Längsneigung im Bereich der FÜKs herausgerechnet. Die angegebenen

dynamischen Lasterhöhungen beziehen sich auch hier wieder auf die zweite Achse des modellierten LKWs, also die Reifen 2 und 7 nach Bild 17a. Nachdem der extrahierte Höhenverlauf der rechten und linken Reifenspur nicht symmetrisch ist, werden die Ergebnisse aller zehn Reifenkontaktkräfte grafisch dargestellt. Allgemein lässt sich feststellen, dass durch die vorhandenen geringen Bodenunebenheiten eine gewisse Grundschwankung der Reifenkontaktkräfte auftritt. Das grundsätzlich festgestellte Verhalten an idealisierten Höhenverläufen kann hier jedoch auch gut nachvollzogen werden.

2.6.1 *Leicht vertieft eingebaute Fahrbahnübergangskonstruktion*

Die in Bild 25 dargestellte FÜK ist eine GFF neueren Datums und um ca. -3mm vertieft eingebaut worden. Es zeigen sich im Verlauf des Höhenprofils leichte Unebenheiten welche eine geringe Schwankung der Reifenkontaktkräfte bewirken. Die FÜK ist auf einer leichten Kuppe im Höhenprofil installiert. Im Bereich der FÜK zeigt sich das bereits in Bild 21b analysierte Verhalten, dass die Reifenkontaktkräfte durch den Versatz erst abnehmen und sich danach wieder aufschwingen. Am FÜK wurde eine maximale dynamische Lasterhöhung von +14% ermittelt und im Anschlussbereich +18,1%. Diese Einbausituation wird als positives Beispiel einer korrekt eingebauten FÜK gesehen.

a)



b)

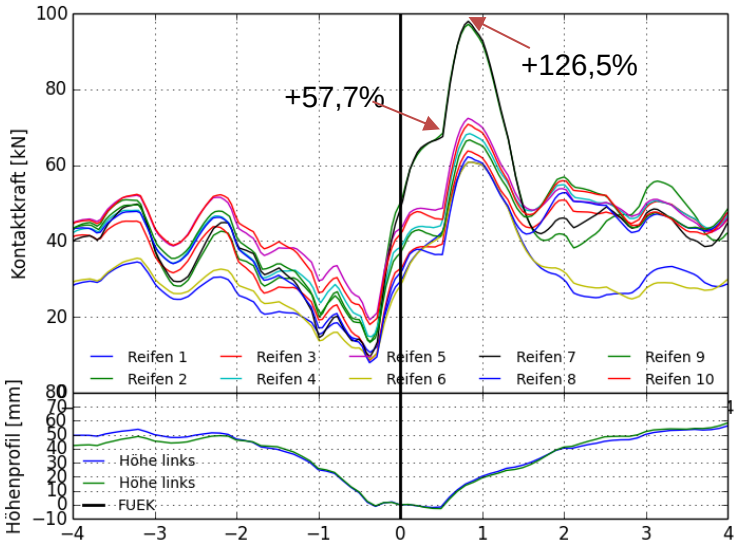
Bild 25: Beispiel einer leicht vertieft eingebauten Fahrbahnübergangskonstruktion (Gleitfinger); a) Reifenkontaktkräfte und aus den RoadSTAR Daten extrahiertes Höhenprofil; b) Foto der Fahrbahnübergangskonstruktion

2.6.2 *Herabgezogener Fahrbahnbelag*

Bei der in Bild 26 dargestellten FÜK (MDF) liegt der Fahrbahnbelag im Abstand von ca. ±3-4m um die FÜK mit einem Niveauunterschied von ca. 5-6cm zum Niveau der FÜK. Dieser wurde zur FÜK herabgezogen um einen niveaugleichen Anschluss an die Konstruktion sicherzustellen. Durch diese Vorgehensweise entstehen an beiden Fahrbahnanschlüssen der FÜK Knicke mit positiver Steigungsänderung (siehe Abschnitt 2.5.6) wodurch sich hohe dynamische Lasterhöhungen auf der FÜK mit +57,7% sowie im anschließenden

Fahrbahnbelag mit +126,5% ergeben. Diese Einbausituation wird somit als äußerst ungünstig eingestuft und ist nach Möglichkeit zu vermeiden.

a)



b)

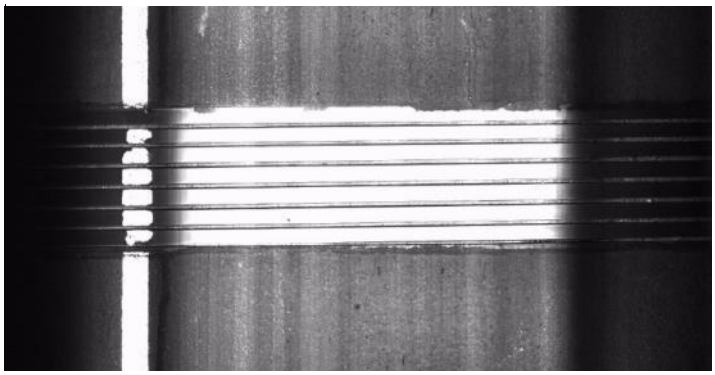
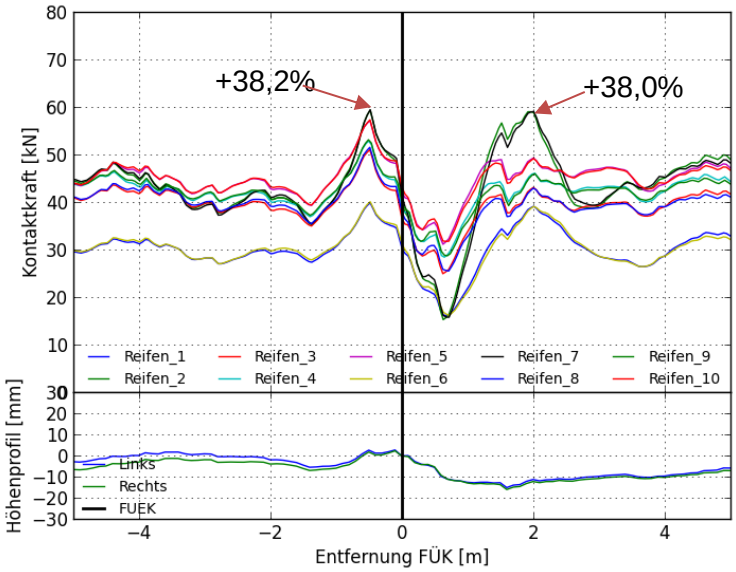


Bild 26: Beispiel eines zur Fahrbahnübergangskonstruktion (Modulare Dehnfuge) herabgezogenen Fahrbahnanschlusses; a) Reifenkontaktkräfte und aus den RoadSTAR Daten extrahiertes Höhenprofil; b) Foto der Fahrbahnübergangskonstruktion

2.6.3 *Herausragende Fahrbahnübergangskonstruktion*

Auch bei der in Bild 27 gezeigten FÜK (MDF) bestätigt sich das grundsätzliche Verhalten, welches bereits mit den idealisierten Verläufen gezeigt wurde. Durch die leicht herausstehende FÜK zeigt sich eine maximale dynamische Lasterhöhung von +38,2% am Beginn der FÜK. Im anschließenden Fahrbahnbelag zeigt sich die maximale Lasterhöhung durch Aufschwingung mit +38%. Somit ist diese FÜK höher belastet als die leicht vertieft eingebaute FÜK welche in Bild 25 dargestellt wurde.

a)



b)

Bild 27: Beispiel einer gering herausragenden Fahrbahnübergangskonstruktion (Modulare Dehnfuge); a) Reifenkontaktkräfte und aus den RoadSTAR Daten extrahiertes Höhenprofil; b) Foto der Fahrbahnübergangskonstruktion

2.7 Zusammenhang der dynamischen Lasterhöhung mit Schäden

Bei den Untersuchungen, welche in AP1 beschrieben wurden zeigte sich die Problematik, dass Schäden durch abgerissene und lockere Schrauben und daraus folgend lockeren Fingerplatten schwer erfassbar waren, da diese im Regelfall zeitnah instandgesetzt werden. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit an AP2 wurde die Auswertung der dynamischen Lasterhöhungen auf einem Streckenabschnitt mit 38 FÜKs mit den Instandhaltungsaufzeichnungen der ASFINAG verglichen. Der Fokus lag auf den genannten Schäden an Schrauben und Fingern, welche als sensitiv in Bezug auf hohe dynamische

Lasten gesehen werden. Von den 38 FÜKs sind acht Stück ungeschädigte Referenzobjekte. Bei vier der FÜKs konnten Hohlstellen als Ursache für Schäden identifiziert werden. Zwei der FÜKs wurden seit der RoadSTAR Befahrung 2009 bereits ausgetauscht und sechs FÜKs zeigten anderen Schadenskategorien zuordenbare Mängel. Die restlichen 18 FÜKs wurden Schrauben- und Fingerschäden zugeordnet. Es wurde für jede betrachtete FÜK das Verhältnis der maximal auf der Konstruktion auftretenden dynamischen Achslast der 2. Achse F_{max} zur statischen Achslast der 2. Achse F_{stat} gebildet und daraus Mittelwert und Standardabweichung ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt. Es zeigt sich hier, dass die FÜKs, welche Schäden an den Schrauben bzw. Fingern aufzeigten im Mittel höhere dynamische Belastungen zeigten als die Referenzkonstruktionen. Allerdings zeigten diese FÜKs auch eine hohe Streuung. Es zeigt sich auch, dass die FÜKs mit sonstigen Schädigungen im Mittel geringere dynamische Lasten aufweisen, was als Hinweis dienen kann, dass hohe dynamische Belastungen mit höherer Wahrscheinlichkeit zu Schrauben und Fingerschäden führen, wie auch vorweg angenommen wurde. Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl, kann diese Interpretation jedoch nur mit Vorsicht als Hinweis verstanden werden.

Tabelle 12: Mittelwert und Standardabweichung der aufgenommenen Schäden

Schaden	**#**	**Mittelwert F_{max}/F_{stat} [-]**	**Standardabweichung F_{max}/F_{stat} [-]**	**COV [%]**
Referenz	8	0,97	0,17	17,5%
Schrauben/Finger	18	1,10	0,28	25,5%
Hohlstellen	4	1,07	0,58	54,2%
Sonstige	6	0,80	0,28	35,0%
FÜK getauscht	2	-	-	-

Mit: F_{max} maximale ermittelte dynamische Reifenkontaktkraft der 2. Achse am FÜK

F_{stat} statische Reifenkontaktkraft der 2. Achse

2.8 Stützrippenlänge

Berechnungen zur Ermittlungen der minimal erforderlichen Stützrippenlänge wurden durchgeführt. Hierzu wurde, wie in Bild 28 gezeigt eine maßgebliche Fahrbahnunebenheit in Form einer 10mm tiefen Mulde modelliert und für die zweite Achse die dynamische Lasterhöhung nach der Mulde in Abhängigkeit der Entfernung Δl bestimmt. Diese Entfernung entspricht einer virtuellen Stützrippenlänge in Fahrtrichtung. Bezogen wird die dynamische Lasterhöhung $\Delta\varphi=F_2/F_{2,stat}$ auf die statische Achslast der zweiten Achse von $F_{2,stat}$=42,97 kN.

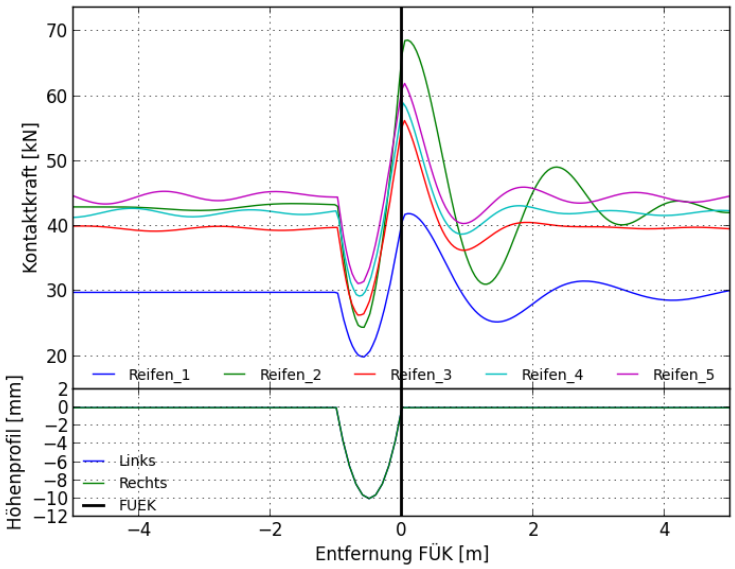


Bild 28: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei einer mittels Mulde modellierten Fahrbahnunebenheit zur Ermittlung der minimal erforderlichen Stützrippenlänge bei einer Vergleichsgeschwindigkeit von v=80 km/h

Tabelle 13: Dynamische Lasterhöhung in Abhängigkeit vom Abstand zur Mulde bei einer Vergleichsgeschwindigkeit von v=80 km/h

Δl [cm]	**F_2 [kN]**	**$\Delta\varphi=F_2/F_{2,stat}$ [-]**
00	66,4	1,54
20	67,8	1,58
30	65,7	1,53
40	61,0	1,42
50	57,0	1,33
60	52,7	1,23
70	48,3	1,12
80	42,0	0,98

Die Auswertung ist in Tabelle 13 zusammengefasst. Die Auswertung zeigt, dass erst bei den gegebenen Annahmen für die Berechnung und bei einer bündig mit der Stützrippe eingebauten FÜK erst ab einer Stützrippenlänge von ca. 50cm der laut EN 1991-2 [10] zu berücksichtigende dynamische Lasterhöhungsfaktor von $\Delta\varphi_{Fat}$=1,3 (vgl. Bild 15) erreicht wird. Es wird deshalb hier eine minimale Stützrippenlänge von 50cm in Fahrtrichtung empfohlen. In Österreich ist die Stützrippenlänge laut Asfinag Planungshandbuch [11] sowie in der kommenden ÖNORM B4032 [1] mit 1m Länge unter einem Winkel von 45° zur

Fahrbahnrichtung festgelegt, was einer wirksamen Länge von 71cm entspricht und somit als ausreichend angesehen wird.

2.9 Dynamische Lasten beim derzeitigen Normenstand

Um festzustellen, ob die derzeit in den Normen hinterlegten Anforderungen an die Fahrbahnebenheit sowie dem Einbau von FÜKs genügen um mit dem dynamsichen Lasterhöhungsfaktor $\Delta\varphi_{Fat}$=1,3 (vgl. Bild 15) nach EN 1991-2 [10] zu bemessen wurden auch hier Vergleichsrechnungen durchgeführt. Laut Österreichischen RVS Richtlinien sind folgende Fahrbahnunebenheiten, gemessen mit der 4m-Latte bzw. Planograf für Asphalt- und Betondecken vorgesehen.

2.9.1 *Asphaltdecken RVS 08.16.01 [12] – Deckschicht*

Nach RVS 08.16.01 sind die in Bild 29 gezeigten Ebenheitsanforderungen gegeben.

Tabelle 9: Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften nach Fertigstellung, Ebenheit (gilt für die Längs- und Querebenheit)

Schicht, Mischgutsorte	Straßentyp	Ebenheit [1 mm/4m][1)2)3)] Prüfung gemäß RVS 11.06.62		
		Sollwert	Qualitätsabzug	Keine Übernahme
Trag-, hochstandfeste Tragschicht, alle Mischgutsorten	Bundesstraßen A und S sowie Landesstraßen B und L sowie ländliche Straßen	≤ 6	7 bis 18	> 18
Tragdeckschicht, AC deck A5 und A6		≤ 6	7 bis 15	> 15
Deckschicht, alle Mischgutsorten außer AC deck A7 und PA P4		≤ 4	5 bis 12	> 12

1) Die zulässigen Abweichungen bei Einbauten sind vom AG festzulegen. Die Prüfung der Querebenheit erfolgt im Regelfall mittels 2-m Richtlatte und Messkeil (als die der Messung zugeordnete Breite wird die in Fahrtrichtung gemessene Längsstreckung der Fehlstelle zugrunde gelegt).
2) Für Landesstraßen B und L sowie ländliche Straßen gilt: bis 10 m nach Baulosbeginn und 10 m vor Baulosende gilt ein Grenzwert für den Qualitätsabzug von > 8 mm.
3) Bei einvernehmlich festgelegtem händischen Einbau können die Grenzwerte um 4 mm, bei Einbaubreiten bis 2,50 m oder bei Einbau auf Steigungsstrecken mit einer Neigung von > 10 % um 2 mm erhöht werden.

Bild 29: Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften nach Fertigstellung, Ebenheit nach RVS 08.16.01 (Tabelle 9)

Für die Deckschicht liegt der Sollwert somit bei Unebenheiten ≤4mm, eine Abnahme mit Qualitätsabzug kann jedoch noch bei Unebenheiten bis zu 12mm erfolgen. Darüber hinaus erfolgt keine Abnahme mehr.

2.9.2 *Betondecken RVS 08.17.02 [13] – Einbau mit Fertiger*

Auch bei Betondecken, welche in der RVS 08.17.02 geregelt sind liegt der Sollwert für die Unebenheiten bei ≤4mm. Über 4mm erfolgt eine Abnahme nur mit Qualitätsabzug und über 8mm kann der Auftraggeber eine Beseitigung des Mangels auf Kosten des Auftragnehmers anordnen.

2.9.3 *Anforderung an den Fahrbahnübergang gemäß RVS 15.04.51 [2]*

In der derzeit in Österreich gültigen RVS ist die Ebenheitsanforderung wie folgt geregelt:
„*Die Decke ist an die Randkonstruktion heranzuführen, Fugen sind an der Oberfläche zu schließen. Es ist auf sorgfältige Verdichtung der Deckschichte und bündigen Deckenanschluss zu achten. Die Decke darf keinesfalls tiefer liegen als die OK Fahrbahnübergang, die Deckenüberhöhung darf bei Betondecken höchstens 2 mm und bei bituminösen Decken höchstens 3 mm betragen. Hinsichtlich der Ebenheit gelten die Bestimmungen der RVS 08.16.01 (für bituminöse Decken) bzw. RVS 08.17.02 (für Betondecken).*“

2.9.4 *Anforderung an den Fahrbahnübergang gemäß der kommenden ÖNORM B4032 [1]*

In der kommenden ÖNORM, welche die RVS 15.04.51 ablösen wird ist die zulässige Überhöhung der Fahrbahndecke zur FÜK mit 2-5mm für Asphaltdecken und mit 1-4mm für Betondecken geregelt. Somit wird hier ein leicht vertiefter Einbau der FÜK vorgeschrieben.

2.9.5 *Anforderung an den Fahrbahnübergang gemäß ETAG 032 [3]*

Die Anforderungen an den Fahrbahnübergang gemäß ETAG 032 wurden bereits in Abschn. 2.5.1 dargestellt. Im Bereich der FÜK sind hier Höhenunterschiede mit max. 5mm und Sprünge mit max. 3mm begrenzt, wobei hier keine Aussage über den Fahrbahnanschluss getroffen wird sondern nur das Höhenprofil im Bereich der FÜK geregelt wird.

2.9.6 *Ermittelte dynamische Lasten*

Die Anforderungen an die Ebenheit der Fahrbahnen, wie sie in den Richtlinien [12], [13] festgelegt wurden wurden wieder mittels einer Mulde realisiert. Für den Vergleich wurden die

Unebenheiten mit 4mm, 8mm und 12mm verwendet welches einer Übernahme ohne Qualitätsabzug bis zu keiner Übernahme der Fahrbahn entspricht. Für die Unebenheit im Bereich der FÜK wurde einerseits die Vorgabe aus der derzeit gültigen RVS [2] mit einem ebenen Anschluß sowie andererseits die Vorgabe aus der ETAG 032 [3] mit einer um 3mm hervorstehenden FÜK gewählt.

Bild 30 zeigt den Verlauf der Kontaktkräfte für einen Fahrbahnunebenheit von 4mm bei eben anschließender FÜK. Die Kontaktkräfte sind hier bis zu 24,2% erhöht im Vergleich zu den statischen Achslasten. Bei einer Unebenheit von 8mm (Abnahmekriterium Betondecken) beträgt die Erhöhung bereits +47,9% und bei 12mm +71,6%.

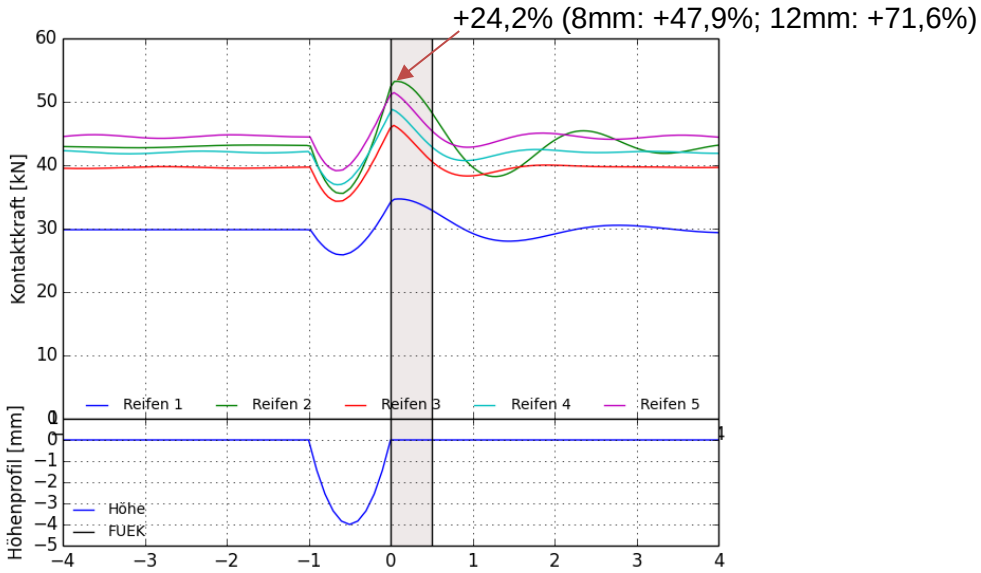


Bild 30: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei einer mittels Mulde modellierten Fahrbahnunebenheit von 4mm bei eben anschließender FÜK bei einer Vergleichsgeschwindigkeit von v=80 km/h; Ergebnisse für Unebenheiten von 8mm und 12mm in Klammer

Für eine um 3mm herausstehende FÜK ergeben sich die dynamischen Kontaktkräfte wie in Bild 31 dargestellt. Bei einer Fahrbahnunebenheit von 4mm sind die Kontaktkräfte im Vergleich zur statischen Achslast um +40,2% erhöht. Bei Unebenheiten von 8 und 12 mm ergeben sich Kontaktkrafterhöhungen von +63,7 und +87,4%.

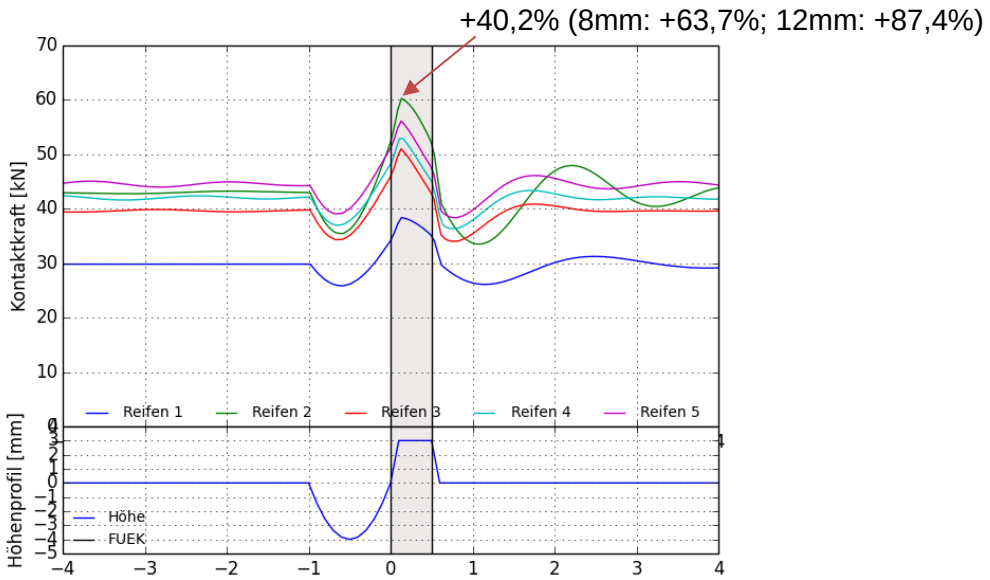


Bild 31: Verlauf der Kontaktkräfte über den Weg bei einer mittels Mulde modellierten Fahrbahnunebenheit von 4mm bei um 3mm herausragender anschließender FÜK für eine Vergleichsgeschwindigkeit von v=80 km/h; Ergebnisse für Unebenheiten von 8mm und 12mm in Klammer

Berücksichtigt man noch die Erkenntnisse aus der in Abschn. 2.5.2 erwähnten, sich derzeit noch in Ausarbeitung befindlichen Masterarbeit, dass die Berücksichtigung von Abroll- und Latscheffekten eine Verminderung der dynamischen Lasterhöhung um ca. 15% mit sich bringt so kann man festhalten, dass eine korrekt erstellte Fahrbahnoberfläche mit einer Fahrbahnunebenheit von 4mm und einer anschließend um 3mm herausragenden FÜK gerade noch durch den dynamischen Lasterhöhungsfaktor $\Delta\varphi_{Fat}$=1,3 (vgl. Bild 15) [10] abgedeckt wird. Bei einer eben eingebauten FÜK ist hier noch das höchste Abnahmekriterium für Betonfahrbahndecken von 8mm abgedeckt. Es ist jedoch festzuhalten, dass dies nur für den Einbauzustand gilt. Durch die zeitliche Veränderung der Fahrbahnoberfläche (Spurrinnenbildung, Verdrückungen etc.) ist hier mit einer Erhöhung der Unebenheit zu rechnen, wobei keine theoretischen Reserven durch den dynamischen Lasterhöhungsfaktor von $\Delta\varphi_{Fat}$=1,3 mehr vorhanden sind.

2.10 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus Arbeitspaket 2

Die durchgeführten Untersuchungen im AP2 zeigten die Möglichkeiten der frühzeitigen Schadensdetektion durch das Messfahrzeug RoadSTAR sowie die der vertieften Analyse der erhobenen Daten. Dies kann bei zukünftigen Messfahrten einen wichtigen Beitrag zum Erhaltungsmanagement der Straßenbetreiber liefern.

Die Untersuchungen zu den auf FÜKs auftretenden dynamischen Lasterhöhungen zeigten bei den idealisierten Höhenverläufen ein klares Verhalten, welches sich auch an den aus den RoadSTAR Messungen extrahierten Höhenverläufen nachvollziehen lässt.

Folgende Schlussfolgerungen ergeben sich aus den Untersuchungen:

- ein erhöhter Einbau der FÜK ist zu vermeiden
- ein leicht vertiefter Einbau der FÜK vermindert die Belastung auf der FÜK, führt jedoch zu erhöhten Lasten im anschließenden Fahrbahnbelag
- das Anbringen von Stützrippen zur Sicherstellung eines ebenen Fahrbahnbelags vor der FÜK verringert die dynamischen Lasten durch Fahrbahnunebenheiten auf der FÜK
- das Anbringen im Bereich von Knicken mit Erhöhung der Steigung führt zu erhöhten dynamischen Lasten
- das Oberflächenniveau des Fahrbahnbelages sollte mit der Einbauhöhe der FÜK übereinstimmen um ein herabziehen des Fahrbahnbelages und erhöhte dynamische Belastungen zu vermeiden

Die Autoren empfehlen eine Stützrippenbreite in Fahrtrichtung von mindestens 50cm. Laut ASFINAG Planungshandbuch [11] sind im bei bituminösen Fahrbahnbelägen Stützrippen mit Länge von 100cm unter 45° vor und nach FÜKs anzubringen wodurch bei neu versetzten FÜKs in Österreich diese Empfehlung erfüllt wird. Auch in der sich in Ausarbeitung befindlichen ÖNORM B 4031/4032 [1] werden sich Regelungen zum Einbau von FÜKs und deren Belagsanschluss finden, welche sich mit den Ergebnissen des Forschungsprojektes decken. Die Regelungen, welche zu FÜKs in der ETAG 032 [3] (siehe Bild 16) vorgegeben werden betreffen nur den Bereich zwischen den beiden Fahrbahnanschlüssen der FÜK und werden in Anbetracht einer maximalen zu berücksichtigenden dynamischen Lasterhöhung von 30% nach EN 1991-2 [14] (siehe Bild 15) und den Ergebnissen aus Abschnitt 2.9 dieses Berichtes, mit Berücksichtigung von Fahrbahnunebenheiten gemäß RVS-Richtlinien [12] [13] als für gute Neubaubedingungen in Hinblick auf die Fahrbahnunebenheit, als ausreichend

eingestuft. Jedoch besteht keine Reserve für sich verschlechternde Fahrbahnbedingungen z.B. durch Spurrinnen.

Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübergänge EVAF Ergebnisbericht AP3

Ein Projekt finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2011)

AutorInnen:

DI Dr. Simon Hoffmann

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

MAGEBA GesmbH
Seglerweg 1
6972 Fußach

Universität für Bodenkultur Wien
Peter Jordan Str. 82
1190 Wien

AIT – Austrian Institute of Technology
Donau City Str. 1
1220 Wien

3.1 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

Die in den Arbeitspaketen 1 (Schadenserhebung) und AP 2 (Ursachenanalyse) gewonnen Erkenntnisse waren der erste Schritt um ein klares Bild über die Hintergründe dieser Problematik zu erhalten. In Arbeitspaket 3 wurden diese Erkenntnisse um den derzeitigen Stand der Instandhaltungsmassnahmen im internationalen Markt ergänzt.

Hierfür wurde eine umfassende Recherche bereits durchgeführter Sanierungsvarianten druchgeführt. Die betrachteten Projekte wurden anhand zuvor aufgestellter Kriterien ausgewählt um eine Unterscheidung zwischen „Standardprojekten“ und „Spezialprojekten“ treffen zu können. So wurde zunächst intern aufgelistet wie häufig die einzelnen Massnahmen zum Einsatz kamen. Ebenso wurden nur Projekte mit einer Mindestgrösse (z.B. Fugenlänge) eingearbeitet. Kleinstprojekte wurden später herausgenommen um das Bild des aktuell üblichen Standes der Technik unverfälscht zu betrachten.

Im massgeblichen wurden hierbei mageba Projekte untersucht. Zum einen konnte bei diesen tief in die projektbezogene Materie Einblick gewährt werden. Zum anderen bestand eine Hauptproblematik darin eine allumfassende Auflistung der in den verschiedenen Regionen angewandten Sanierungsmethoden zu erhalten. Unternehmensinterne Projektleiter konnten mit ihrer langjährigen Erfahrung hierbei deutlich leichter im Rahmen der Recherche unterstützend beitragen.

Verfahren weiterer Hersteller wurden ebenfalls aufgeführt. Den Abschluss des 3. Arbeitspaketes bildet die Beschreibung von noch nicht ausgeführten Entwicklungprojekten.

Im Fokus dieser Betrachtung stehen neben direkten Massnahmen zur Aufbereitung verschlissener FÜK auch Methoden zur Gewährleistung des Verkehrsflusses bei Sanierungen.

Eines dieser Verfahren ist das von mageba entwickelte Mini-Fly-Over:

3.2 Aufführung der untersuchten Sanierungsverfahren

Für den Endbericht werden im Folgenden die in Arbeitspaket 3 detailliert vorgestellten Projekte und Sanierungsverfahren kurz und bündig zusammengefasst beschrieben. Hierbei werden gleichartige Varianten innerhalb eines Gliederungspunktes gebündelt. Die Einzelheiten zu den Örtlichkeiten und Bauwerken können AP 3 entnommen werden.

3.2.1 Mini-Fly-Over – Projekte:

Als Fly-Over bezeichnet man eine in Österreich entwickelte Verkehrskonstruktion zur Gewährleistung des Verkehrsflusses bei einer gleichzeitig stattfindenden Umbaumassnahme. Der Verkehr wird hierbei, der Bezeichnung folgend, über die Baustelle geführt. In Kapitel 6.4 (siehe AP 3) werden diese Systeme noch etwas näher vorgestellt.

Mini-Fly-Over stellen hierbei eine Zwischenlösung für räumlich begrenzte Situationen dar. Ebenso können sie als Alternative in Betracht gezogen werden, wenn Fly-Over nicht zur Verfügung stehen.

3.2.1.1 Mini-Fly-Over – (50240) - Austausch der Modulardehnunfuge LR-7 - Felsenaubrücke Bern

Brücke:	Die Felsenaubrücke (Kanton Bern, Schweiz) überquert die Aare nördlich der Altstadt von Bern und befindet sich an einem wichtigen Verkehrsknotenpunkt der Stadt.
Bestehende Fuge:	Modulardehnfuge LR7 (7 x 60mm)
Neue Fuge:	TENSA-FLEX Gleitfingerfuge FF400

3.2.1.2 Projektbeschreibung

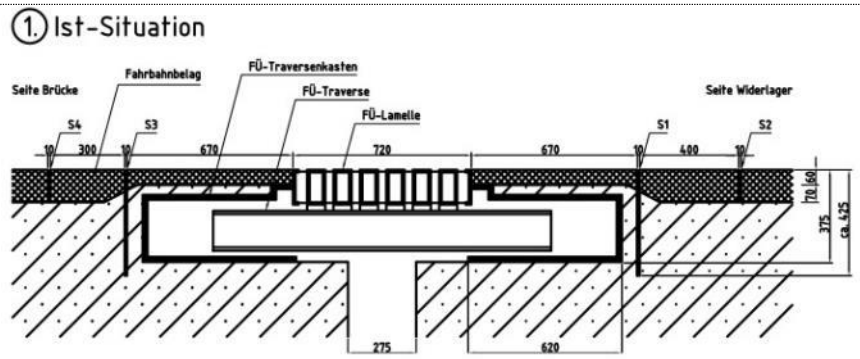
Bei diesem Projekt musste eine stark korrodierte Modulardehnfuge saniert werden (Abbildung 1). Dabei sollte ein „Mini-Fly-Over“ zur Sanierung ohne Verkehrsstau zum Einsatz kommen. Die bestehende Modulardehnfuge wurde durch einen mageba TENSA FlexFinger-Übergang ersetzt. Die Besonderheit bei dieser Art Umbau ist der temporäre Einbau einer Übergangskonstruktion. Diese soll die Verkehrsbeeinträchtigung so gering wie möglich halten. Zu diesem Zweck wird je eine Fahrspur durch temporäre Stahlplatten überdeckt.

Abbildung 1: **Untersicht der Brücke, deutliche Korrosion zu erkennen**

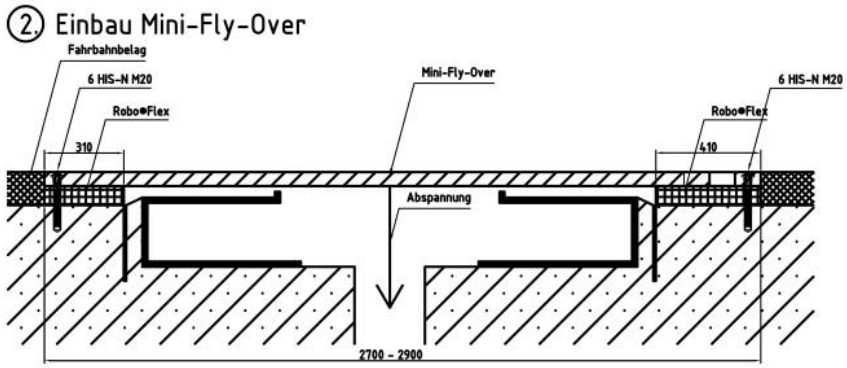
3.2.1.3 Beschreibung

- Ein Konzept bei dem tagsüber ungehindert auf allen Spuren gefahren werden kann, da die Aussparung temporär abgedeckt ist
- Nur nachts wird jeweils auf einer Spur gearbeitet. Arbeitsbeginn und Arbeitsende kann durch den Betreiber selbst bestimmt werden. Am Tag soll die gesamte Verkehrs-Kapazität vorhanden sein
- Eine Temporäre-Fingerkonstruktion überdeckt die Baustelle tagsüber höhengleich mit dem Straßenbelag und sichert so einen uneingeschränkten Verkehrsfluss.
- Am 1. Wochenende von Freitag-Abend bis Montag-Morgen muss auf einer Spurbreite (Etappe) voll durchgearbeitet werden als Vorbereitung für den erstmaligen Mini-Fly-Over Einsatz am Montag in der Früh
- Am Freitag-Abend des 2. Wochenendes erfolgen auf der zu sanierenden Spur die Abschlussarbeiten, während jedoch auf der gegenüberliegenden Seite bereits die 2. Bauetappe in Angriff genommen werden muss

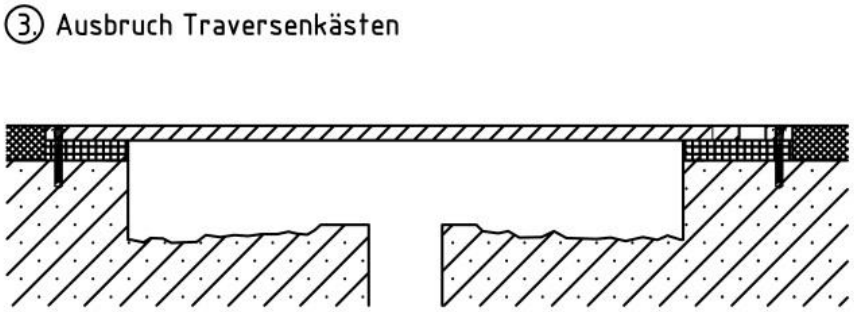
Tabelle 14: Ablauf des Umbaus von der Modulardehnfuge LR7 zu TENSA-FLEX mittels Mini-Fly-Over



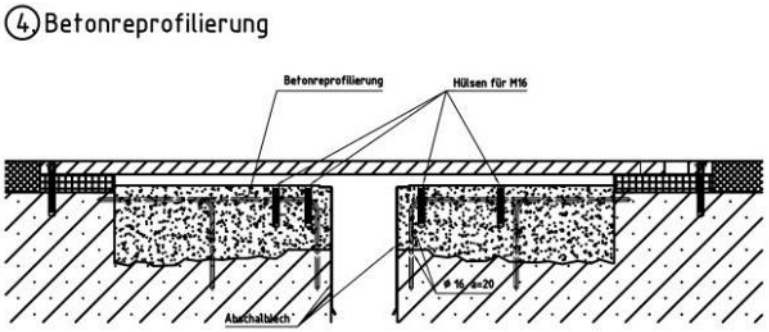
- Bestehend LR 7
- 4 Ausbruchsschnitte (S1 – S4) zur kontrollierten Entfernung der best. Konstruktion



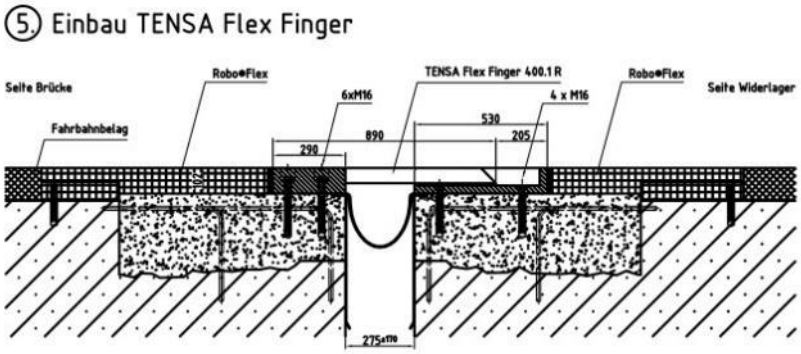
- Fahrbahnbelag auf ca. 1,1 m abfräsen
- Polymerbetonbalken (RoboFlex) beidseitig als Auflage für MFO vergiessen
- Lamellen, Traversen ausbauen und Randprofil abtrennen
- Mini-Fly-Over montieren



- Bestehende Konstruktion inkl. Traversenkästen, Ankerschlaufen, etc. ausbrechen



- a) Konstuktionsarmierung einbringen
- b) Gewindehülsen setzen



- Entwässerungsrinne montieren
- Abdichtungsfolie verlegen
- Montage TENSA-FlexFinger
- Vergiessen mit RoboFlex als Belagsergänzung

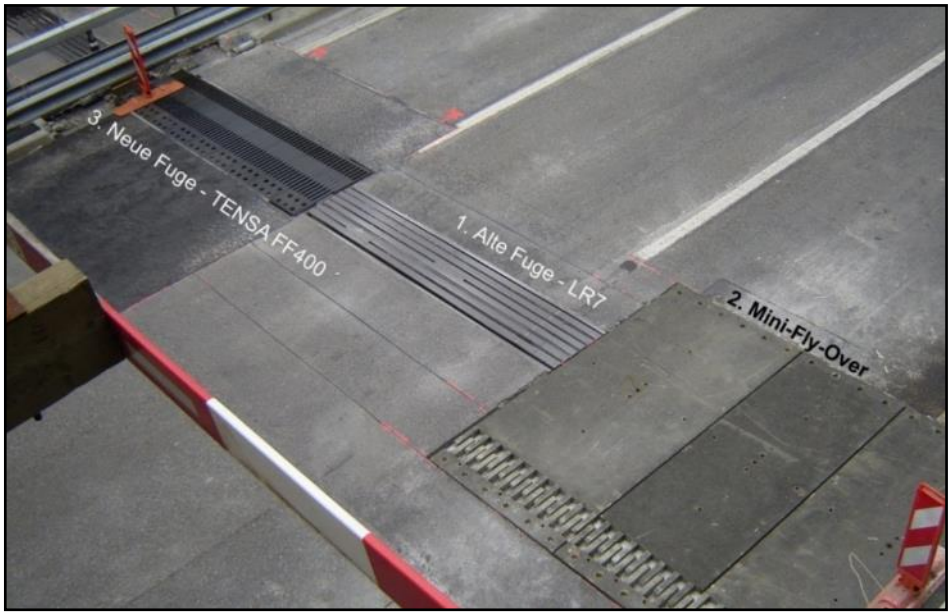


Abbildung 2: **Ablauf: 1. Ausbau bestehende FÜK, 2. Überbrücken mittels Mini-Fly-Over 3. Einbau neue FÜK**

3.2.1.4 Besonderheiten des Mini-Fly-Over

- *aufliegende Fingerkonstruktion, welche den gesamten Sanierungsbereich auf Spurbreite überbrückt*
- *kann eine Tagesbewegung von bis zu 200 mm aufnehmen*
- *Der Anschluss am Randbereich zum Asphalt kann so sauber gelöst werden, da Bewegungen der Brücke, innerhalb der Mini-Fly-Over Konstruktion aufgenommen werden*
- *Zeichnet sich durch guten Fahrkomfort aus, vor allem weil die gesamte Konstruktion höhengleich mit dem Strassenbelag eingebaut wird. Der Mini-Fly-Over wird mit demselben Verankerungs-System Hilti HIS/ HVU wie Fahrbahnübergänge des Typs TENSA-FLEX fixiert, jedoch M20*

3.2.1.5 Erkenntnisse aus dem Projekt - Vorteile / Nachteile

Pro:

- Verkehr kann während des Aushärtens des Beton über den Fugenspalt geführt werden
- Zu den Hauptverkehrszeiten ist es möglich alle Fahrspuren zur Verfügung zu stellen
- Die Mini-Fly-Over Platten sind vergleichsweise kostengünstig

Nachteile:

- Projektspezifische Plattenkonstruktion: nach der Sanierung sind die Mini-Fly-Over Platten nicht zwingend wiederzuverwenden

3.2.2 (51360) - Austausch der Modulardehnfuge LR2 - Wiesenbrücke Basel

„Mini-Fly-Over“

Dieses Projekt ist nach dem Vorbild von Bern (Felsenaubrücke) ausgeführt worden. Statt einer Modulardehnfuge LR7 wurde eine LR2 saniert.

Allgemeines zum Projekt

Brücke:	Wiesenbrücke Basel (Kt. Basel Stadt, Schweiz), befindet sich oberhalb der Eisenbahnbrücke Basel-Leopoldshöhe
Bestehende Fuge:	Modulardehnfuge LR 2
Neue Fuge:	Gleitfingerfuge TENSA-FLEX FF400

3.2.2.1 Projektbeschreibung

Gründe für Austausch:	Bei diesem Fahrbahnübergang zeigte die Inspektion fortgeschrittene Korrosion. Bei Verkehr durch SLW waren erhebliche Schlaggeräusche wahrzunehmen (Vorspannverlust aufgrund des Verschleisses) und unplanmässige Bewegungen am Fahrbahnübergang erkennbar.
Neue FÜK:	TENSA-FLEX-Finger FF400 (Übergangsweise Mini-Fly-Over)

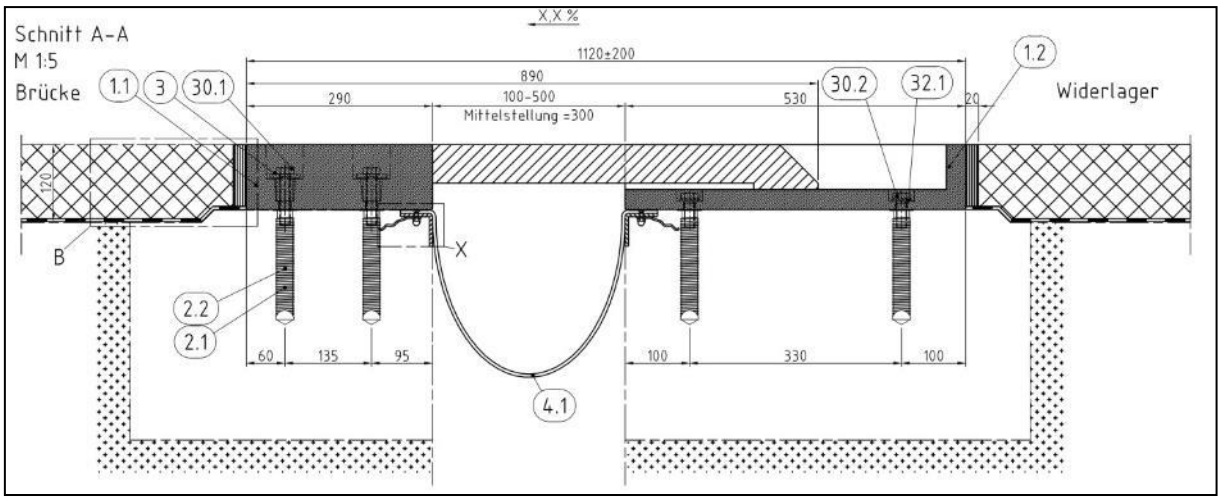


Abbildung 3: **Querschnitt des eingebauten TENSA-FLEX Überganges**

3.2.2.2 Beschreibung:

Auch bei diesem Projekt galt es den Austausch von Modulardehnfugen durch Gleitfingerfugen TENSA-FLEX mittels Mini-Fly-Over - ohne Verkehrsstau - zu gewährleisten. Hierfür wurden 3 Etappen herkömmlich durchgeführt, 2 Etappen wurden mithilfe des Mini-Fly-Overs realisiert.

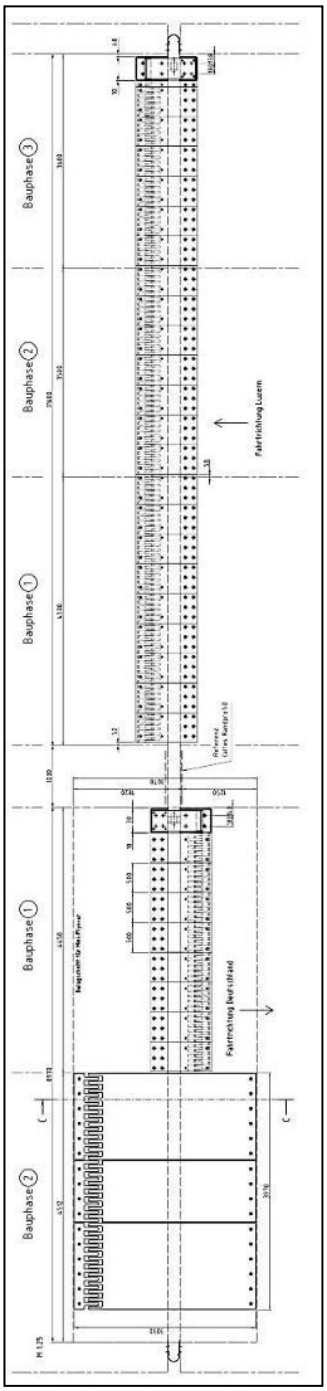


Abbildung 4: **Planausschnitt – Bauphasen Umbau**

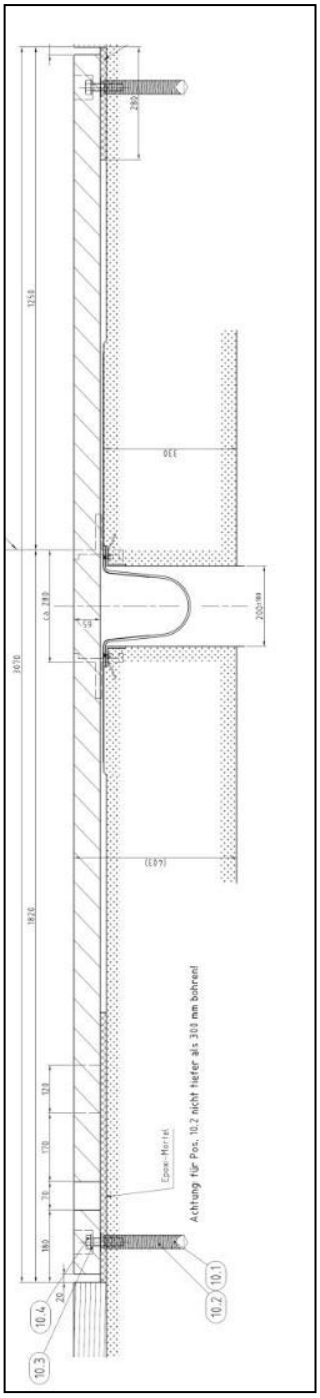


Abbildung 5: **Querschnitt Mini-Fly-Over**

Abbildung 6: **Bestehende Modulardehnfuge LR 2**

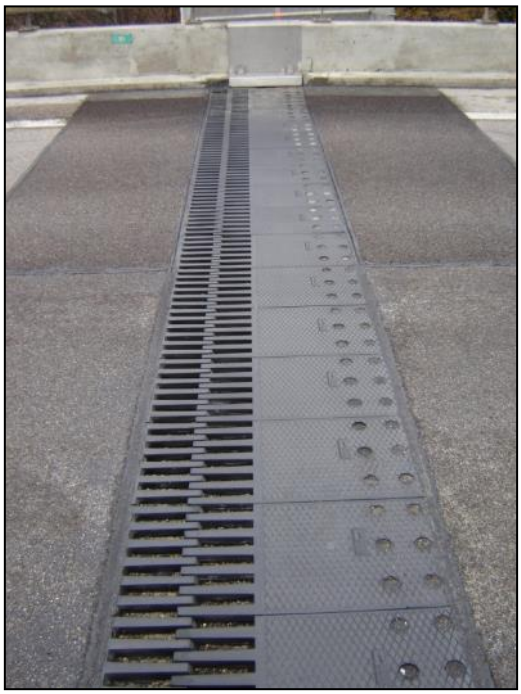


Abbildung 7: **Fertig eingebauter TENSA-FLEX Übergang**

3.2.3 „Kasten - im - Kasten“ – Projekte:

Die Bezeichnung „Kasten – im – Kasten“ beschreibt die Instandsetzung von Modulardehnfugen durch die Wiederverwendung der bestehenden Verankerung inkl. Des Traversenkastens Dieser wird bei diesem Verfahren als Einbauraum für den neuen (kleineren) Traversenkasten genutzt.

3.2.3.1 (801220) – Sanierung Maurer D180 - Hochstrasse Wolfsburg - DE

„Kasten – im – Kasten“

Objekt:	Zentraler Verkehrsknotenpunkt in Wolfsburg, Dieselstrasse / Berliner Ring
Bestehende Fuge:	Maurer&Söhne Modulardehnfugen 2 x D180 + 1 x D240
Neue Fuge:	mageba Modulardehnfugen 2 x LR 2 und 1 x LR 3

3.2.3.2 Gründe Für Austausch:

Bei diesem Projekt mussten drei Modulardehnfugen an der Hochstrasse in Wolfsburg ersetzt/ saniert werden, bei denen erhebliche Korrosionsschäden festgestellt wurden.

Abbildung 8: **Deutliche Korrosionsschäden**

Bestands-FÜK: Maurer&Söhne Modulardehnufgen D180 und D240

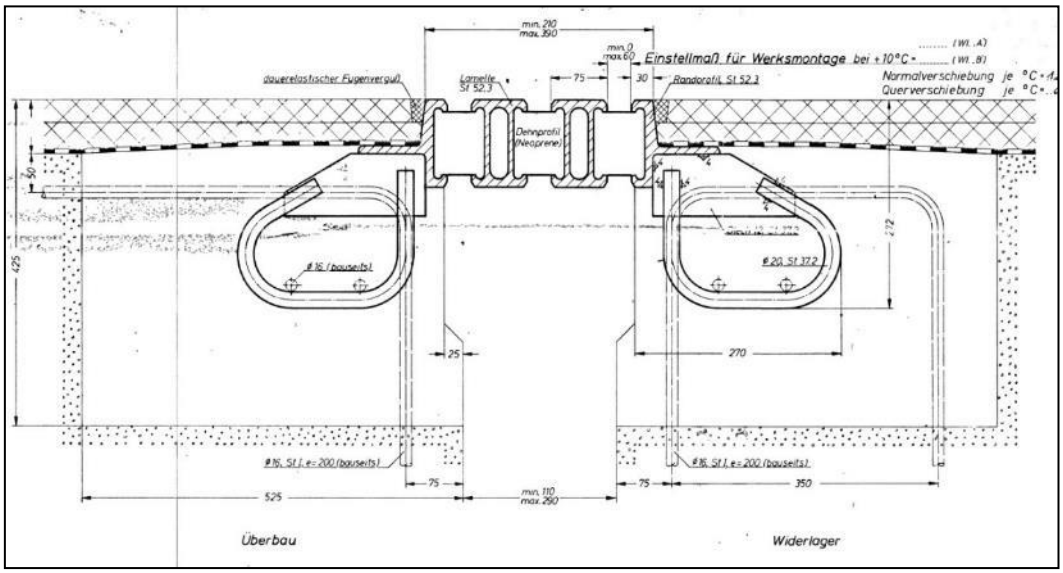


Abbildung 9: **Bestehende FÜK, Typ - Maurer D180**

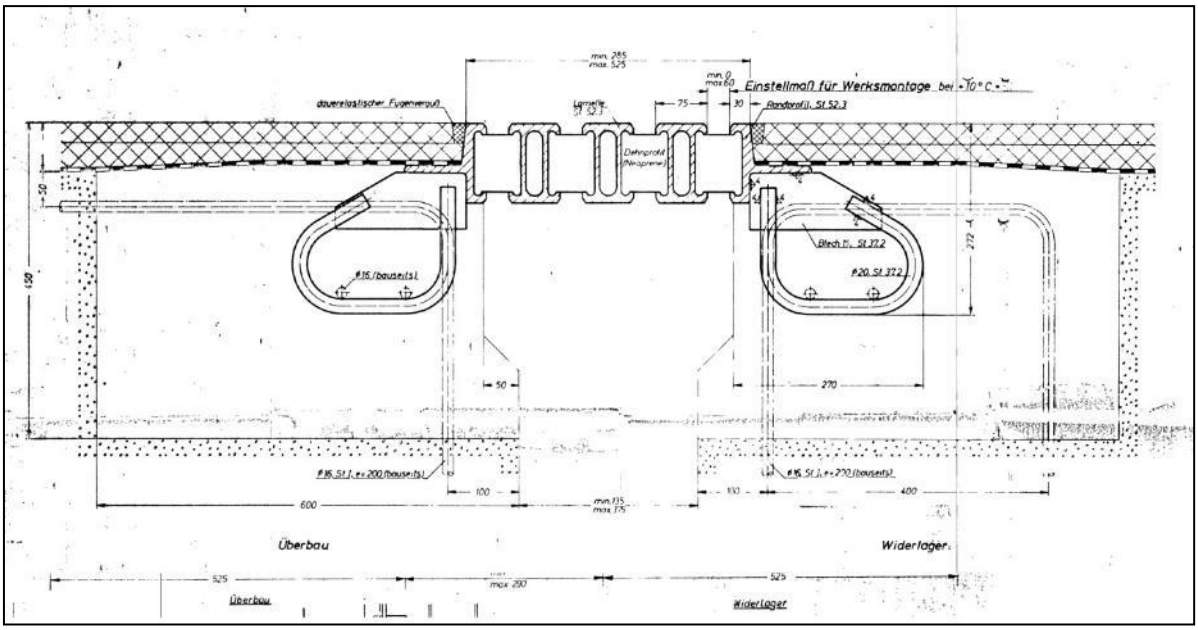


Abbildung 10: **Bestehende FÜK, Typ - Maurer D240**

Neue Fuge: mageba LR 2 und LR 3

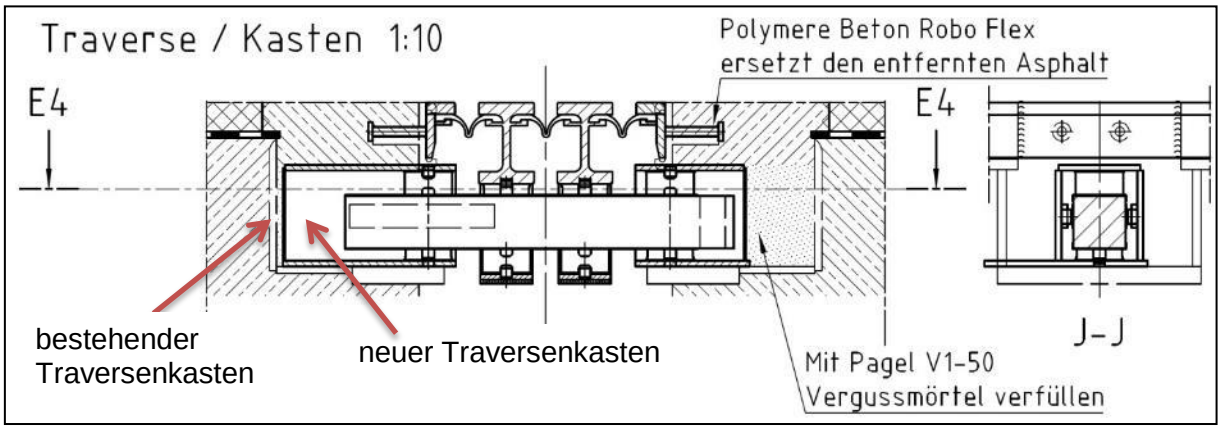


Abbildung 11 – **Querschnitt neue LR3 - FÜK**

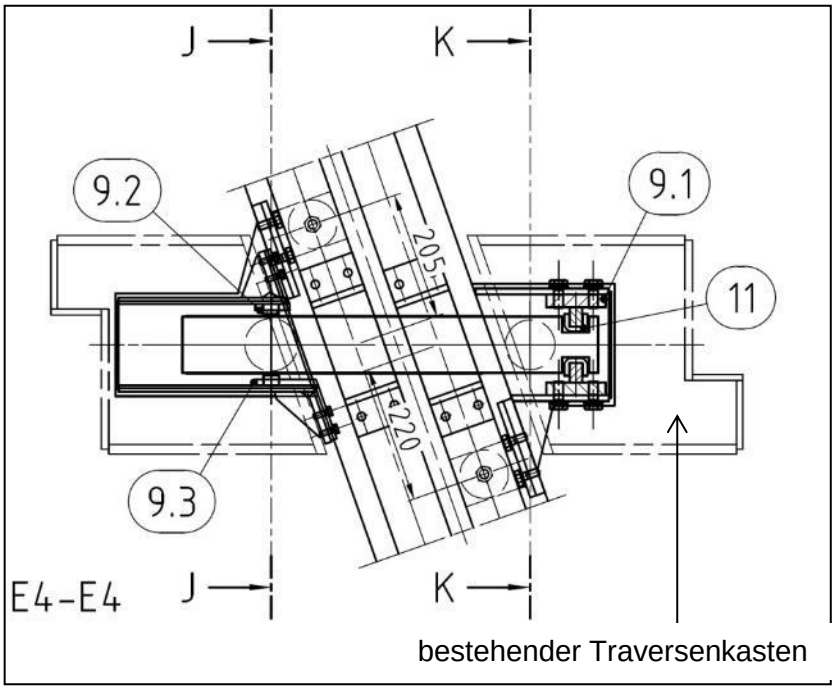


Abbildung 12: **Draufsicht neue LR3-FÜK**

3.2.3.3 Beschreibung

Im Vorfeld wurde eine ausführliche Inspektion durchgeführt. Bei diesem Projekt gab es drei existierende Modulardehnfugen (Maurer Trägerostdehnfugentypen 2 x D180 und 1 x D240) am Verkehrsknotenpunkt Berliner Ring/Dieselstrasse in Wolfsburg.
Die Verankerungen inkl. Traversenkästen und Randprofile sind in der Brücke verblieben und „nur“ das Traversen/ Lamellenpaket wurde zusammen mit neuen, kleineren Traversenkästen eingesetzt.

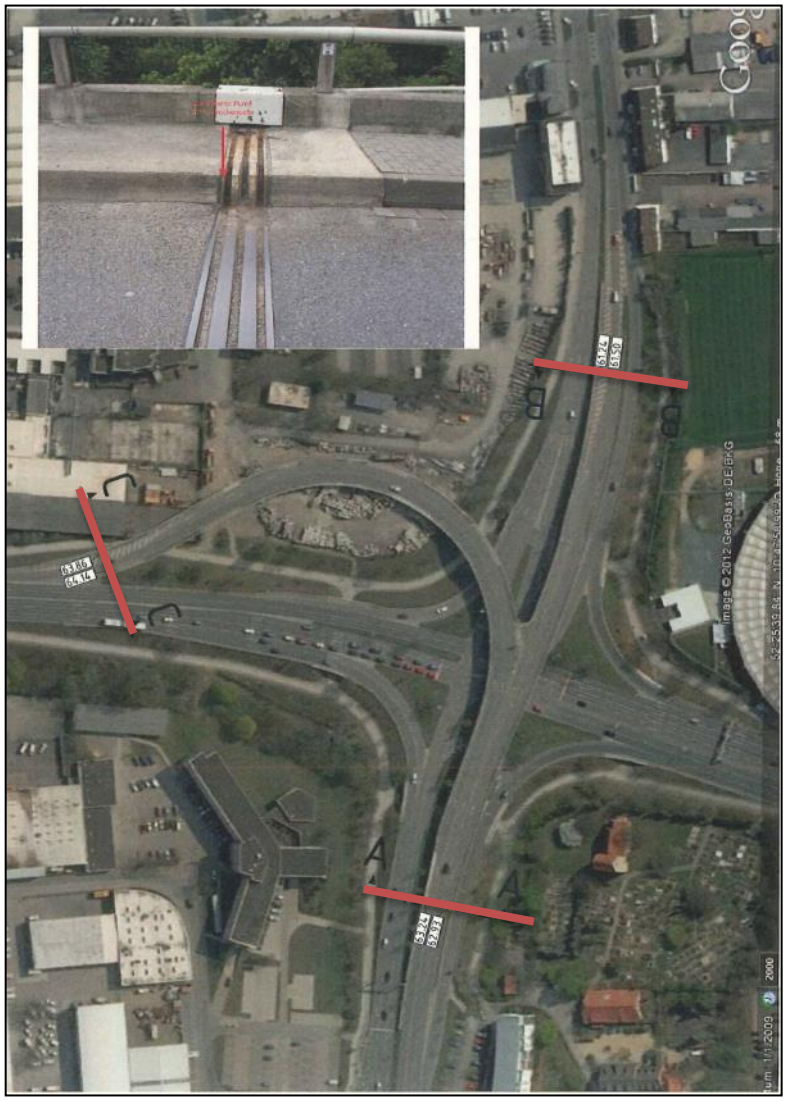


Abbildung 13: **Übersichtsplan und Positionen der drei sanierten FÜK**

Abbildung 14: **Bestands-FÜK vor Ausbau**

Abbildung 15: **Zusammenpressen der Lamellen für den Ausbau**

Abbildung 16: **Freilegen der Traversenkästen und Entfernen aller beweglichen und zu ersetzenden Bauteile**

Abbildung 17: **Einsetzen der neuen FÜK**

Montagedauer:

Der Umbau hat für alle Fugen insgesamt ca. 6 Wochen gedauert.

3.2.3.4 Erkenntnisse aus dem Projekt – Vorteile / Nachteile

- Weniger Betonagearbeiten, da der alte Traversenkasten genutzt wird
- Hohes Genauigkeitsmass erforderlich, damit die neue FÜK exakt in den alten Brückenspalt mit den vorhandenen Randprofilen und Traversenkästen eingefügt werden kann
- Kaum Eingriff in den Bestand der Brücke
- Spezialbeton in geringen Mengen erlaubt Abdichtungsarbeiten direkt nach dem Aushärten

3.2.3.5 (304951) – Sanierung LR 5 - Marsh Mills UK

Bei diesem Projekt wurde kein „Kasten – im – Kasten“ Verfahren im eigentlichen Sinne durchgeführt. Der Traversenkasten der ehemaligen FÜK besaß die gleichen Konstruktionsmaße wie die neue FÜK, somit konnte der bestehende Kasten vollständig wiederverwendet werden.

Objekt:	Marsh Mills Viadukt bei Plymouth (UK)
Bestehende Fuge:	Modulardehnfuge LR 5 (mageba 1991)
Neue Fuge:	Modulardehnfuge LR 5

3.2.3.5.1 Gründe Für Austausch

- Erhöhte Lärmemission bei Überfahren
- Sichtbare Korrosionsschäden

Abbildung 18: **Randbereich der Bestands-FÜK**

Abbildung 19: **Korrosion an den Knickpunkten der Lamellen**

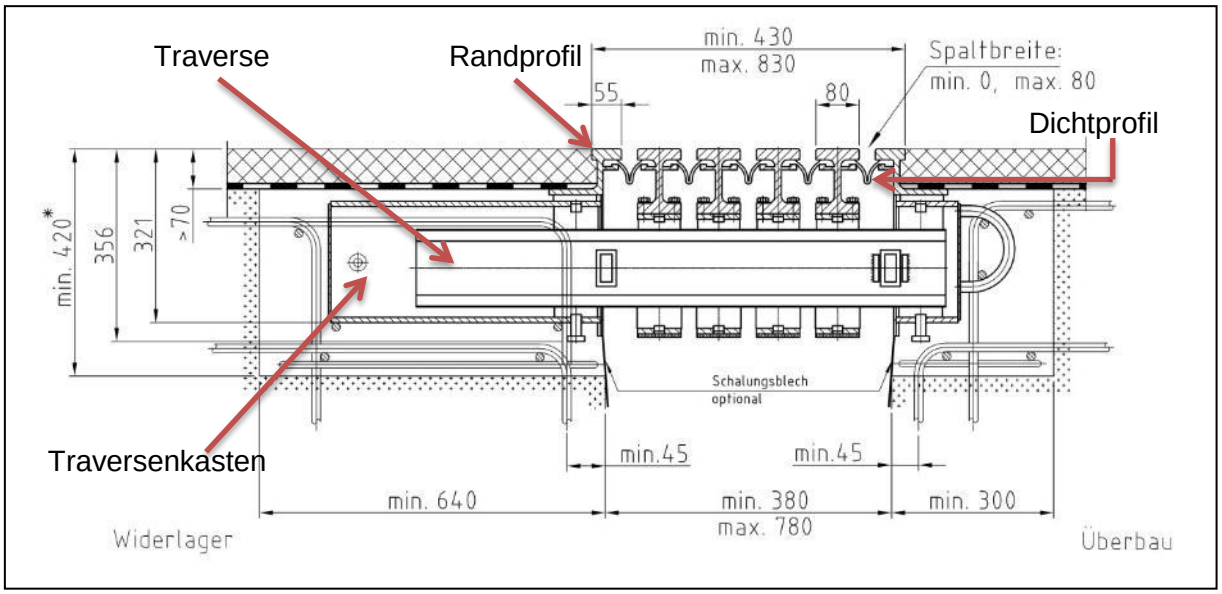


Abbildung 20: **Darstellung der Bestands-Modulardehnfuge LR 5 (exemplarisch)**

3.2.3.5.2 Beschreibung

Aufgrund erhöhter Lärmemissionen und eines lauten, metallischen Schlagens wurde die mageba aufgefordert, eine Inspektion der Modulardehnfugen am Marsh Mills Viadukt durchzuführen. Im Zuge der Prüfung wurde eine Reihe von abgenutzten (unplanmässig bewegenden) Komponenten unterhalb der Fugen festgestellt. Diese Abnutzung hat zu einem Verlust der Vorspannung im Fugensystem geführt, was sowohl Ursache für den erhöhten Verschleiss, als auch die Quelle der Geräuschemissionen war. Trotz des allgemein

schlechten Zustandes der Fugen konnten keine Anzeichen von Schäden an den Verankerungen der Fuge auf der Brücke und am Widerlager festgestellt werden.

Somit konnten die Verankerungen, Traversenkästen und Randprofile in der Brücke verbleiben und „nur“ das Traversen/ Lamellenpaket musste getauscht werden.

VERKEHR:

Es handelt sich um eine Zwillingsbrücke, die entsprechende Brückenseite wurde vollständig gesperrt und der Verkehr wurde auf der gegenüberliegenden Seite (im *Contraflow*) geführt.

Abbildung 21: **Asphalt entfernen**

Abbildung 22: **Freilegen der Traversenkästen**

Abbildung 23: **Öffnen der Traversenkästen**

Abbildung 24: **Herausheben der Bestands-Lamellen**

Abbildung 25: **Aufbringen Korrosions-schutz**

Abbildung 26: **Einfädeln der neuen FÜK**

BAUABLAUF:

Für die Umbaumassnahmen wurde zunächst der fugennahe Asphalt entfernt/abgefräst, sodass die Deckel der Traversenkästen sichtbar wurden. Anschließend wurden diese aufgetrennt und geöffnet. Ebenso wurden die Randprofile auf der beweglichen Fugenseite lokal im Bereich der Kästen herausgetrennt. Danach hob man die alten FÜK (Lamellen, Traversen, Steuerelemente) aus den Kästen. Auf die verbliebenen Fugenbauteile wurde ein neuer Korrosionsschutz aufgebracht. Die neue FÜK konnte dann in Schräglage in Position eingefädelt werden. Hierfür musste das neue Lamellenpaket zunächst zusammengeschoben werden.

MONTAGEDAUER:

Bei diesem Projekt haben die gesamten Arbeiten etwa 3 Wochen gedauert

3.2.3.5.3 Erkenntnisse aus dem Projekt - Vorteile/ Nachteile

- Die Methode der vollständigen Wiederverwendung des alten Traversenkastens wurde von mageba bei diesem Projekt zum ersten Mal durchgeführt
- vergleichsweise schneller und „günstiger“, da keine neuen Traversenkästen, Randprofile und Anker hergestellt und eingebaut werden müssen.
- Auf diese Weise müssen weniger Betonausbrucharbeiten durchgeführt werden als wenn ein vollständig neues Betonageplanum geschaffen werden muss
- Der Mehraufwand für exakte Maßhaltigkeit und planerische Vorbereitung ist jedoch vergleichsweise höher. Auch die erforderliche Flexibilität vor Ort muss eingeplant werden
- Vollsperrung bevorzugt während des Umbauprozesses, abschnittsweise Sperrung ist möglich
- Bei Abdichtungsarbeiten brauchen keine Restfeuchte oder Aushärtung von Beton berücksichtigt werden

3.2.4 Umbauten von Modulardehnfugen zu Fingerfugen –Typ F

Bei dieser Sanierungsmethode wird der alte Traversenkasten der Modulardehnfuge wiederverwendet, indem Verankerungen in diesen eingesetzt werden. An die Verankerungen können anschließend speziell gefertigte keilförmige Fingerfugen angebracht werden.

3.2.4.1 (900315) - Objekt D31 Umbau von Modulardehnfugen D300 zu F-260 (2001)

Bestehende Fuge: Honel Joint (vergleichbar mit LR5)

Neue Fuge: F260

3.2.4.2 Gründe Für Austausch

Gründe für Austausch: verschlissene Modulardehnfuge

Bestehende FÜK: LR 5

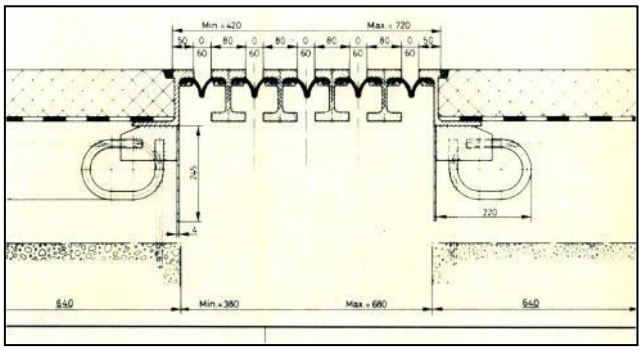


Abbildung 27: **Bestands-FÜK - Fahrbahnbereich**

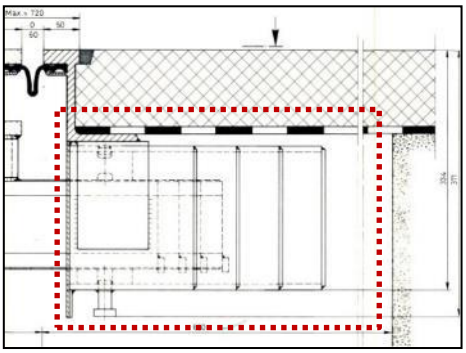


Abbildung 28: **Bestands-FÜK - Traversenkasten**

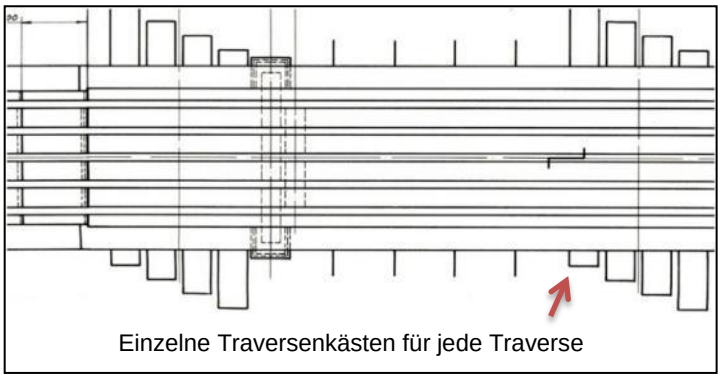


Abbildung 29 – **Bestands-FÜK - Draufsicht (Ausschnitt)**

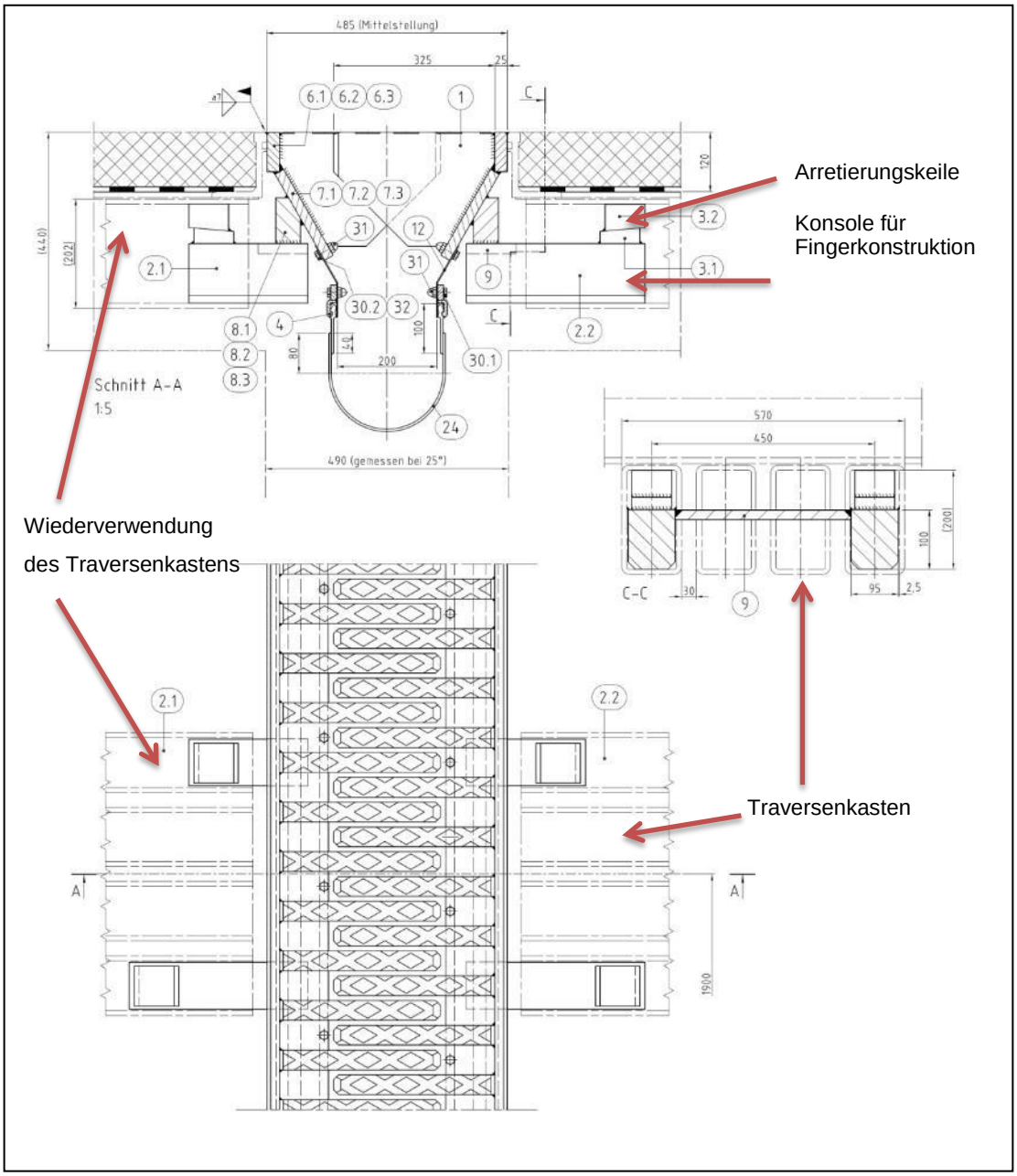


Abbildung 30: **Querschnitt und Draufsicht (Ausschnitt) der neuen FÜK**

3.2.4.3 Beschreibung der alten Fuge

Bei der Bestands-FÜK handelt es sich um eine Trägerrostfuge mit 5 Bewegungsspalten. Diese kann maximal Bewegungen bis 300 mm aufnehmen (5 x 60 mm je Spalt). Diese Trägerrostfuge (bei mageba bis Mitte der 80er Jahre produziert) besitzt 5 Lamellen - I – Träger mit 80 mm Breite.

Hintergrund für die Sanierung nach diesem Verfahren sind die Platzverhältnisse bei den bestehenden Traversenkästen. Für eine Sanierung im „Kasten – in – Kasten“ Verfahren wäre der bestehende Traversenkasten ungeeignet. Der Einbau einer Lamellenfuge nach dem mageba System LR bedarf ausreichend grosser vorhandener Traversenkästen, um die neuen Traversenkästen „aufzunehmen“. Bei den Trägerrostfugen dieses Systems sind die einzelnen Traversenkästen jedoch zu klein, da jede Traverse über ihren „eigenen“ Kasten verfügt.

3.2.4.4 Sanierungskonzept

- Vorgefertigte Finger-Module werden an Kragträgern angeschweißt, welche in den alten Randprofilen verankert sind.
- Bestehendes Trägerrostsystem muss im Bereich der Randkonstruktion stabil und unverformt sein – da Traversenkästen und Randprofile als „Support“ dienen

3.2.4.5 Bauablauf

Zunächst wird die bestehende Lamellenfuge entfernt, wobei darauf geachtet wird, die Beton bzw. Asphaltbereiche nicht zu schädigen. Anschließend werden die alten Randprofile abgetrennt. Nachdem die neuen Konsolen in die alten Kästen eingeschoben wurden diese mit Keilen fixiert. Daraufhin wurden die neuen Fingerplatten in den Fugenspalt gehoben und festgeschweisst.

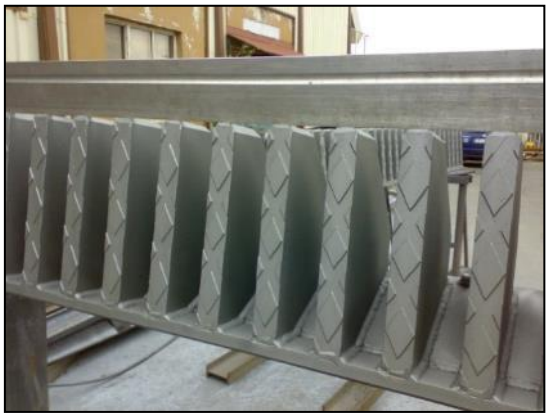


Abbildung 31 – **vorgefertige Finger Typ-F (möglich)**

Abbildung 32 – **Heraustrennen der alten Lamellen und Traversen**

Abbildung 33 – **Lieferung der vorgefertigten Fingerelemente**

Abbildung 34 – **Untersicht des fertig eingebauten Finger Typ F**

Montage:

Bei diesem Umbauverfahren rechnet man mit ca. 1 Woche je Etappe. Bei jeder Etappe wird jeweils auf beiden Widerlagern (WL) in einer Richtungsfahrbahn gearbeitet. Somit werden insgesamt 4 x 1 Woche (mit 2 Mann) benötigt.

Verkehrsführung

Eine Hälfte von einer Richtungsfahrbahn wird gesperrt, dann kann an beiden WL gearbeitet werden - gesamt 4 Etappen

3.2.4.6 Erkenntnisse aus dem Projekt – Vorteile / Nachteile

Pro:

- Bei dieser Umbauvariante sind keine Asphaltarbeiten notwendig
- Erleichterte Organisation, da weniger Subunternehmer benötigt werden
- Gute Herbst und Frühjahrsarbeit, da es einen großen Brückenspalt braucht - hilft die Auslastung des Baustellenpersonals sicherzustellen

Kontra:

- Korrosionsschutz auf Baustelle
- Langwieriger Prozess - lange Straßensperrung (aber im Vergleich zum Totalersatz akzeptabel)
- Keine normative Grundlage

3.2.5 (900341) – D45 Wolanig Umbau Modulardehn- zu Fingerfugen Typ-F

Umbau Fingerfuge Typ - F

Bestehende Fuge:	Modulardehnfugen LR 5 und LR 6
Neue Fuge:	F260 und F330

3.2.5.1 Gründe Für Austausch

Bei diesem Projekt war es gewünscht, möglichst keine Betonarbeiten und Asphaltarbeiten durchzuführen.

Bestehende Fuge: LR 5 und LR 6

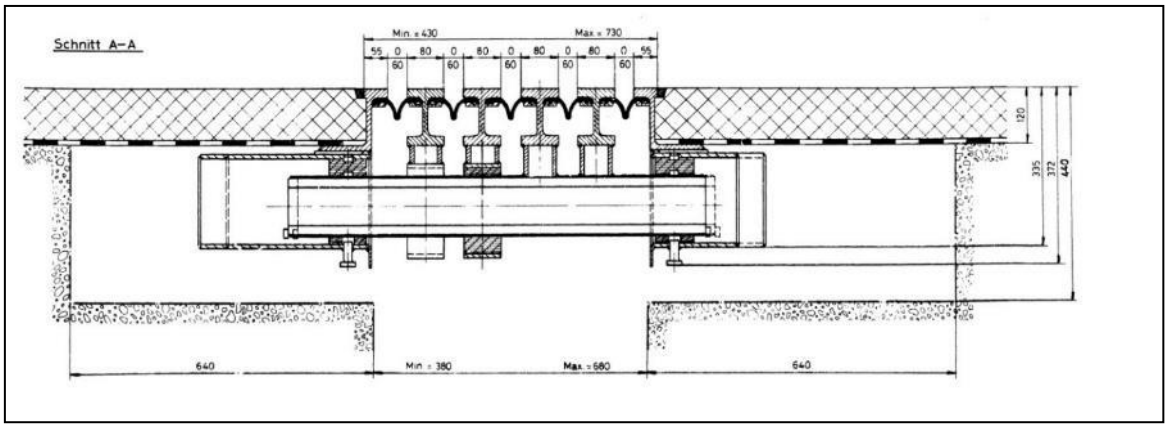


Abbildung 35: **Bestands-FÜK - LR 5**

Neue FÜK: mageba Fingerfugen Typ F

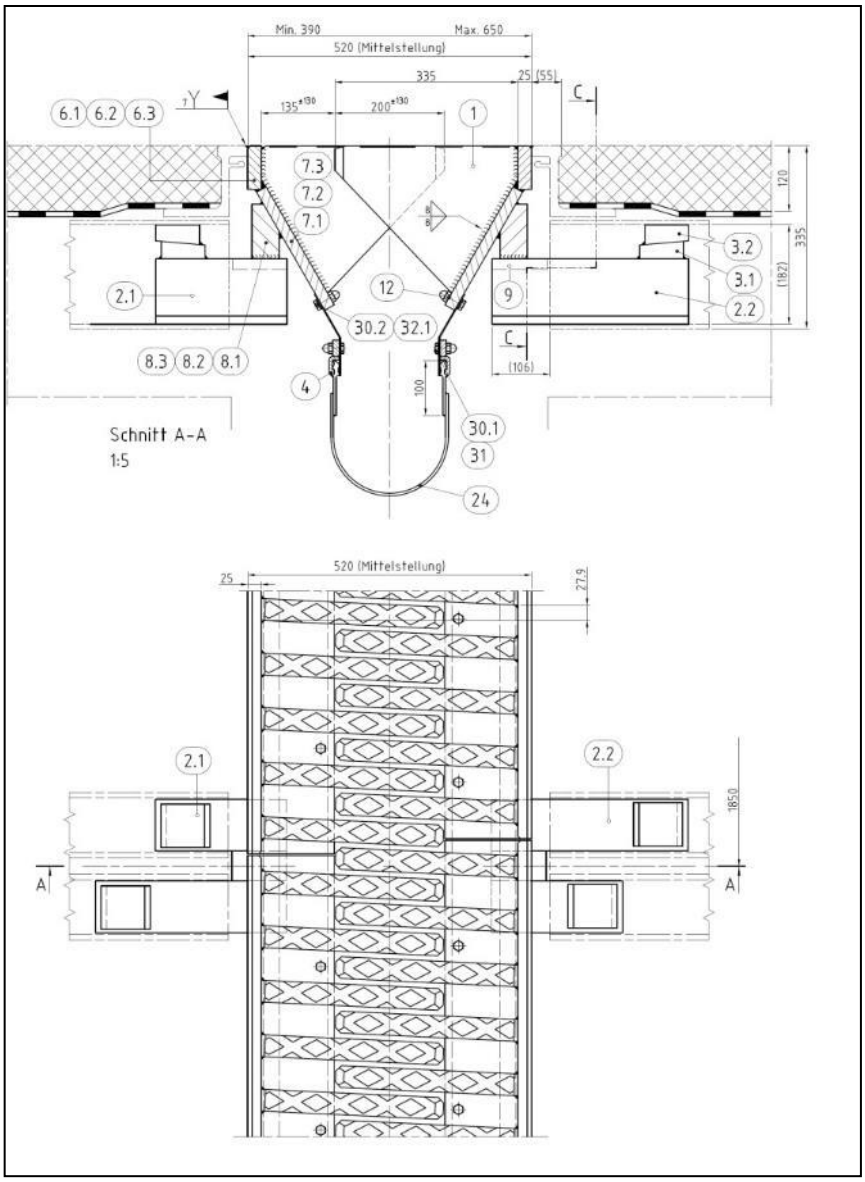


Abbildung 36: **Querschnitt und Draufsicht (Ausschnitt) von einer der neuen FÜK (F260)**

3.2.5.2 Beschreibung der bestehenden FÜK

Mageba Modulardehnfuge LR 5 bzw. LR 6

3.2.5.3 Sanierungskonzept

- Vorgefertigte Finger-Module werden an Kragträgern angeschweisst, welche in den alten Randprofilen befestigt werden.

Bauablauf

Siehe Bauablauf Kapital 4.1

Verkehrsführung:

Eine Hälfte von einer Richtungsfahrbahn wird gesperrt, sodass anschliessend an beiden Widerlagerseiten gearbeitet werden kann – insgesamt bedarf es auch hier 4 Etappen

3.2.5.4 Erkenntnisse aus dem Projekt - Vorteile / Nachteile

Siehe Erkenntnisse Projekt Umbau D31 - Projekt 900315 (Kapitel 4.1)

3.2.6 Umbau zu RS- und RE-FÜK - Projekte:

Bei dieser Sanierungsmethode wurden Bestands-Modulardehnfugen von mageba (oder anderen Herstellern) zu einzelligen RS-Fugen (Raumfuge schwer) umgebaut.

3.2.6.1 (40090) - Umbau LR-2 - A7 Phyrnautobahn

Objekt:	A7 Phyrnautobahn
Bestehende Fuge:	Modulardehnfuge LR2
Neue Fuge:	Einzellige Fuge RS-A80

3.2.6.2 Gründe für Austausch:

Bei Inspektionen wurden stark korrodierte Bereiche an der bestehenden Modulardehnfuge festgestellt, sodass Instandsetzungsmassnahmen erforderlich wurden.

Neue FÜK: mageba RS-A80

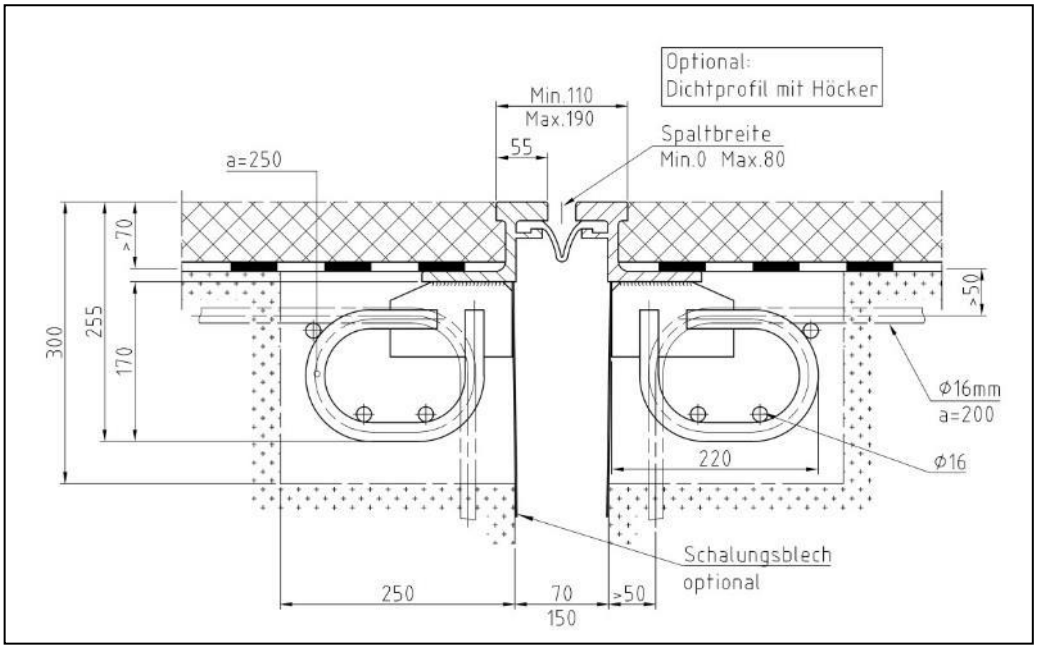


Abbildung 37: **Darstellung einer einzelligen FÜK RS-A80 (exemplarisch, kein Umbau)**

3.2.6.3 Beschreibung:

Bei diesem Umbauverfahren muss das bestehende Randprofil weitestgehend in Takt sein, damit die erhöhte Auskragung aufgenommen werden kann. Im alten Randprofil werden innen Konsolen aufgeschweisst. Die zuvor eingebauten Modulardehnfugen, beginnen bei einer Bewegungskapazität von 160 mm (2 x 80 mm). Die neu eingebauten RS-Fugen gehen bis 80 mm Bewegung. Im Rahmen des Neubaus einer Brücke (Betonkonstruktion) müssen auch Bewegungsanteile aus Kriechen und Schwinden berücksichtigt werden. Bei Sanierungen können diese Anteile (im Normalfall) entfallen. Die zu berücksichtigenden Bewegungen sind damit häufig erheblich geringer, als zuvor.

Abbildung 38: **Heraustrennen der alten Lamelle**

Abbildung 39: **Anschweißen von Installationshilfen**

Abbildung 40: **Anschweißen des neuen Randprofils**

Abbildung 41: **Einknüpfen des Dichtprofils**

3.2.6.4 Erkenntnisse aus diesem Projekttyp - Vorteile / Nachteile:

Pro:

- Bei dieser Umbauvariante sind keine Asphaltarbeiten notwendig
- Erleichterte Organisation, da weniger Subunternehmer benötigt werden

Kontra:

- Korrosionsschutz muss auf der Baustelle aufgebracht werden
- Langwieriger Prozess - lange Strassensperrung (aber im Vergleich zum Totalersatz OK) → Kombination mit Fly-Over denkbar abhängig vom Personaleinsatz
- Bestehende Randkonstruktion die als Anschluss der Fingerkonstruktion dient ist hinsichtlich der statischen Bemessung nicht prüfbar
- Keine normative Grundlage

3.2.7 Umbauten zu TENSA-CRETE RE und RE-LS FÜK

Bei TENSA-CRETE Dehnfugen handelt es sich um einzellige Profile, welche es als Typ RE und als RE-LS gibt. Die Variante RE-LS zeichnet sich durch zusätzliche Sinusplatten auf der Oberseite aus, wodurch sie einen noch besseren Fahrkomfort, geringe Lärmemission sowie erhöhte Bewegungskapazität (100 mm) gegenüber der TENSA-CRETE RE-FÜK (80 mm) aufweist.

3.2.7.1 303080 – IS Kräzerenbrücke, St. Gallen

Objekt:	Kräzerenbrücke
Bestehende Fuge:	Einzellige Fuge
Neue Fuge:	Einzellige Fuge RE-A80

3.2.7.2 Gründe für Austausch:

Der vorhandene Fahrbahnübergang zeigte starke Verschleissspuren, korrodierte Bereiche sowie nicht mehr intakte Kopfprofile wodurch ein Austausch erforderlich war.

Neue FÜK: mageba TENSA-CRETE RE

„Bei TENSA-CRETE Dehnfugen werden die Stahl-Randprofile mit wasserdichtem und schnell aushärtendem mageba ROBO-FLEX Polymerbeton vergossen. Ein wesentlicher Vorteil ist der schnelle und kostengünstige Einbau des Systems, weil die Fuge nur im Querschnittbereich des Fahrbahnbelages liegt und keine weiteren Eingriffe in das darunter liegende Tragwerk erforderlich sind. Durch die sehr kurze Aushärtezeit kann der Verkehr bereits nach wenigen Stunden wieder freigegeben werden.“

Abbildung 42

Abbildung 43

Abbildung 44

Abbildung 45

3.2.7.3 Beschreibung

Für diesen Sanierungstypen können Eingriffe in die vorhandene Struktur minimal gehalten werden. Der Aufbau der TENSA-CRETE RE/RE-LS zeichnet sich durch eine geringe Höhe aus, somit können Ausbrüche für Aussparungen minimal gehalten werden. Die Randprofile

der alten Konstruktion müssen nur entsprechend der Höhe der neuen Profile herausgetrennt werden. Anschliessend wird der Einbau durch sauberes Ausschneiden des angrenzenden Strassenbelages vorbereitet.
Bei Massabweichungen der Aussparungen, können die vorhandenen Lücken vorgängig mit Robo®Flex aufgefüllt werden, was jedoch eine zusätzliche Materialmenge des Robo®Flex erfordert.

Nachdem der TENSA-CRETE Fahrbahnübergang mithilfe von Versetztraversen in die vorbereiteten Aussparungen eingesetzt wurde, wird die Aussparung mit Robo®Flex aufgefüllt. Die Verankerung der FÜK wird über Haftreibung des Robo®Flex gewährleistet. Für die TENSA-CRETE RE-LS (mit Sinusplatten als Lärmschutz) ist eine etwas grössere Aussparung erforderlich. Die erhöhte Auskragung aufgrund der Sinusplatten, erfordert eine grössere Verankerung (siehe Abbildung 47)

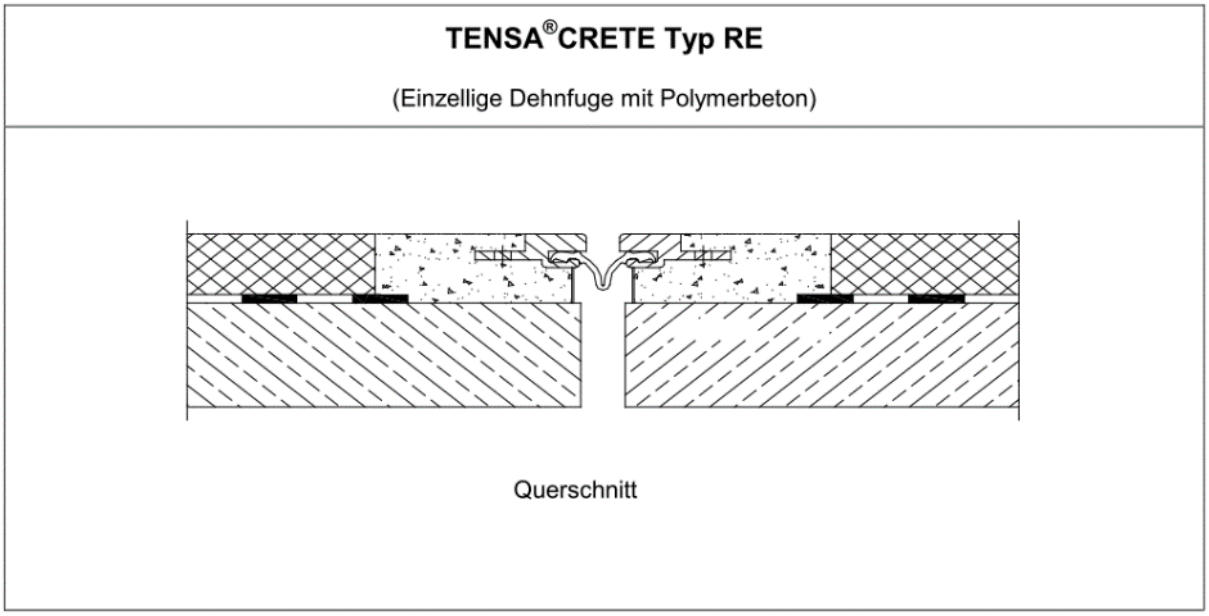


Abbildung 46: **Querschnitt des einzelligen Profils TENSA-CRETE RE**

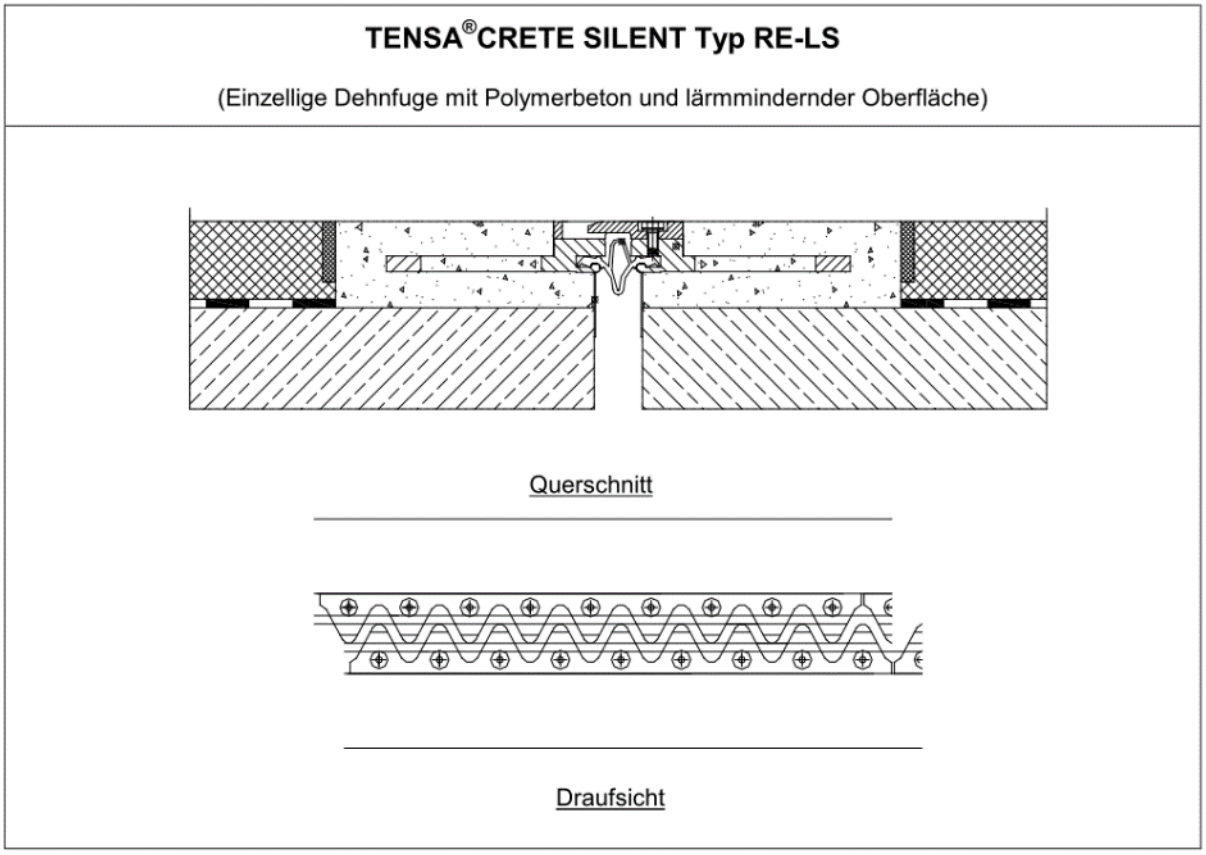


Abbildung 47: **Querschnitt des einzelligen Profils TENSA-CRETE RE-LS (mit Sinusplatten als Lärmschutz)**

3.2.7.4 Vorteile/Nachteile des Sanierungstypen

Pro:

- minimale Eingriffe in die vorhandene Struktur
- geringer Zeitlicher Aufwand (keine Aushärtezeiten von Beton, Ausbruch für Verankerung entfällt etc.)
- geringe Aussparungshöhe

Kontra:

- Nur anwendbar bis Bewegungen von ± 40 mm bei RE und ± 50 mm bei RE-LS
- Polymerbeton preislich hoch

3.3 Weitere Entwicklungen

3.3.1 *„Maurer Schwenktraversen-Dehnfuge“*

Ertüchtigung der Dehnfugen vom Typ DS480 der Norderelbbrücke bzw. vom Typ DS480, DS560, DS880 der Ahrtalbrücke i.Z.d. A61

i.Z.d. A1 bei Sperrung nur eines Fahrstreifens einer Richtungsfahrbahn je Bauabschnitt

3.3.1.1 Hintergrund

Maurer Söhne Schwenktraversen-Dehnfugen erlauben mithilfe einer Hilfstraverse den Austausch der nicht fix verankerten Bauteile. Den massgeblichen Anteil der dynamischen Lasten erhalten vor allem die Lamellen, die Traversen sowie die Elastomerelemente. Den Austausch dieser durch Verschleiß und Materialermüdung betroffenen Bauteile kann man somit gewährleisten. Aufgrund der Schwenkbarkeit der Traversen infolge entsprechend dimensionierter Traversenkästen, ist es möglich die Traversen auch ohne vollständiges Öffnen der Kästen auszubauen. Die verbleibenden Randprofile und Traversenkästen erfahren durch ihre Verankerung in das Bauwerk nur vernachlässigbare dynamische Belastungen sodass sie meistens wiederverwendbar sind.

Der Korrosionsschutz kann im Rahmen einer Ertüchtigung der Dehnfuge ebenfalls durch das Freilegen der einzelnen Bauelemente neu aufgebracht werden.

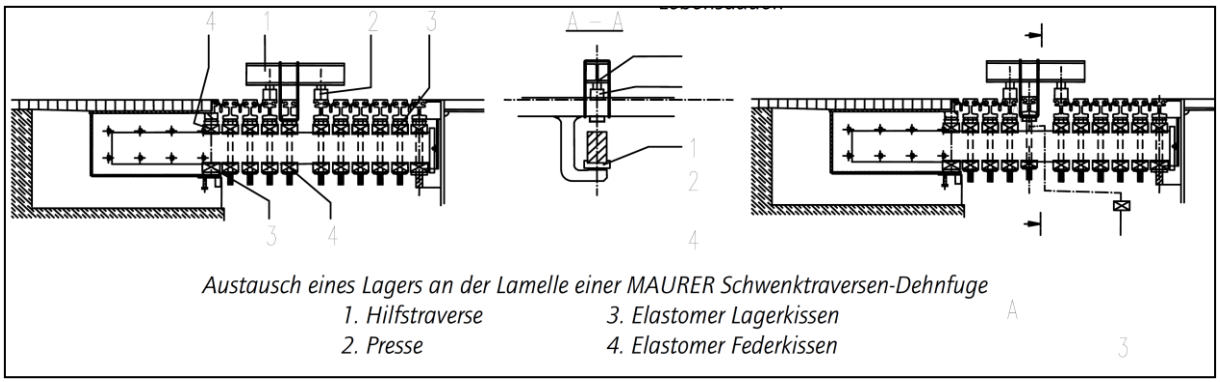


Abbildung 48: **Anwendung der MaurerSöhne-Hilfstraverse im Zuge eines Lagertauschs**

Abbildung 49: **freigelegte Traversen zur Veranschaulichung (an der Ahretalbrücke i.Z.d. A61)**

Verkehr

Die Beeinträchtigung des Verkehrs kann wesentlich eingeschränkt werden:

- aufgrund nicht benötigter schwerer Geräte
- da das Baufeld in kürzester Zeit eingerichtet und geräumt werden kann

3.3.2 *Maurer Söhne „Kasten – im - Kasten“*

Ähnlich dem mageba „Kasten – im – Kasten“-Verfahren wurde von Maurer eine 6-profilige Modulardehnfuge an der Kürnachbrücke (BAB 7) saniert und durch eine neue 5-profilige Dehnfuge erneuert.

Abbildung 50, 51 und 52: **Instandsetzung nach dem System „Kasten – im – Kasten“ bei Maurer Söhne [Pressemitteilung 06/13 Maurer Söhne]**

3.3.3 *Maurer Modular Bridging System*

Vergleichbar zum mageba Mini-Fly-Over Verfahren wurde bei Maurer Söhne das „Modular Bridging System“ entwickelt. Auch bei diesem ist das Ziel die Verkehrsbeeinträchtigung so gering wie möglich zu halten. Um schnell zwischen Baustelle und Verkehrsfluss umschalten zu können, setzte man in München bei der Donnersberger Brücke das von Maurer Söhne, patentierte MAURER Modular Bridging System (MMBS) ein. Bei diesem System wird eine temporäre Überfahrtsrampe eingesetzt, die, anders als der Mini-Fly-Over schnell auf- und abgeklappt werden kann. Abgeklappt dient sie als temporäre Brücke, die ein Überfahren des Arbeitsbereichs erlaubt. Im Gegensatz zum Mini-Fly-Over, welcher höhengleich zum Strassenbelag liegt, steht das MMBS jedoch um die Dicke der Stahlplatten auf, sodass die Geschwindigkeit des fahrenden Verkehrs stärker reduziert werden muss. Im Gegenzug kann das „Öffnen der Baustelle“ schneller erfolgen. Dieses ist nach Aufklappen der Platten direkt zugänglich.

Abbildung 53: **Das Maurer Modular Bridging System**

3.3.3.1 Vorteile

- Schnelles Öffnen des Betonierspalts
- Wiederverwendbarkeit der Stahlplatten

3.3.3.2 Nachteile

- Stahlplatten nicht höhengleich mit der Fahrbahn (Fahrkomfort)
- Verdübelung durch den Asphalt (und durch die Abdichtung)

3.3.4 *Fly – Over*

3.3.4.1 Beschreibung

Wie bereits in Kapitel 2.1 kurz aufgeführt, handelt es sich bei dem Fly-Over um eine in Österreich entwickelte Aufstelz-Stahlkonstruktion. Diese ermöglicht Wartungs- und Reparaturarbeiten auf bestehenden Fahrbahnen, ohne dass hierbei die Autobahn dauerhaft gesperrt werden muss. Instandsetzungsarbeiten können dann nach Errichten des mobilen Fly-Over unter der Konstruktion durchgeführt werden.

Abbildung 54: **Fly-Over bei rollendem Verkehr [Broschüre Waagner Biro]**

- Da der Fly-Over nur eine Arbeitsraumhöhe von 1,60 aufweist, ist der Einsatz von schwerem Gerät häufig erschwert oder gar verhindert.
- Vorteilhaft ist auch die Möglichkeit einen Fly-over für den Einsatz eines Schwertransportes zu nutzen, wenn eine Brücke auf der Strecke nicht für das Gewicht des Schwertransports zugelassen ist.
- Während der Arbeiten unter dem Fly-Over wird das Tempolimit auf 60 km/h reduziert.
- Im Laufe der Entwicklung wurde der Fly-Over um die Möglichkeit erweitert, den Mittelteil, den Bereich der eigentlichen Fuge kurzzeitig anzuheben. Auf diese Weise können ganze Übergangskonstruktionen „eingehoben“ werden, selbst wenn die Brückenbreite oder hochgezogene Borden ein seitliches einheben verhindern.

Abbildung 55: **Öffnen eines Fly-Over Mittelteils zum Einheben der neuen Fahrbahnübergangskonstruktion (Einbau der neuen FÜK am Zeinigerviadukt)**

Abbildung 56: **Fertig eingehobene Fuge wird fixiert. Der Fly-Over wird anschliessend wieder "geschlossen"**

3.3.4.2 Vorteile der Konstruktion

- Mindestens ein Fahrstreifen steht immer zur Verfügung
- Aufgrund des Baukastensystems schnell montierbar und demontierbar
- Vergleichsweise leichte Konstruktion mit 200 Kg je Quadratmeter
- Geringe Umweltbelastung durch vielfache Wiederverwendbarkeit

3.3.4.3 Nachteile der Konstruktion

- Vergleichsweise hohe direkte Kosten und hoher Aufwand

3.3.5 *Austausch von TENSA-FLEX RC (Gleitfinger) durch GF – LEAN*

Bei dieser Variante besteht die Sanierungsidee darin, die verschlissenen TENSA-FLEX Fingerplatten auszubauen und die vorhandenen einbetonierten Ankerdübel/Innengewindehülsen wiederzuverwenden indem neue Fingerplatten nach dem System GF-LEAN an die gleiche Position eingebaut werden. Der Vorteil der GF-LEAN Fingerplatten besteht in der höheren Dauerhaftigkeit gegenüber der Elastomeroberfläche des TENSA-FLEX RC. Diese hat beispielsweise gegenüber Schneeräumfahrzeugen mit Stahlschild Nachteile bei der Abriebfestigkeit. Voraussetzung für die Anwendung der GF-LEAN Fingerplatten ist, dass die gleiche Lochanordnung wie bei der vorhandenen Fingerplatte hergestellt wird.

Abbildung 57: TENSA-FLEX RC

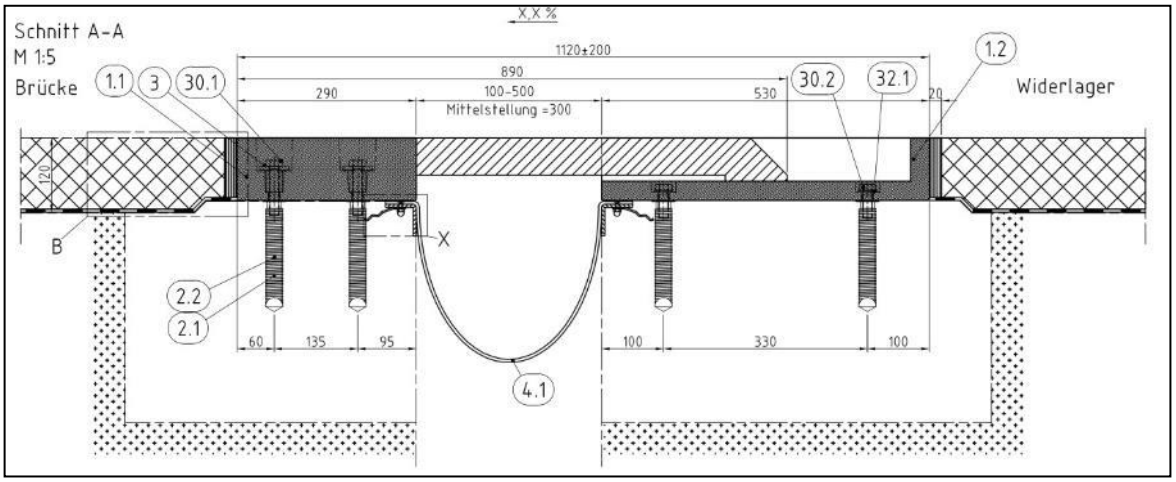


Abbildung 58: **TENSA-FLEX RC**

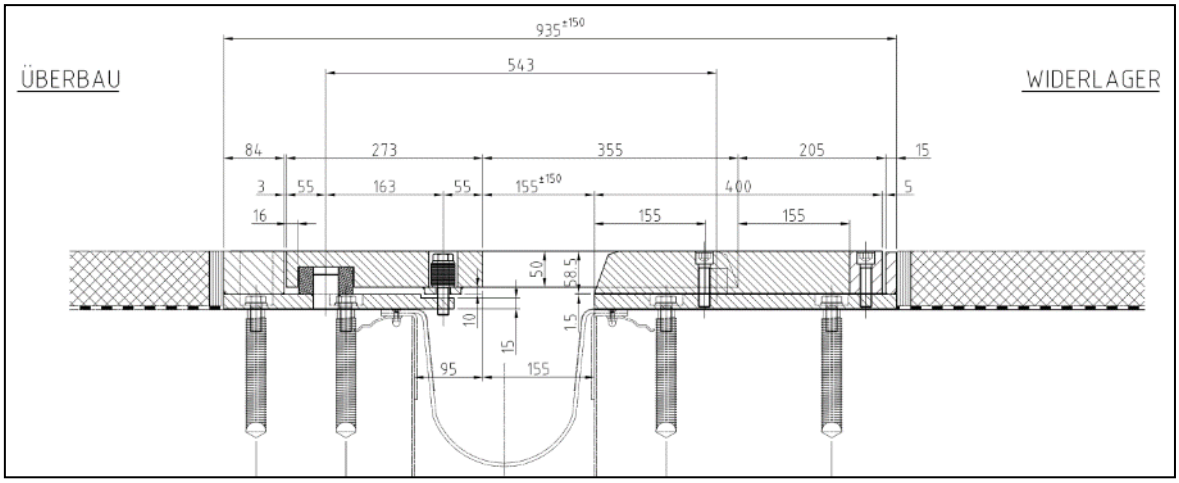


Abbildung 59: **Querschnitt des GF-LEAN mit gleicher Anordnung der Dübel wie beim TENSA-FLEX RC**

3.3.6 *Austausch von TENSA-FLEX RC (Gleitfinger) durch TENSA-FLEX (Gussfinger)*

Die TENSA-FLEX Gussfinger verfügen über die gleichen geometrischen Abmessungen, wie die TENSA-FLEX RC Finger. Aus diesem Grund eignen sie sich hervorragend, um verschlissene Fingerplatten dieses Typs durch neue robustere Stahlfinger zu ersetzen (die Dübel passen aufeinander). Vorteilhaft ist weiterhin, dass das ggf. noch brauchbare „Weibchen“ weiterverwendet werden kann, da die neuen Stahlfingerplatten mit diesen kompatibel sind.

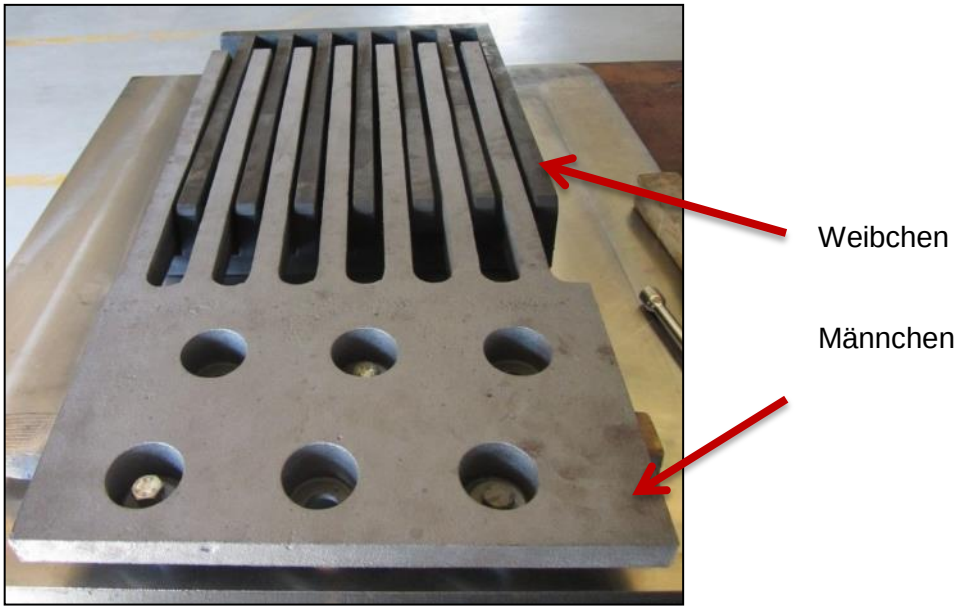


Abbildung 60: **TENSA-FLEX Gussfinger kann mit dem bestehenden Weibchen kombiniert werden**

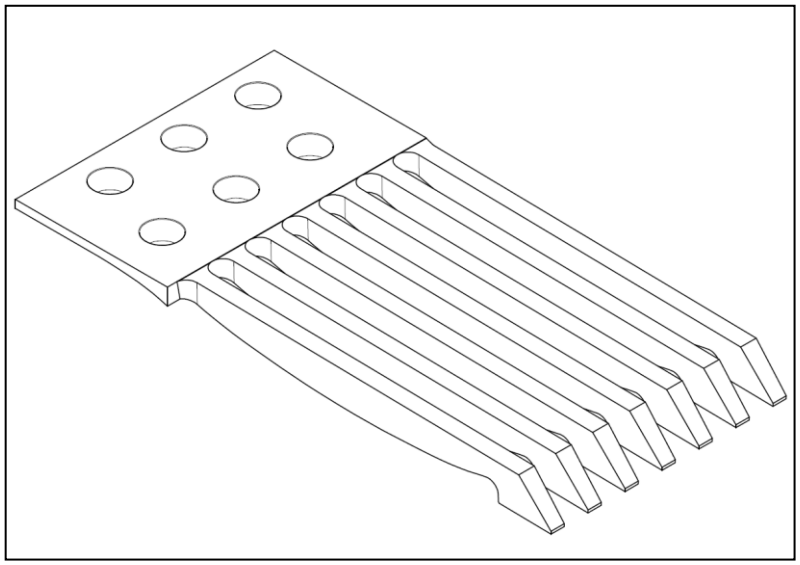


Abbildung 61: **TENSA-FLEX Gussfinger Männchen (Oberteil)**

3.3.7 *Umbau von Dehnmatten zu TENSA-GRIP TYP RS-LS „ULTRA“*

Dieses Verfahren wurde für die Instandsetzung von Fahrbahnübergängen mit Dehnungsmatten (ohne Stahleinfassung) entwickelt. Ein Problem dieser Konstruktion liegt im Bereich des Vergusses oberhalb der Verschraubungen. Infolge der Beanspruchungen aus Verkehr ist dieser zumeist nicht dauerhaft dicht gegenüber Feuchtigkeit. Sodass Schraubverbindungen häufig durch Korrosion geschädigt sind.

Die Unterkonstruktionen sind in den meisten Fällen nur geringfügig bis unbeschädigt. Aus diesem Grund können sie bei einer Sanierung häufig wiederverwendet werden und dienen bei dieser Methode als Verankerung für die neue Fuge.

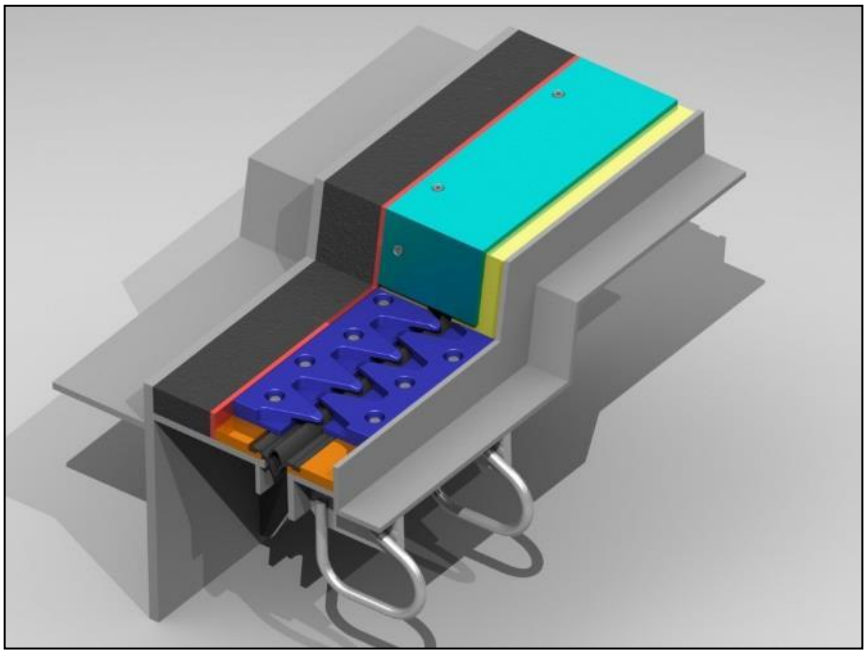
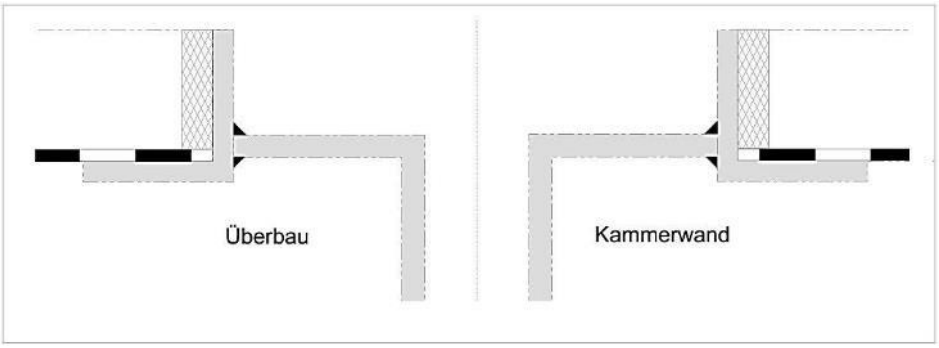
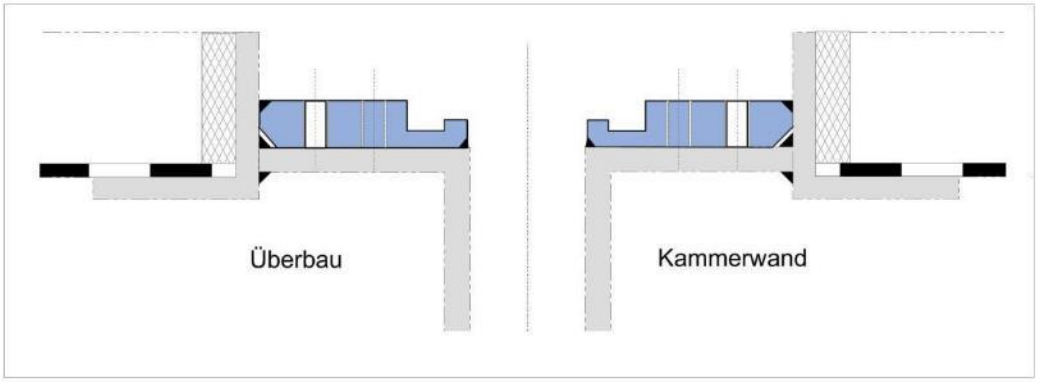


Abbildung 62: **TENSA-GRIP Typ RS-LS 100 „ULTRA“ Fahrbahnübergang**

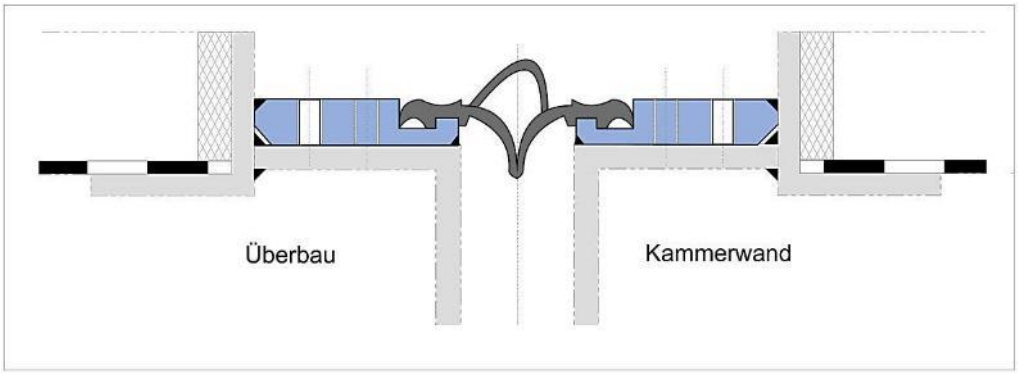
3.3.7.1 Ablauf der Umbaumassnahme



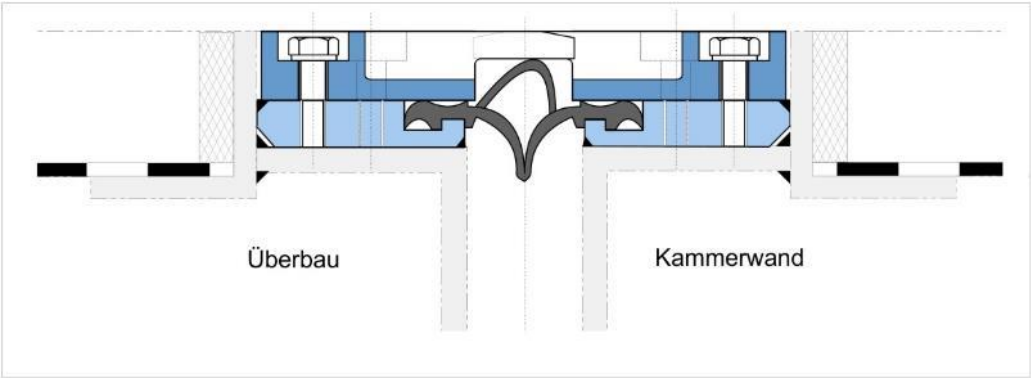
- Vergussmaterial und Dehnmatte werden ausgebaut
- Stahlrandkonstruktion wird für den Einbau der neuen Konstruktion vorbereitet (Sandstrahlen SA 2 ½)



- Richten der Grundplatten, bzw. Unterfüttern und Einschweissen in vorhandene Randkonstruktion
- Anpassen an den Fugenverlauf / Schrammbordverlauf
- Beschichtung der Kontaktflächen mit gleitfestem Alkali-Silikat Anstrich 40 my



- Einlegen des Dichtprofils, Fixierung und folgt der OK Fahrbahn

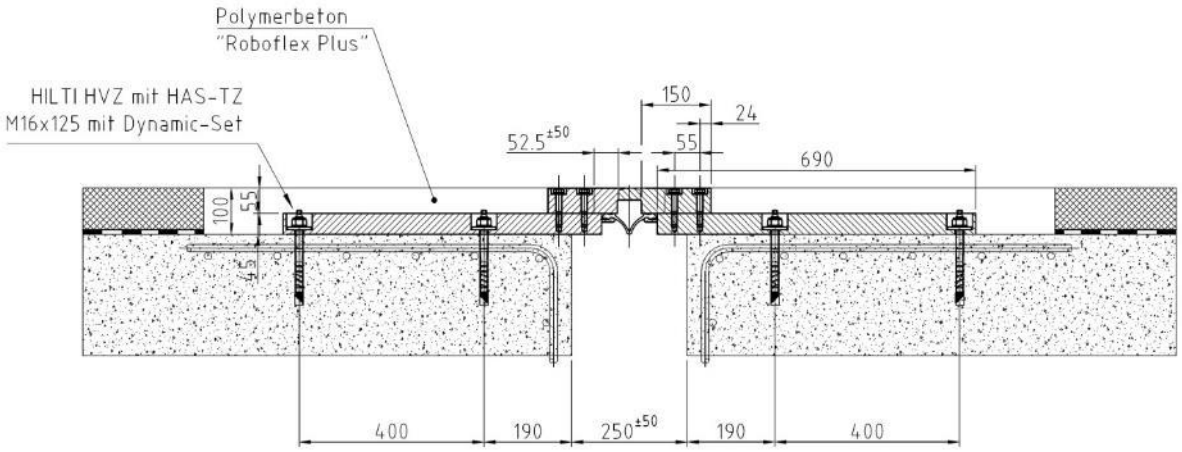


- Schraubverbindungen (HV-Schrauben) der Sinusplatten werden versetzt angeordnet

3.3.8 *Umbau von TENSA-FLEX-FÜK zu Einzelligen Fuge - verdübelt*

Dieses Verfahren wurde entwickelt um eine alternative Sanierungslösung von TENSA-FLEX Fahrbahnübergängen zu ermöglichen. Bei dieser Methode werden zunächst die bestehenden Fingerplatten, sowie die bestehende Unterkonstruktion herausgenommen. Anschliessend werden Stahlplatten als neue Unterkonstruktion auf den Bestandsbeton gedübelt. Die Anordnung der vorhandenen Dübel kann hierbei aus statischen Gründen nicht beibehalten werden. Ein neues Dichtprofil kann mithilfe von angeschweissten Nutklauen eingeknüpft werden. Auf die festgedübelten Stahlplatten werden anschliessend Sinusplatten aufgeschraubt, welche sich durch besondere Geräuschreduktion des überfahrenden Verkehrs auszeichnen.

Mithilfe eines speziellen Polymerbetons („Roboflex Plus“) kann das Höhenniveau zum bestehenden Asphalt wiederhergestellt werden.



3.3.8.1 Besonderheiten

- Für Brücken mit grossem Fugenspalt bei geringen Bewegungen anwendbar
- Keine Vergrösserung des Ausbruchs erforderlich
- Minimale bis keine Betonarbeiten erforderlich
- Mithilfe der gedübelten Konstruktion und des speziellen Polymerbetons vergleichsweise schneller Umbau möglich

3.3.9 *Reparaturen von unebenen Kontaktflächen zwischen Kragfingerplatten und Unterkonstruktionen mittels Diamant Multimetall MM1018*

Bei Diamant Multimetall (MM1018) handelt es sich um ist ein Metallpolymer zum vollflächigen
und kraftschlüssigen Ausgleichen bzw. Auffüllen von Ungenauigkeiten und Unebenheiten zwischen Metallelementen wie z.B. Fingerplatten, Kopfplatten, Brückenlagern, Kranbahn- und Schienenführungen sowie Stahlbauteilen. MM1018 ist anwendbar für Spaltgrößen bis 10 mm. Bei Spaltmaßen > 10 mm wird empfohlen Futterbleche aus Stahl einzulegen, um die maximale Spaltbreite auf unter 10 mm zu verringern.

Am Beispiel einer instandgesetzten Kragfingerkonstruktion soll aufgezeigt werden, wie Unebenheiten in der Kontaktfläche zwischen Fingerplatte und Unterkonstruktion am Fahrbahnübergang mittels DIAMANT Multimetall MM1018 korrigiert wurden und somit einer weiteren Schadensentstehungen vorgebeugt wird.

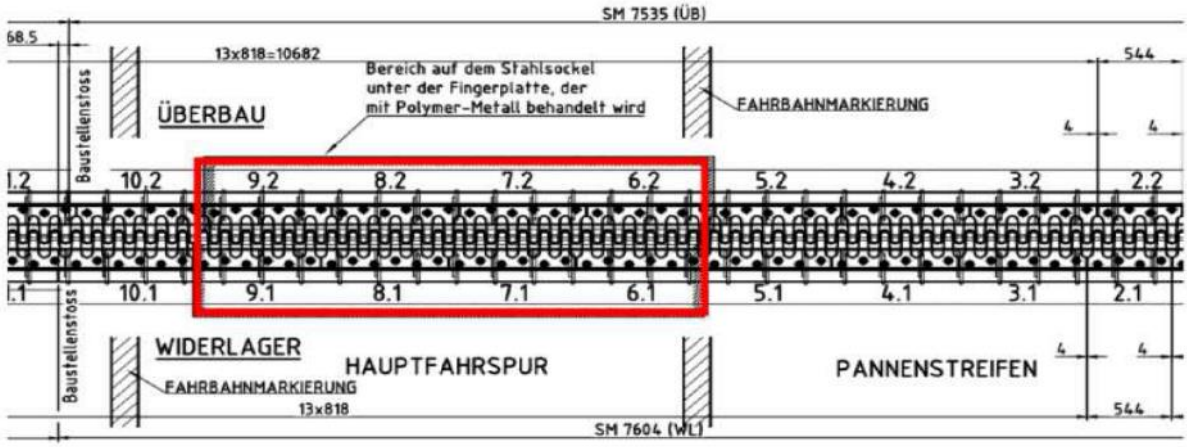


Abbildung 63: **Relevante Positionen für den Einsatz von Diamant Multimetall**

<u>Ablauf der Reparatur:</u>

- Lösen der Schrauben und anheben der Fingerplatten

- Reinigen und Entfernen von Rost, Schmutz und losem Anstrich auf der Unterkonstruktion mittels maschinellem Abschleifen mit Fächerscheibe/Topfbürste. Es ist darauf zu achten, dass die Oberfläche sauber, trocken und fettfrei ist.

- Unterkonstruktion mittels Druckluft reinigen
- Unterkonstruktion mittels *Diamant Reiniger* mit einem Lappen abwischen.
- Reinigen und Entfernen von Rost, Schmutz und losem Anstrich auf der Unterseite der Fingerplatten mittels maschinellem Abschleifen mit Fächerscheibe/Topfbürste. Es ist darauf zu achten, dass die Oberfläche sauber, trocken und fettfrei ist.

- Unterseite der Fingerplatten mittels Druckluft reinigen
- Unterseite der Fingerplatten mittels *Diamant Reiniger* und einem Lappen abwischen
- Unterseite der Fingerplatten mittels *Diamant Trennmittel* bestreichen um ein Verkleben der Fingerplatte an das *Diamant Multimetall MM1018* zu verhindern und einen problemlosen Austausch der Fingerplatten zu gewährleisten.

- Die vorab mit *Diamant Trennmittel* beschichteten Gewindestangen (M16x80) in die Unterkonstruktion eindrehen um das Eindringen von *Diamant Multimetall MM1018* in das Gewindeloch zu verhindern und ein späteres Herausdrehen der Gewindestangen zu gewährleisten.

- Groben Schmutz auf der Unterkonstruktion mittels Druckluft beseitigen.

- Diamant Multimetall MM1018 mit dem hierfür vorgesehenen Propellerrührer anmischen.

- Das angerührte Diamant Multimetall MM1018 in eine Kartusche umfüllen und mit einer Kartuschenpistole auf die gesäuberten und trockenen Stellen auftragen. Danach Auflegen der vorbereiteten Fingerplatte. Die Muttern gleichmässig so anziehen, dass die Fingerplatte richtig ausgerichtet ist und das überflüssige Material, welches zwischen den Fingern austritt, abziehen.

- Nach kurzer Aushärtephase (ca. ½ Std.) die Gewindestangen ausdrehen und die Bohrlöcher in den Fingerplatten reinigen, sodass keine Rückstände von Diamant MM1018 zurück bleiben.

- Neue Schrauben (M16x55) mit *Molykote BR2 Plus* einfetten und mit HV-Unterlagscheiben in die vorgesehenen Schraubenlöcher eindrehen und handfest anziehen.

3.4 Erstellung einer Bewertungsmatrix

Zusätzlich zur Auflistung und Beschreibung der im internationalen Markt üblichen Sanierungsverfahren in Arbeitspaket 3 galt es weiterhin eine objektive Matrix zu erstellen mit deren Hilfe die verschiedenen Instandsetzungsmassnahmen bewertet werden können. Für eine möglichst objektive Betrachtung der verschiedenen Sanierungsvarianten wurden differenzierte Kriterien (vergl. Tabelle 4) aufgestellt, hinsichtlich derer sie vergleichend betrachtet wurden.

Tabelle 4: Beschreibung der Vergleichswerte

Zeiten / Aufwand / Kosten - Ausgehend von 2 Bauabschnitten	
direkte Kosten:	Produktionskosten (Material, Lohn), Konstruktionskosten, Logistik, Montagekosten
indirekte Kosten:	Nebenleistungen (Ausgehend von 2 Bauabschnitten; 2 + 2 Sperrung); Ausfallzeiten sind nicht berücksichtigt
Flexibilität:	Anwendbarkeit der Konstruktion für unterschiedliche Sanierungsfälle, Fugentypen, unterschiedliche Bewegungskapazitäten, Anschlüsse
Bauzeiten:	Gesamte Bauzeit für Vorbereitung (inkl. Ausbau bestehender Teile) und Einbau der Fuge am Bauwerk
Montagezeit:	Reine Montagezeiten, ohne Vorbereitung (ausgehend von zwei Bauabschnitten; 2 + 2 Sperrung)
Vorbereitungszeit:	Projektvorbereitung, planerische Grundlagen, Entwicklungszeit

Verarbeitbarkeit/ Witterungsabhängigkeit:	Komplexität des Einbaus, Berücksichtigung äusserer Umstände, Empfindlichkeit (erf. Betonagen, Korrosionsschutz)
Einfluss auf Verkehr:	Dauer der Sperrzeiten, erforderliche Abschnittsbreiten (Vollsperrung/Teilsperrung), Nutzung von Fly-Over oder Mini-Fly Over möglich
Konstruktiver Aufwand:	technisch Komplexe Fugenkonstruktion (Menge der Bauteile, Anschlussdetails etc.), schwierige Einbausituationen
Produktionsaufwand:	Aufwand im Werk, Bauteildimensionen, erforderliche Schweissarbeiten, spezielle K-Schutz Anforderungen
Robustheit:	Verankerungsart (Dübel, Kopfbolzen, grosse Anker), "Massive"/"Leichte" Bauweise der Fuge, Stahl/ Kunststoffoberfläche

Beurteilung der Lösungsansätze in Hinsicht auf Wartung und Unterhalt

Es wurde eine Bewertungstabelle für die unterschiedlich betrachteten Sanierungsvarianten anhand der beschriebenen Projekte erstellt. In Tabelle 5 werden die typenbezogen verglichenen Sanierungsmöglichkeiten aus Arbeitspaket 3 zusammengefasst.

Tabelle 5: Typenbezogener Vergleich Sanierungsvarianten

Art der Sanierung	Kasten in Kasten [€/lfm]	Nutzung des alten Kastens [€/lfm]	Umbau Modulardehnfuge zu Fingerfuge Typ F [€/lfm] 100 - 300 mm / 300 - 600 mm		Umbau bestehender Randprofile als Träger für RS-Profile [€/lfm]	Umbau Modulardehnfuge zu Flexfuge, (Mini-Fly-Over) [€/lfm] 100 - 300 mm / 300 - 600 mm	Umbau RE-Fuge
direkte Kosten	1800 - 2800 /m Dichtprofil	1500- 2500 / m Dichtprofil	5000 – 6500	6000 - 7500	1200 - 1800	4000 – 6000 / 6000 - 9000	1500 - 3000
indirekte Kosten	10.000-15.000	10.000-15.000	n.a.		n.a.	25.000-35.000	n.a.
Flexibilität	++	0	++		++	+	+
Bauzeit	2-3 Wochen	6 Wochen	4 Wochen		2 Wochen	6 Wochen	1 Woche
Montagezeit /-aufwand pro Fuge	1 Woche	3-4 Wochen	2-3 Wochen		1,5 Wochen	6 Wochen	1 Woche
Vorbereitungszeit*) für den Einbau	0,5 Wochen	1 Woche	ab Best. 2 max. Monate		ab Best. max. 1 Monat	1 Woche	0,5 Wochen
Verarbeitbarkeit/ Witterungsabhängigkeit	+	+	+		+	+	0
Einfluss auf Verkehr	+	-	0		++	++	++
konstruktiver Aufwand (TB)	-	0	-		0	+	+
Produktionsaufwand	+	+	-		+	+	++
Robustheit	++	+	++		++	0	+

3.4.1 *Extraktion und Aufbereitung relevanter Detaillösungen*

Im Abschluss an den ersten Teil des Arbeitspakets 3 wurden einige Projekte vorgestellt, welche bisher nicht durchgeführt wurden, jedoch weitere Möglichkeiten für die Zukunft aufzeigen (vergl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Typenbezogener Vergleich Entwicklungsprojekte

Art der Sanierung	Austausch von Gleitfinger durch GF-lean [€/lfm] 200 / 500 / 800	Austausch von Gleitfinger RC durch Gussfinger [€/lfm] 200 / 500 / 800	Umbau Dehnmattenfuge zu RS-LS- "ULTRA" [€/lfm]	Umbau von TENSA-FLEX zu Einzellig - verdübelt [€/lfm]
direkte Kosten	7.500 / 10.000 / 12.500	4000 / 6000 / 8000	1000	600
indirekte Kosten	10000 - 15000	10000 - 15000	10000 - 15000	15000 - 20000
Flexibilität	-	-	+	+
Bauzeit	3 Wochen	2 Wochen	3 Wochen	2- 3 Wochen
Montagezeit /-aufwand	2 Wochen	1 Wochen	2 Wochen	1 - 2 Wochen
Vorbereitungszeit*) für den Einbau	++	++	+	0
Verarbeitbarkeit/ Witterungsabhängigkeit	+	+	0	+
Einfluss auf Verkehr	++	++	0	0
konstruktiver Aufwand (TB)	0	++	0	0
Produktionsaufwand	0	++	+	+
Robustheit	++	+	++	+

3.5 Schlussfolgerung AP 3:

Bei der Auswahl der zutreffenden Sanierungsmaßnahme sind insbesondere folgende Vorteile gegenüber einem Vollausbruch der Konstruktion zu beachten:

- Minimaler Eingriff in den Beton bzgl. Schädigungen beim Ausbau.
- Minimale Gefährdung von kritischen Einbauteilen (z.B. Spanngliedanker).
- Vermeidung Schwachstellen durch Beton-Arbeitsfuge (Alt- und Neubeton).
- Minimaler Eingriff in Bestandsstatik (keine oder nur geringe Änderung des Lastbildes). Somit vereinfachtes Prüfverfahren, da nur Ertüchtigung.
- Keine Aushärtezeiten Beton
- Keine Wartezeiten vor Aufbringen Versiegelung (Oberflächenrestfeuchte Beton).
- Minimierte Abdichtungs- und Asphaltarbeiten
- Verkürzte Sperrzeiten für den Verkehr

Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübergänge EVAF Ergebnisbericht AP4

Ein Projekt finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2011)

AutorInnen:

DI Dr. Simon Hoffmann

Auftraggeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Auftragnehmer:

MAGEBA GesmbH
Seglerweg 1
6972 Fußach

Universität für Bodenkultur Wien
Peter Jordan Str. 82
1190 Wien

AIT – Austrian Institute of Technology
Donau City Str. 1
1220 Wien

4.1 Kernpunkte für Randbedingungen

Im Zuge des Arbeitspakets 4 wurden Kernpunkte für Randbedingungen verschleißarmer FÜK herausgearbeitet, welche sich in den folgenden Punkten zusammenfassen lassen:

4.1.1 *Beschränkung der Einwirkung durch ausreichende Ebenheit*

4.1.1.1 Konsequente Umsetzung der Ebenheitsanforderungen

- Längs- und Querebenheit wirkt sich direkt auf Fahrkomfort, Sicherheit und Beanspruchungen aus.
- Bewertung erfolgt in Abschnitten von 0,5 m bis zu 50 m
- Linienförmige Betrachtung in Profilschnitten
- Berührende oder berührungslose Messverfahren

4.1.1.2 Einsatz von Stützrippen für dauerhafte Ebenheit

Stützrippen haben sich als wirkungsvolles Mittel erwiesen um dauerhaft einen ebenen Anschluss zum Fahrbahnübergang zu erreichen und gleichzeitig auf Überhöhungen im Anschluss des Fahrbahnüberganges zu verzichten. Ohne eine Verstärkung des Belages durch einen Randbalken oder durch Stützrippen ist eine solche Überhöhung zwingen, um den Verschleiss der Deckschicht im Belag (Spurrillen) über dessen Lebensdauer Rechnung zu tragen.

Abbildung 64: **Kragfingerfuge mit beidseitigem Einsatz von Stützrippen**

Der Einsatz der hier dargestellten Stützrippen wird bereits im Planungshandbuch Brücke – BAU in ausreichender und zweckmässiger Weise vorgeschrieben. Auch die beschriebene Orientierung und Länge der Stützrippen wird durch die Ergebnisse aus AP 2 gestützt und wird zur Aufrechterhaltung empfohlen.

Dokument-Nr. 800.300.1000	**Planungshandbuch Brücke - BAU** Technische Richtlinie	Version: 3.00 Freigabe

NR.	STICHWORT	GRUNDLAGE NR.	GRUNDLAGE BEZEICHNUNG	FESTLEGUNG - ERGÄNZUNG - ANMERKUNG
				- Generell sind 100 cm lange Stützrippen im bituminösen Belag unter 45° zur Fahrbahnachse aus Schwarzdeckenmörtel vorsehen. Siehe Regelplan Nr. RP BR-800.300.1540 und 1541.

ASFINAG Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft Seite 26 von 33

Neben dem Verschleiß der Deckschicht im Asphalt und Unebenheiten beim Einbau können andere Faktoren beim Einbau oder der Planung der Baumaßnahme das Ergebnis bzw. die Lebensdauer des eingebauten Fahrbahnüberganges erheblich beeinflussen. Hierzu sind im Folgenden zu nennen:

4.1.3 *Temporäre Abstützungen*

Modulardehnfugen können bei streifenweisem Einbau durch temporäre Traversen gehalten werden um die Tragfähigkeit während des Umbaus zu gewährleisten. Die Einrichtung der exakten Lage der Lamellen mithilfe der Abstützung kann genutzt werden um die Dauerhaftigkeit an den Schweissstellen sicherzustellen.

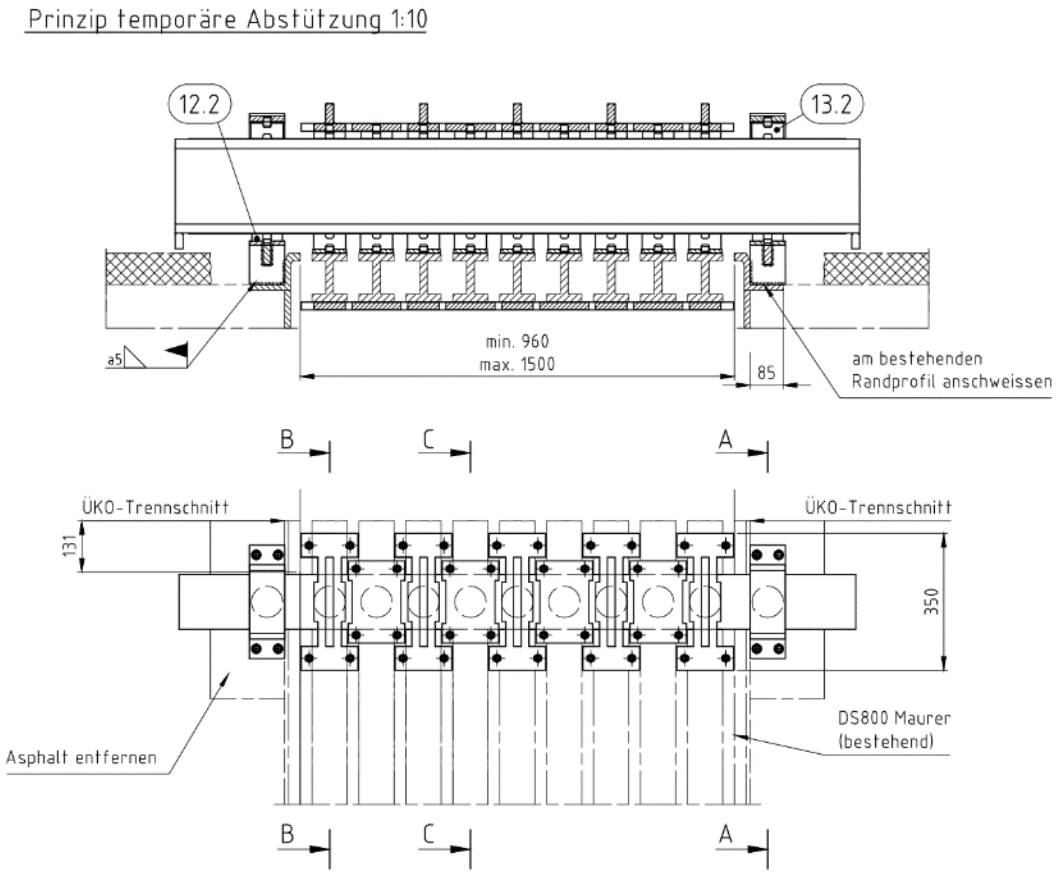


Abbildung 65: Temporäre Abstützung von etappenweise eingebauten Modulardehnfugen

4.1.4 *Fingerplattenschnitte bei Etappenstössen*

An Stossstellen kommt es häufig vor, dass die Anordnung von Standartplatten unmöglich ist, da das Stossmass genau festgelegt ist. In diesen Bereichen müssen häufig gekürzte (oder verlängerte) Fingerplatten eingesetzt werden.

Fingerplatten mit zu wenig Schrauben sind jedoch stark ermüdungsgefährdet. Um die Gefahr ausfallender Platten zu minimieren sollten die Schnitte so gewählt werden, dass die statisch erforderliche Mindestanzahl an Schraube vorhanden sind. Weiterhin sollten verkürzte Platten nach Möglichkeit immer in gering belasteten Fahrbahnbereich angeordnet werden. Deshalb ist bei der Konstruktion und Montage darauf zu achten, dass ab Stossstellen zunächst Standartplatten gesetzt werden.

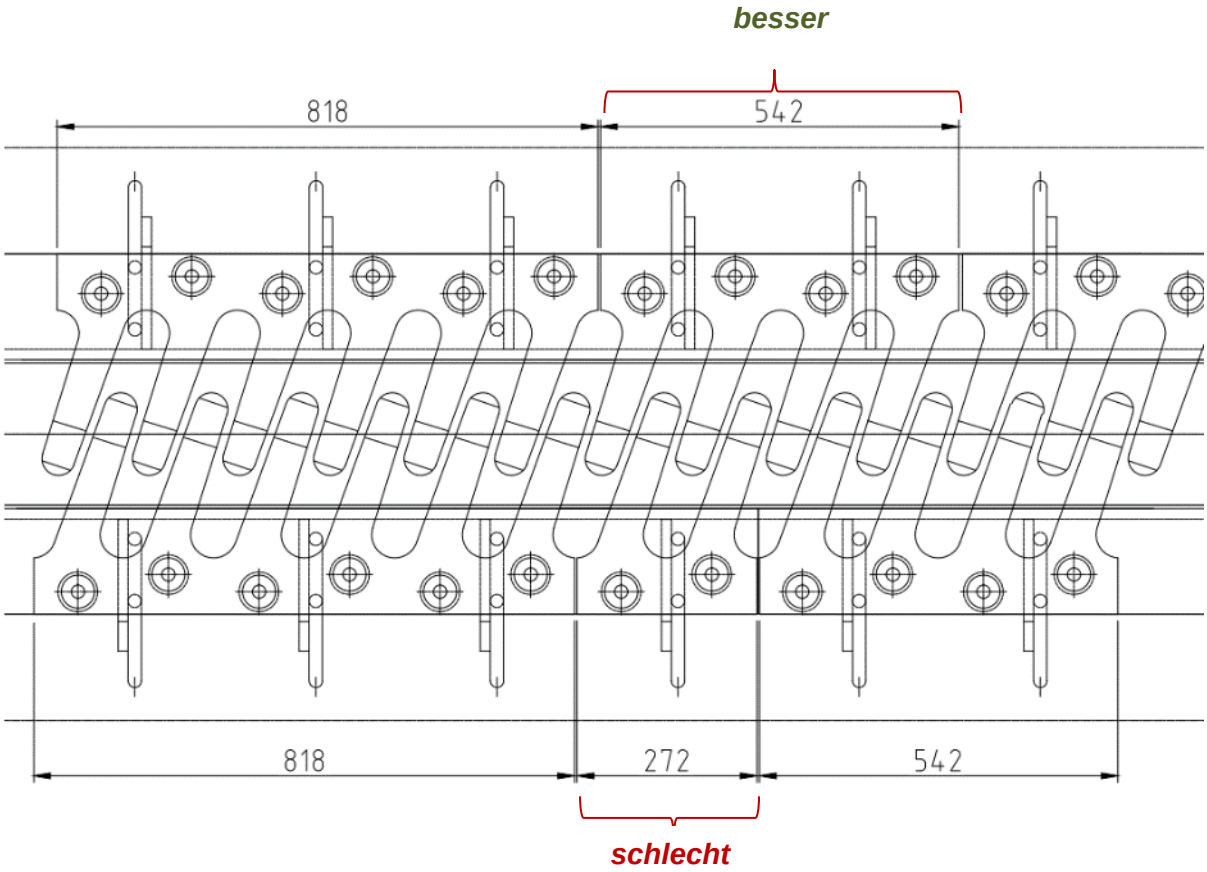


Abbildung 66: **Kleine Fingerplatten mit zu wenig Schrauben vermeiden**

4.1.5 *Vermeidung von Stossübergreifenden Fingerplatten*

Durchgehende Unterkonstruktionen von FÜK sollten an den Etappenstössen zusammengeschweisst werden um die Steifigkeit und Robustheit des Gesamtsystems zu erhöhen. Werden Fingerplatten stossübergreifend angeordnet, kann das Zusammenschweissen ggf. verhindert werden. Zusätzlich muss die Ebenheit beider Unterkonstruktionsteile exakt gewährleistet werden. Deshalb sollte auf diese Anordnung von Fingerplatten verzichtet werden.

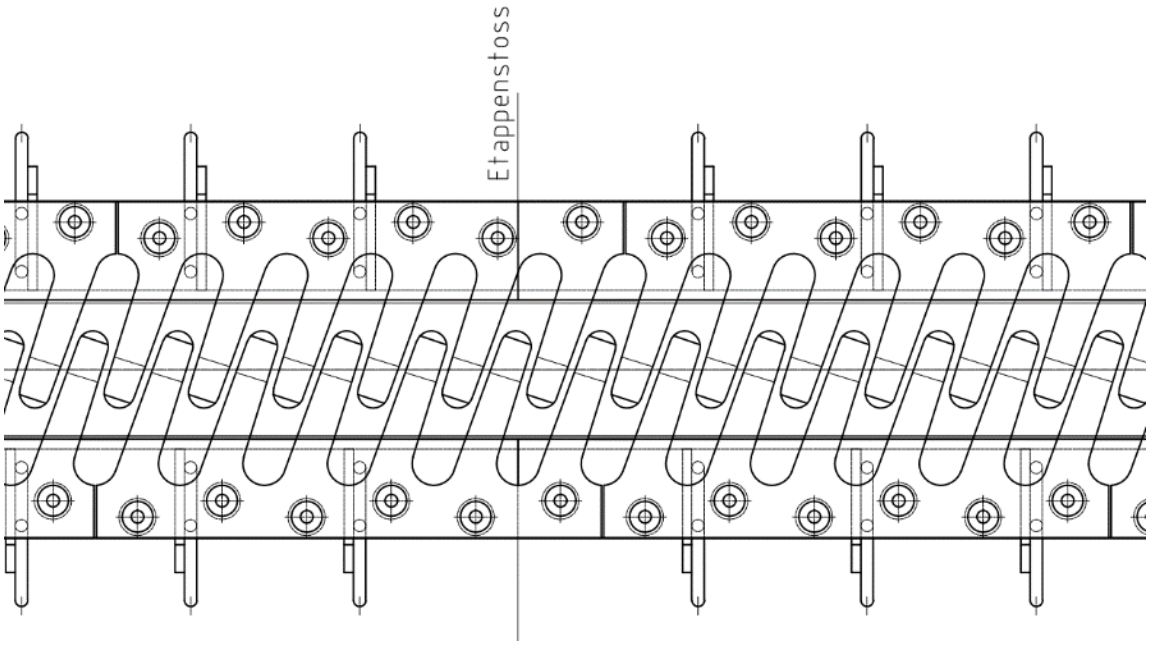


Abbildung 67: **Stossübergreifende Fingerplatten sollten vermieden werden**

4.1.1.4 Abschnittsweisen Einbau vermeiden

Ein Großteil der heute im Brückenbau getätigten Investitionen betrifft nicht den Neubau von Brücken, sondern deren Erhalt und Instandsetzung – siehe auch AP 3. Die Besonderheit dieser Massnahmen ist, dass dem bereits bestehenden Verkehrsweg Rechnung getragen werden muss und der darüber laufende Verkehr in der Regel (wenn auch eingeschränkt) aufrecht gehalten werden muss. Insbesondere im Zuge von Sanierungen von Fahrbahnübergängen ist es hierzu oft nur möglich einen Teil der Brückenbreite für den Verkehr zu Sperren. Somit muss auch der neue Fahrbahnübergang in Teilstücken eingebaut werden, wodurch es unvermeidlich zu einem abschnittsweisen Einbau des Fahrbahnüberganges kommt. Dem Anschluss der einzelnen Abschnitte unter einander kommt dabei eine besondere Bedeutung zu und ist mit besonderer Aufmerksamkeit zu planen und auszuführen. Vorzugsweise kann in einem Stück ohne Abschnitte eingebaut werden.

Abbildung 68: **Abschnittweiser Einbau häufig dann nicht zu umgehen, wenn die Fugen besonders lang sind oder Sperrzeiten nicht einzurichten**

4.1.1.5 Ausreichende Bauzeiten (Zeit zum Betonerhärten) gewährleisten

Im Zuge der beschriebenen Sanierungen wird oftmals eine minimale Bauzeit angestrebt um die Beeinträchtigung des Verkehrs zumindest so kurz wie möglich zu halten. Insbesondre unvermeidliche Stillstandszeiten für das Abtrocknen- Aushärten oder ähnlicher Prozesse sind dem Verkehrsteilnehmer oftmals kaum zu vermitteln. Dennoch sind Einschränkungen für diese Prozesse und unzulässige Verkürzungen nicht akzeptabel, da diese zu nachhaltigen und oftmals kaum zu revidierenden Mängel führen. Eine ausreichende Bauzeit ist somit für die Qualität des Eingebauten Fahrbahnüberganges und dessen Lebensdauer von besonderer Bedeutung und zu gewährleisten.

Abbildung 69: **Betonabplatzungen am Übergang zur FÜK – mögliche Ursache sind zu kurze Aushärtezeiten**

4.1.6 *Anschlüsse und Bereiche für Baustellenstoss klar definieren*

Der Festlegung und Ausführung im Anschluss der einzelnen Abschnitte im Zuge von abschnittsweisen Einbauten kommt besondere Bedeutung zu. Hierzu werden die folgenden Punkte aufgeführt:

4.1.1.6 Definition des Überlappungsbereiches der Bauwerksabdichtung

In AP 1 konnte klar aufgezeigt werden, dass Umläufigkeiten von Fahrbahnübergängen ein vielfach verbreitetes Problem darstellen. Diese ergaben sich insbesondere im Zuge von abschnittsweisen Einbauten von Fahrbahnübergängen, wie dieses bei Sanierung zumeist erforderlich wird. Auch der Anschluss der neuen Brückenabdichtung an die bestehende Brückenabdichtung bedarf besondere Beachtung und Aufmerksamkeit. Hier wird empfohlen

dezidierte Vorgehensweisen festzuschreiben und durchzusetzen. Als Beispiel ist hier die Vorgabe aus der Deutschen ZTV-ING aufgezeigt.

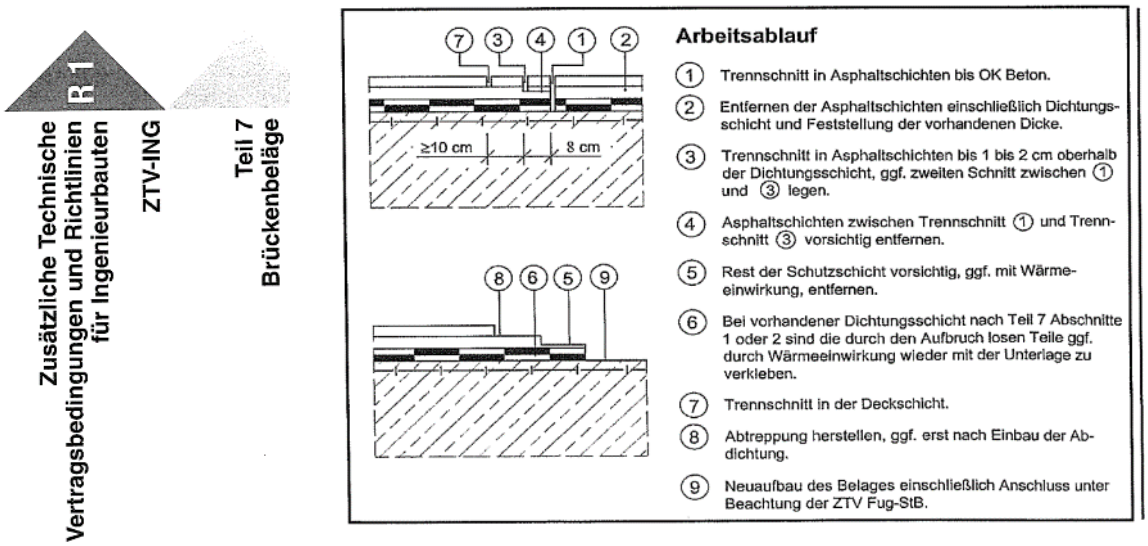


Abbildung 70: **Anschluss an einen vorhandenen Brückenbelag bei Teilerneuerung**

4.1.1.7 Bereich für Baustellenstoss nicht zu eng fassen

Auch innerhalb des Fahrbahnüberganges stellen die Stösse im Zuge eines abschnittsweisen Einbaus eine besondere Herausforderung dar. Diese lassen sich zumeist nicht in allen Bereichen des Fahrbahnüberganges sinnvoll bzw. optimal ausführen. Somit bedarf es bei der Festlegung von Bauabschnitten einer gewissen Freiheit solche Stösse zu platzieren. Ggf. sind die Positionen des Baustellenstosses auch im Zuge der Planung der Massnahem mit dem spezifischen Hersteller des Fahrbahnüberganges auch abzustimmen und zu definieren.

4.2 Kernpunkte für die Ausgestaltung verschleißarmer FÜK

Im Zuge des Arbeitspakets 4 wurden Kernpunkte für die Ausgestaltung verschleißarmer FÜK herausgearbeitet, welche sich in den folgenden Punkten zusammenfassen lassen:

4.2.1 *Erfassen des komplexen Systemverhaltens über Bauteilversuche*

Bei Fahrbahnübergängen handelt es sich zumeist um sehr komplexe Systeme mit einer Vielzahl von beweglichen Teilen. Anhand von theoretischen Überlegungen bzw. Nachweisen

oder auch Simulationen kann deren Verhalten nur teilweise erfasst werden. Somit werden Bauteilversuche an vollständigen Systemen als unersetzlich betrachtet um das in der Praxis und vor allem unter sehr langem Einsatz zu erwartende Verhalten abbilden und analysieren zu können. Hier werden die folgenden Punkte vorgeschlagen:

4.2.1.1 Testen kompletter Systeme von Fahrbahnübergängen

Wichtig erscheint es das komplette System Fahrbahnübergang abzubilden und dessen Einwirkung auf das Bauwerk mit abzubilden. Hierzu bieten sich zum Beispiel Versuche inkl. der kompletten Verankerung an, wie hier dargestellt.

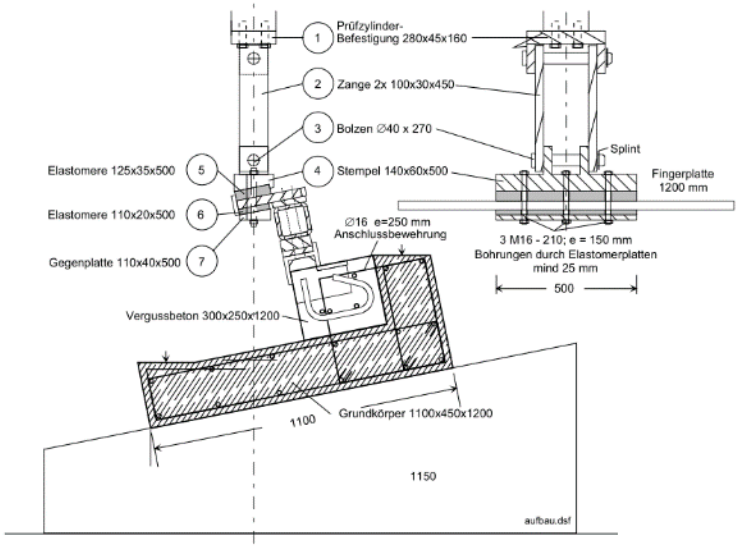


Abbildung 71: **Dynamische Traglast-/Ermüdungsversuche an der Universität Innsbruck**

4.2.1.2 Berücksichtigung aller Komponenten

Insbesondere im Zuge von Ermüdungsversuchen, die wesentliche Aussagen zum Verschleiss und zur Lebensdauer einer Fahrbahnüberganges erlauben ist es erforderlich alle im Fahrbahnübergang verwendeten Komponenten abzubilden. Dem Versuchsaufbau geschuldete Vereinfachung und das Ersetzen von Komponenten sollte so weit als möglich vermieden werde. Im folgend dargestellt ist ein Ermüdungsversuch, welcher an vollständigen Modulardehnfugen über je 6 Millionen Lastwechsel vollzogen wurde. Zum Zweck einer ausreichenden Statistischen Absicherung wurden insgesamt 13 dieser vollständigen Fahrbahnübergänge erfolgreich geprüft.

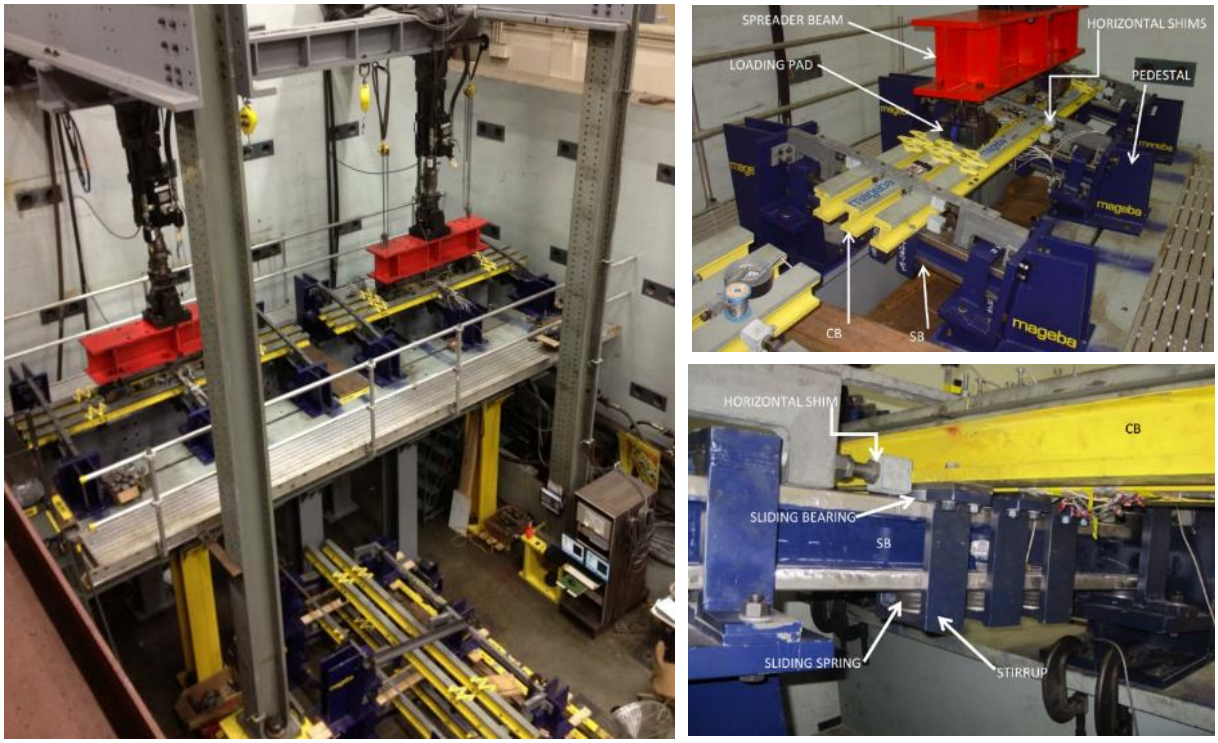


Abbildung 72: **Dynamischer Betriebsfestigkeitsversuch an der Universität Lehigh**

4.2.2 *Konsequente Umsetzung der Forderungen der EN 1090*

Mit der Einführung der EN 1090 in Europa und Bezugnahme auf diese Norm in der Europäischen Zulassungsrichtlinie für Fahrbahnübergänge ETAG 032 werden Anforderungen an Fahrbahnübergänge und insbesondere deren Ausführung gestellt. Ergänzt werden diese Anforderungen durch die derzeit in der Erstellung befindlichen ÖNorm B 4031. Durch die konsequente Anwendung der EN 1090 ergeben sich für Fahrbahnübergänge einige Änderungen gegenüber derzeit am Markt befindlichen Konstruktionen auf die im Folgenden eingegangen werden soll.

4.2.2.1 Schrauben und Scheiben für GV Verbindungen nur nach EN 14399

Nahezu alle für die Lebensdauer maßgeblichen Schraubverbindungen an Fahrbahnübergänge können als dynamisch belastet betrachtet werden und unterliegen zumeist sowohl eine Schub, als auch einer Zugbelastung. EN 1993-1-8 in Kombination mit EN 1090 sieht für solch belastet Schraubverbindungen ausschließlich planmäßig

vorgespannte gleitfeste Verbindungen nach EN 14399 vor, wie dem folgend Auszug entnommen werden kann.

5.6.4 Garnituren für planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen

Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen umfassen das System HR, das System HV, HRC-Schrauben. Sie müssen den Anforderungen von EN 14399-1 und der zutreffenden Europäischen Norm nach Tabelle 7 entsprechen.

Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern und gegebenenfalls Oberflächenbehandlungszustände müssen zusammen mit allen erforderlichen Auswahlmöglichkeiten festgelegt werden, die durch die Produktnorm zugelassen sind.

Tabelle 7 — Produktnormen für Garnituren für hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen

Schrauben und Muttern	Scheiben
EN 14399-3 EN 14399-4 EN 14399-7 EN 14399-8 prEN 14399-10	EN 14399-5 EN 14399-6

Schrauben aus nichtrostendem Stahl dürfen nicht in planmäßig vorgespannten Anwendungen eingesetzt werden, sofern nichts anderes festgelegt wird. Wenn sie eingesetzt werden, dann müssen sie als besondere Verbindungsmittel behandelt werden.

Darüber hinaus sind diese Schraubverbindungen nach EN 14399 ausschließlich in der Verwendung mit Muttern geregelt. Die hier dargestellte Konstruktion mit in geschnittene Gewinde eingebrachte Schrauben ist somit nicht zulässig.

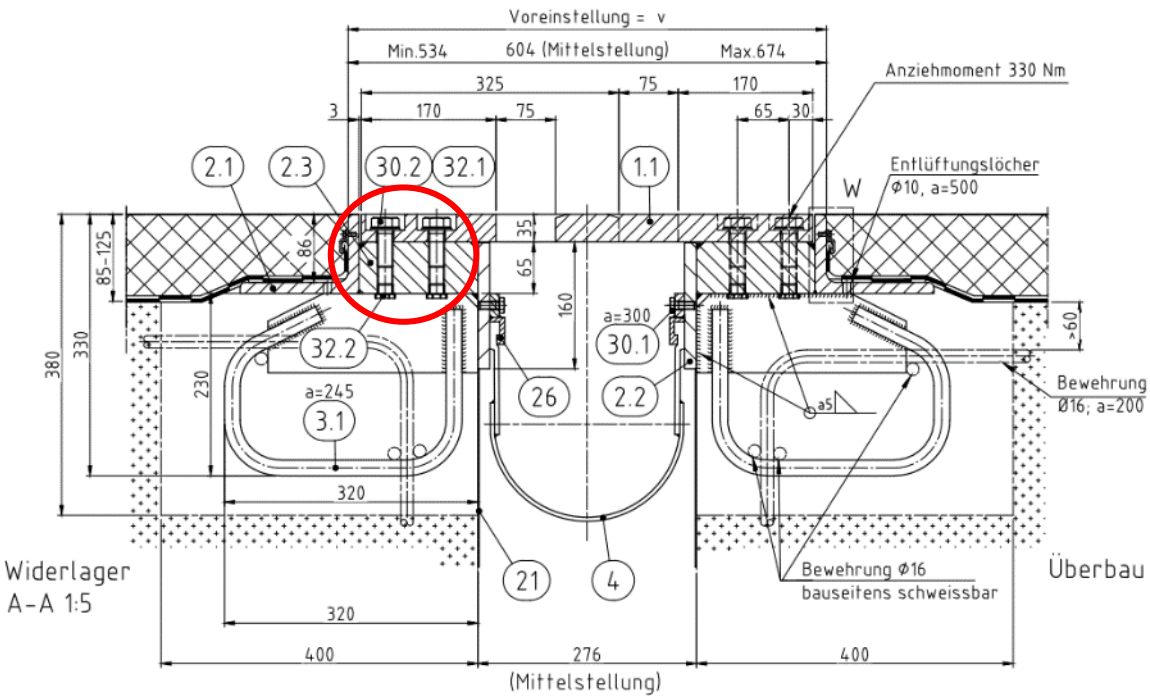


Abbildung 73: **Querschnitt einer Kragfingerfuge bei der die Forderungen nach der EN 1090 noch nicht implementiert waren**

Des Weiteren ist den relevanten Normen im Zuge der EN 1993-1-8 und EN 1090 zu entnehmen, dass Schrauben nach EN 14399 nur als Satz – sprich als Schraube mit zugehöriger Mutter – verwendet werden dürfen.

Eine weitere Vorgabe ist das Anziehen der Schraubengarnitur über die Mutter. Wenn jedoch kopfseitiges Anziehen der Schraubengarnitur erfolgt, muss die Kalibrierung nach Anhang H (nach DIN EN 1090-2) oder durch ergänzende Prüfungen durch den Verbindungsmittelhersteller nach EN 14399-2 durchgeführt werden.

Eine besondere Konstruktive Herausforderung stellt sich aus der Vorgabe, dass die einmal vorgespannte Verbindung aus Schraube und Mutter nur durch einen neuen Satz ersetzt werden darf. Dieses kann nur gelingen, wenn die Mutter auch nach dem Einbau des Fahrbahnüberganges zugänglich und für einen Austausch erreichbar ist. Andernfalls wäre beispielsweise ein Lösen der Fingerplatten für Inspektions- oder lokale Reparaturmassnahmen nicht zulässig. Im Folgenden wird eine bereits in der Praxis bewährte Lösung gezeigt, die die Möglichkeit zum Wechsel der Muttern durch eine zusätzliche „Schublade vorsieht.

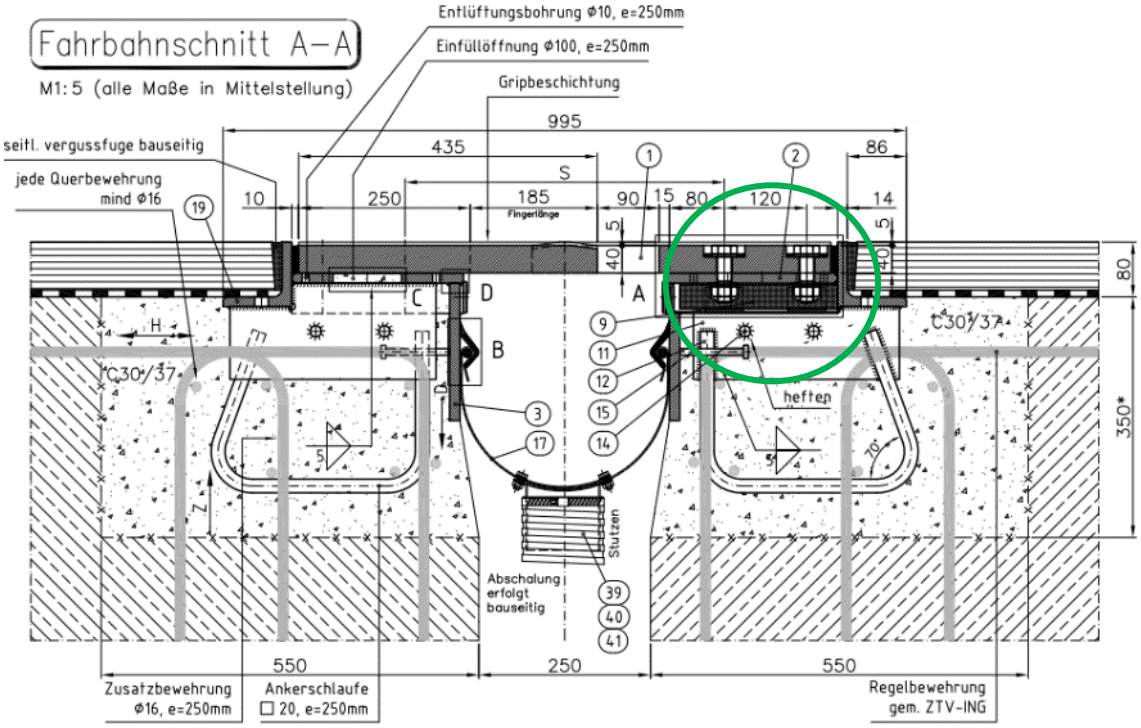


Abbildung 74: **Querschnitt Kragfingerfuge – die Forderungen nach der EN 1090 werden erfüllt**

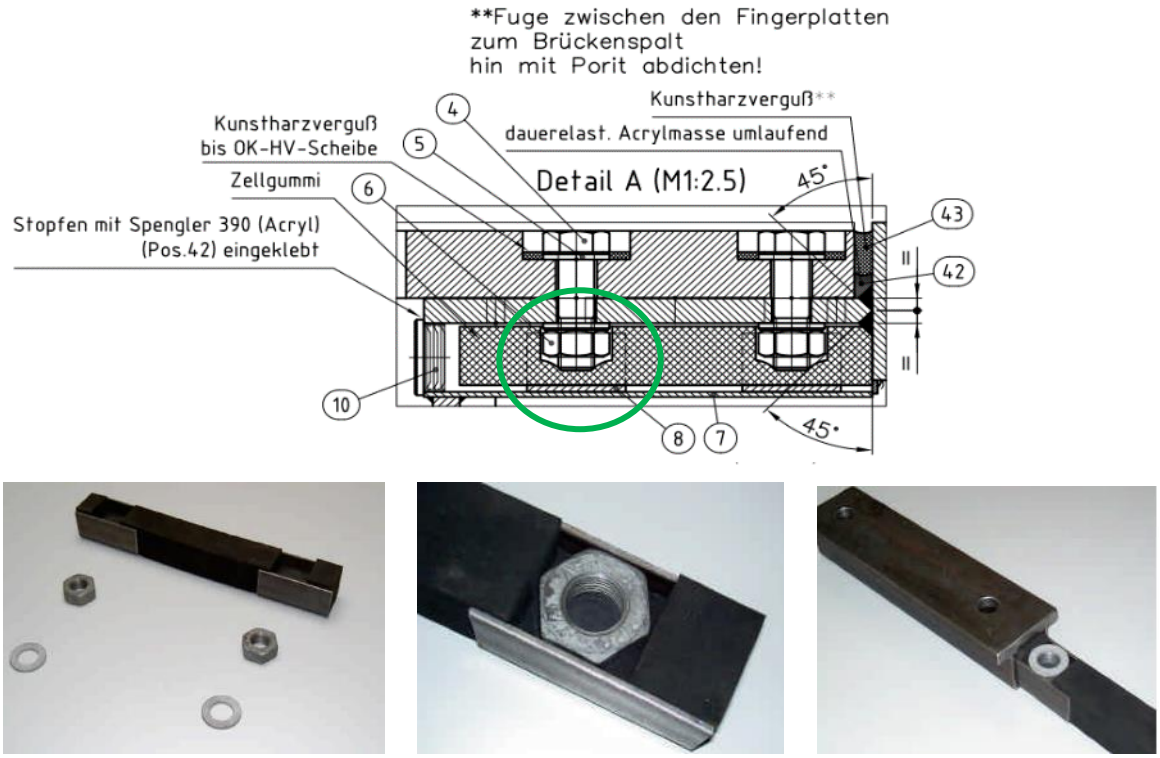


Abbildung 75: **Bauteile des Schraubenkanals – Vergleichbar mit einer Schublade können die Muttern - durch Elastomere in Position gehalten – eingeschoben werden und sind somit austauschbar**

Im Falle eines im Loch gebrochenen Schraubenschaftes muss der in der Mutter verbliebene Schaftrest durch Bohren und gegenläufiges Schneiden eines Gewindes aus der Mutter herausgedreht werden. Von Vorteil ist auch hier der bestehende Schraubenkanal, welcher ein Mitdrehen der Mutter unterbindet). Für beschädigte Gewinde von hochbelasteten Verbindungen gibt es weiterhin Einsätze (u.a. HELICOIL® www.boellhoff.de) welche mittels Drahteinsatz das bestehende Gewinde ersetzen und somit wieder nutzbar machen.

Eine weitere ebenfalls bewährte Lösung ergibt sich aus dem Folgenden Beispiel, welches einen Kanal zu Bauwerksspalt bereitstellt. Dieser ist mit Korrosionsschutzmasse ausgefüllt, welche zum Wechseln der Mutter entfernt werden kann.

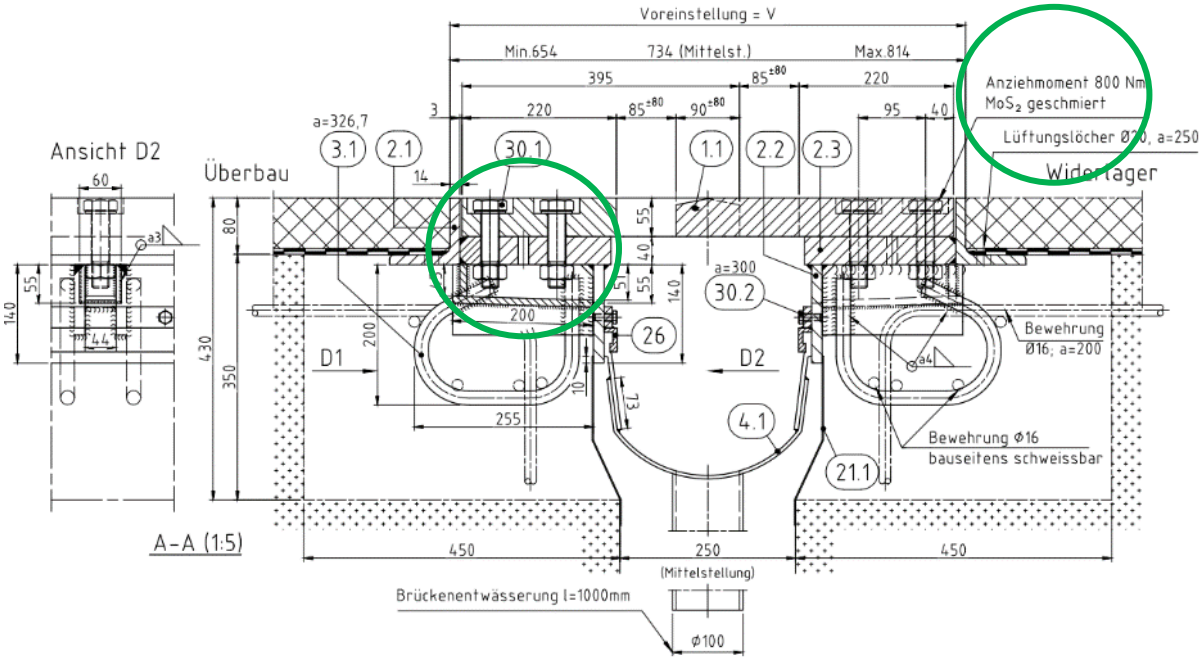


Abbildung 76: **System "Mutterkanal" - Auch bei diesem System sind die Schrauben und Muttern vollständig austauschbar**

4.2.2.2 Ebenheitsanforderungen im Stahl/Stahl Kontakt für GV Verbindungen

Neben den Details zu den zulässigen Schraubverbindungen bzw. deren Ausführungsdetails konnte in den AP 1 bis 3 aufgezeigt werden, dass der Ebenheit von mit einander verbundenen Bauteilen von Fahrbahnübergängen besondere Bedeutung zukommt.
Auch hierzu finden sich in der EN 1090 klare Vorgaben für die allgemeine Ausführung solcher mechanischer Verbindungen.

8 Mechanische Verbindungsmittel

8.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt behandelt Anforderungen für in der Werkstatt und auf der Baustelle ausgeführte Befestigungen, einschließlich der Befestigung dünnwandiger Profilbleche.

Sind separate Bauteile Bestandteil der gleichen Lage, darf der Dickenunterschied zwischen ihnen nicht größer als D sein, wobei D im Allgemeinen 2 mm beträgt und 1 mm bei planmäßig vorgespannten Anwendungen, siehe Bild 3. Werden Futterbleche aus Stahl zum Ausgleichen angeordnet, dürfen diese nicht dünner als 2 mm sein.

In korrosiver Umgebung können zur Vermeidung von Spaltkorrosion geringere Spaltmaße erforderlich sein.

Die Blechdicke muss so gewählt werden, dass die Anzahl der Futterbleche auf maximal drei begrenzt ist.

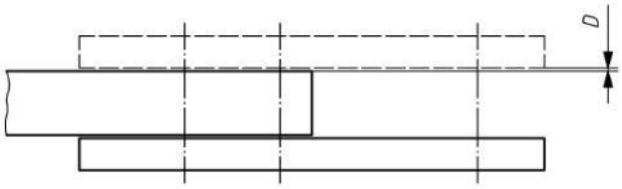
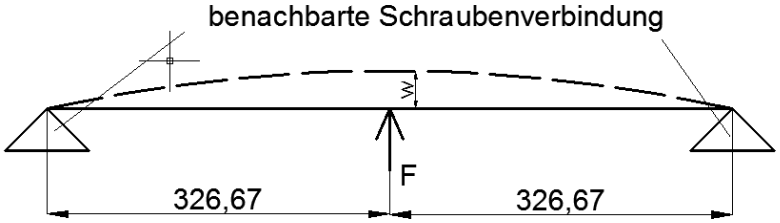


Abbildung 77: **Vorgaben nach der EN 1090 - Dickenunterschied von Bauteilen in der gleichen Lage**

Folglich ergibt sich eine maximal zulässige Abweichung in der Anschmiegung zweier zu verbindender Bauteile von 1 mm. Es ist festzustellen, dass diese Abweichung für viele im Betrieb befindliche Fahrbahnübergänge vermutlich überschritten wird. Im Folgenden wurden die Auswirkungen solcher Abweichungen auf verschiedene statische und dynamische Details von Kragfingerfahrbahnübergängen analysier, da für diesen Typ besondere Bedeutung unterstellt wurde.

4.2.2.3 Unebenheit der Unterkonstruktion

Für die Unebenheit der Unterkonstruktion wurde zunächst auf der sicheren Seite liegend ein einfacher Einfeldträger betrachtet mit den hier dargestellten Abmessungen betrachtet.



Dieser beispielhaften Berechnung für einen typischen Kragfingerfahrbahnübergang kann entnommen werden, dass es ab einem Hohlliegen der Fingerplatte von 1,5 mm bereits zu kritischen Ermüdungslasten kommt.

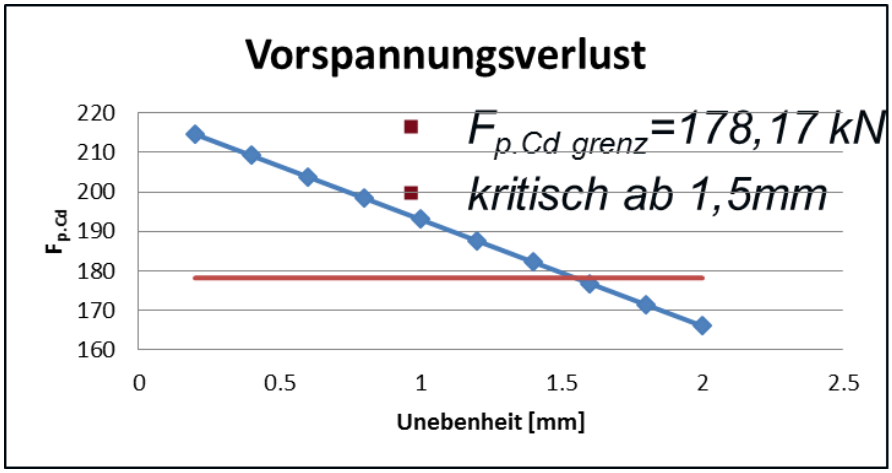


Abbildung 78: **Darstellung zum Vorspannkraftverlust infolge von Unebenheiten abhängig von Höhe der Unebenheit**

Zusätzlich ist ein weiterer Verlust der Vorspannkraft zu erwarten, der zusätzlich Tragreserven verringert. Den Vorgaben der EN 1090 sollte somit zwingend für die Ebenheit der Unterkonstruktion Beachtung geschenkt werden. Zusätzlich gilt es zu beachten, dass auch die Fingerplatte nur begrenzte Ebenheit hat und ein zusätzliches Hohlliegen erzeugen kann.

4.2.2.4 Hohlstellen zwischen Fingerplatte und Unterkonstruktion

Neben dem Hohlliegen der Fingerplatte auf der Unterkonstruktion entlang dieser kann es auch zu Hohlstellen bzw. Hohlliegen in Fingerrichtung kommen. Es ergibt sich hierzu das hier dargestellt vereinfachte statische System.

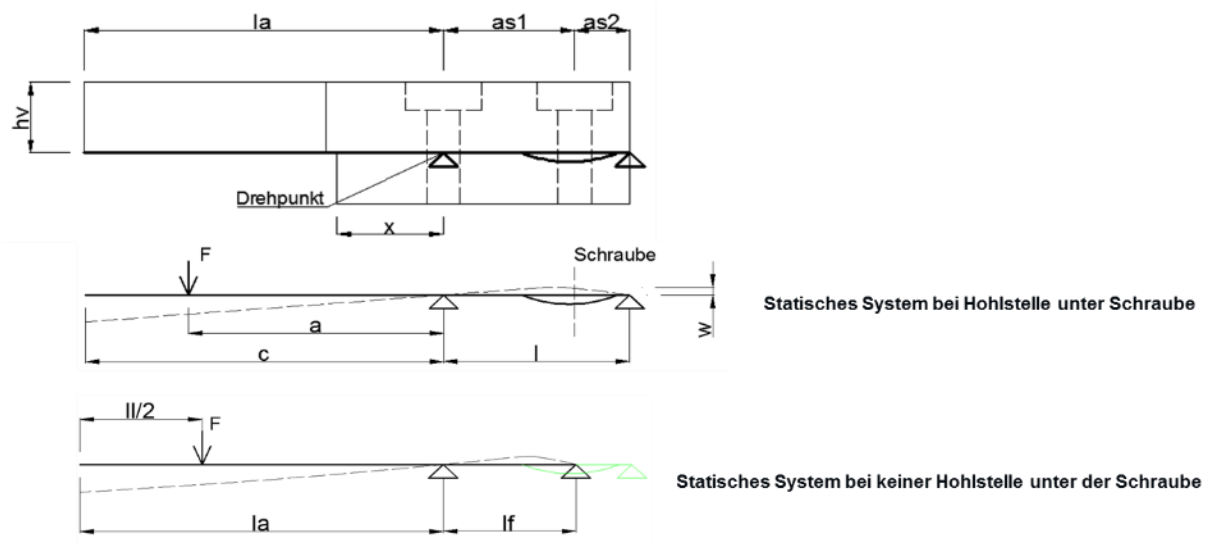


Abbildung 79: **Hohlstellen unter Fingerplatten beeinflussen das statische System negativ**

Durch die Hohlstellen kann sich eine erhebliche Änderung des Statischen Systems einstellen. Abhängig von der Grösse bzw. der Bewegungskapazität des Fahrbahnüberganges kann dieses zu mehr als doppelt so hohen Dehnungen und somit Spannungen in der Schraube führen, wie hier dargestellt.

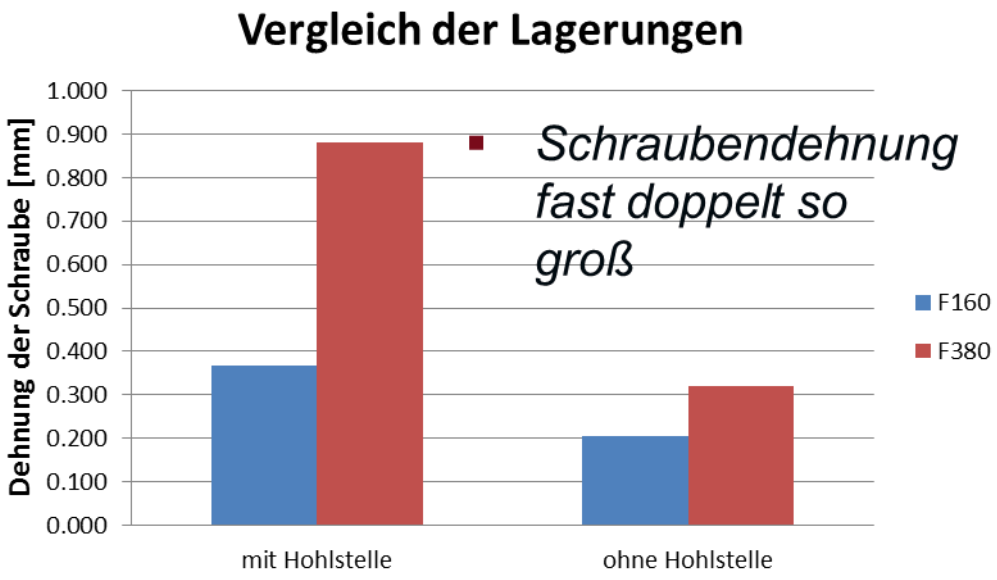
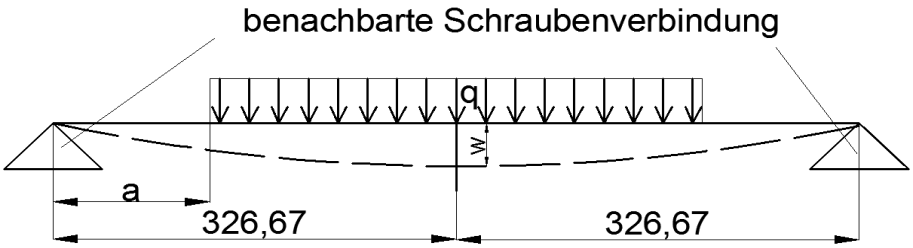


Abbildung 80: **Vergleichsdarstellung der Schraubendehnung zweier Fingerplatten mit und ohne vorhandene Hohlstelle**

Auch durch den Einbau des Fahrbahnüberganges selber können sich Hohlstellen in der Unterkonstruktion oder unterhalb dieser ergeben. Durch diese Hohlstellen ergibt sich das hier dargestellte vereinfachte Einfeldträgersystem.



Vergleichbar dem bereits unter 4.3.1.5 diskutierten Phänomen ergibt sich wiederum ein Vorspannverlust. Dem folgenden Diagramm kann entnommen werden, dass sich dieses für unterschiedliche Grössen bzw. Bewegungskapazitäten von Fahrbahnübergängen unterschiedlich auswirkt. Für die beispielhaft betrachteten Typen ergeben sich dabei folgende Dicken der Fingerplatten und zugehörige Grenzwerte für die Hohlstellen bzw. Abweichung von einer vollständigen Anschmiegung.

55mm Dicke der Fingerplatte: w_{max}=0,97mm

$F_{p.Cd\ grenz}$=140,22 kN

90mm Dicke der Fingerplatte: w_{max}=0,12mm

$F_{p.Cd\ grenz}$=178,17 kN

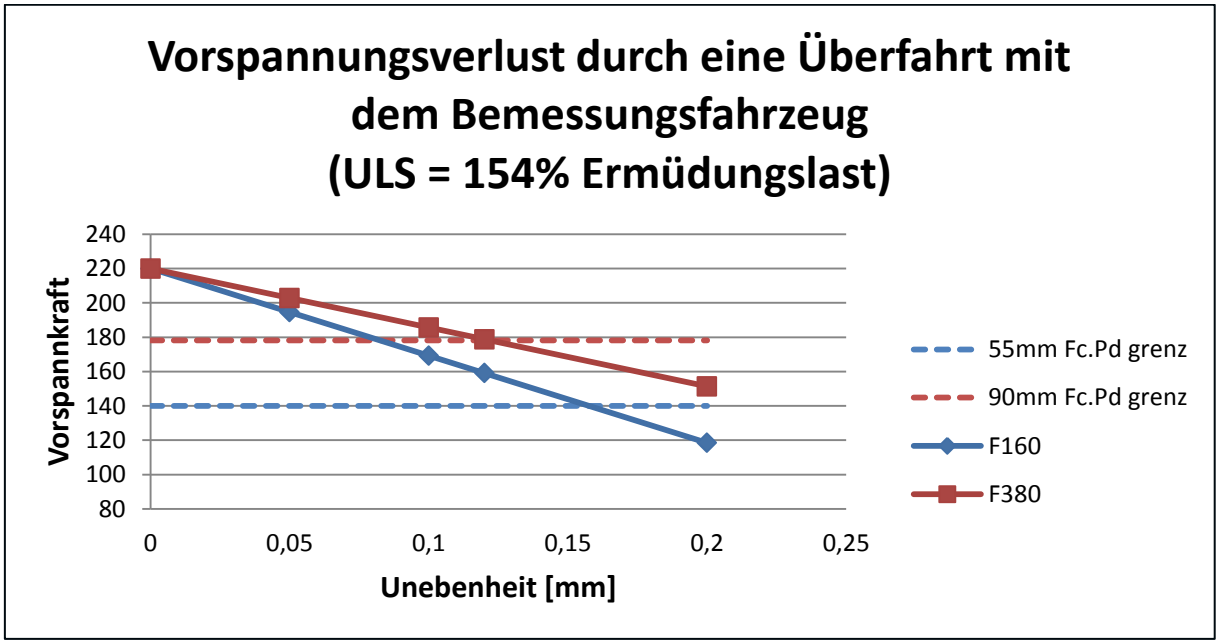


Abbildung 81: **Darstellung des Vorspannverlustes bei Überfahrt durch Hohlstellen**

Offensichtlich kommt es durch die beschriebenen Hohlstellen zu einer massiven Mehrbelastung der Schraubverbindung. Die in der EN 1090 genannten Grenzwerte sind selbst für kleine Typen von Kragfingerfahrbahnübergängen nur gerade ausreichend zu betrachten. Wird noch hinzugerechnet, dass es durch das Anspannen der Schraubverbindung zu einem zusätzlichen Anschmiegen kommt, dann wird über alle relevanten Systeme eine resultierende (aus Fingerplatte und Unterkonstruktion gemeinsam) maximal zulässige Abweichung von 0.5 mm empfohlen, welches der Hälfte des EN 1090 Grenzwertes entspricht.

4.2.2.5 Toleranzanforderungen

Im Folgenden wird beispielhaft aufgezeigt, wie eine Gesamttoleranz von 0.5 mm in den dargestellten Werkstattplänen umgesetzt werden kann.

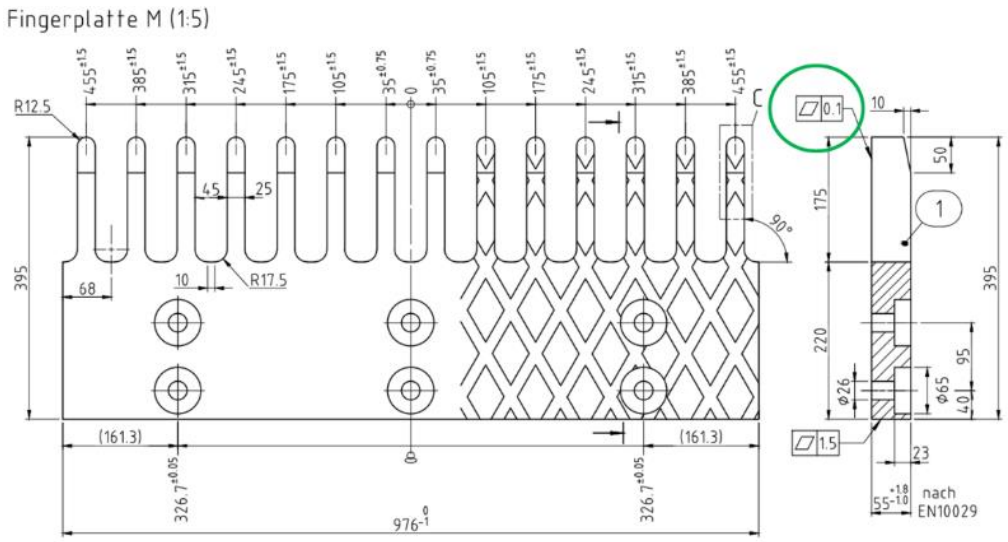
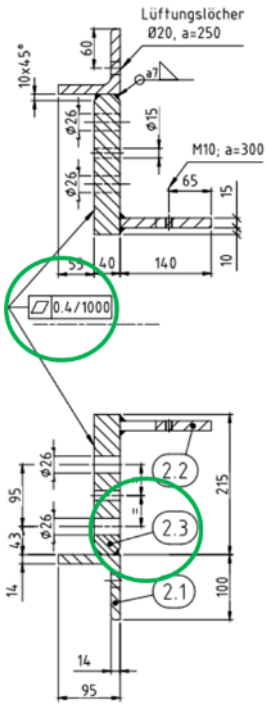


Abbildung 82: **Draufsicht einer Fingerplatte inkl. Toleranzanforderungen zur Ebenheit**



ANZ.	BENENNUNG	DIMENSIONEN	POS.	MATERIAL	ARTIKEL
4	Randprofil FL	40x215; Tot=25,6 m	2.3	S235JR	
4	Randprofil FL, ausgebrannt	140x15; Tot= 25,6 m	2.2	S235JR	
4	Randprofil L 100x95x14	Tot= 25,6 m	2.1	S235JR	
16	Gleitnocken	D40/15.5x12	10	PA6	50.01335
1	Fingerplatte F160	395x55x1049	1.5	S355J2+N	
1	Fingerplatte F160	395x55x1014	1.4	S355J2+N	
1	Fingerplatte F160 m. Knick	395x55x910	1.3	S355J2+N	
1	Fingerplatte F160 m. Knick	395x55x945	1.2	S355J2+N	
22	Fingerplatte F160	395x55x976	1.1	S355J2+N	

Abbildung 83: **Unterkonstruktion mit Angaben zur Ebenheit und Position in einer Bauteilliste**

Zur Anwendung kommen hier besonders ebene kaltgezogen Baustähle, die bei entsprechenden weiteren Konstruktionsdetails deren Ebenheit auch durch Schweissverzug und der Gleichen nicht verlieren. Dieses ist keinesfalls auf kleine Typen von Kragfingerfahrbahnübergängen beschränkt, wie dieses am Beispiel eines Fahrbahnüberganges für 380 mm Bewegungskapazität mit Doppelanker verdeutlicht wird.

Zusätzlich erlaubt ein solcher Doppelanker deutlich günstigere Hebelverhältnisse für die Einleitung der Verkehrslasten in die Brücke bzw. das Widerlager.

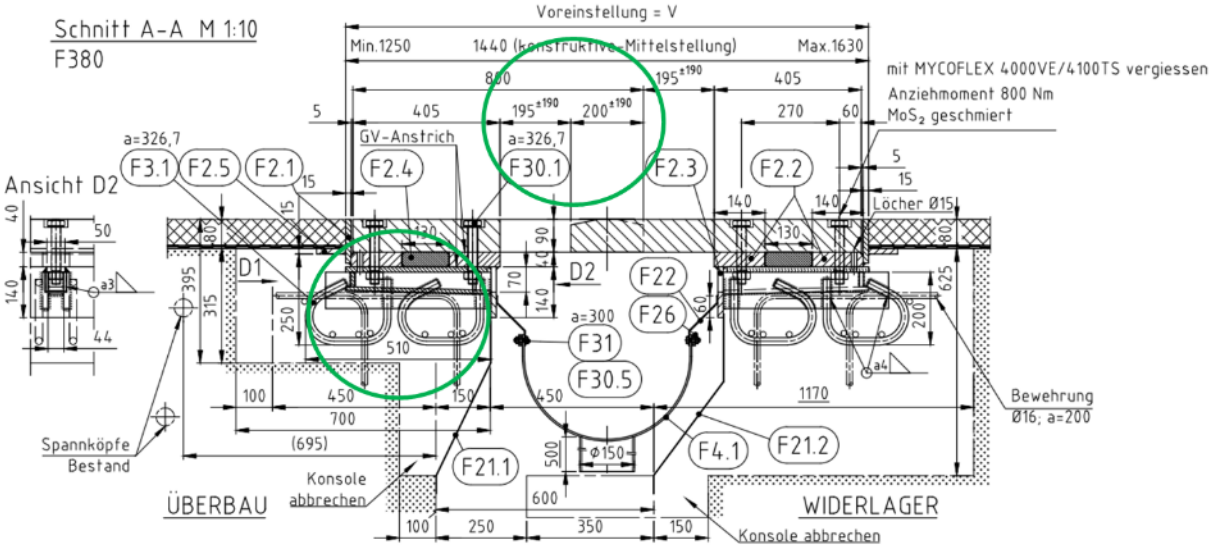


Abbildung 84: **Querschnitt der Kragfingerfuge hoher Bewegungskapazität**

Auch für diese Konstruktion lassen sich die Ebenheitsanforderungen an Fingerplatten und Unterkonstruktion umsetzen. Besonders hilfreich ist dabei, dass durch das nur verschraubte Verankerungselement Verzug durch Schweissen ausgeschlossen werden kann.

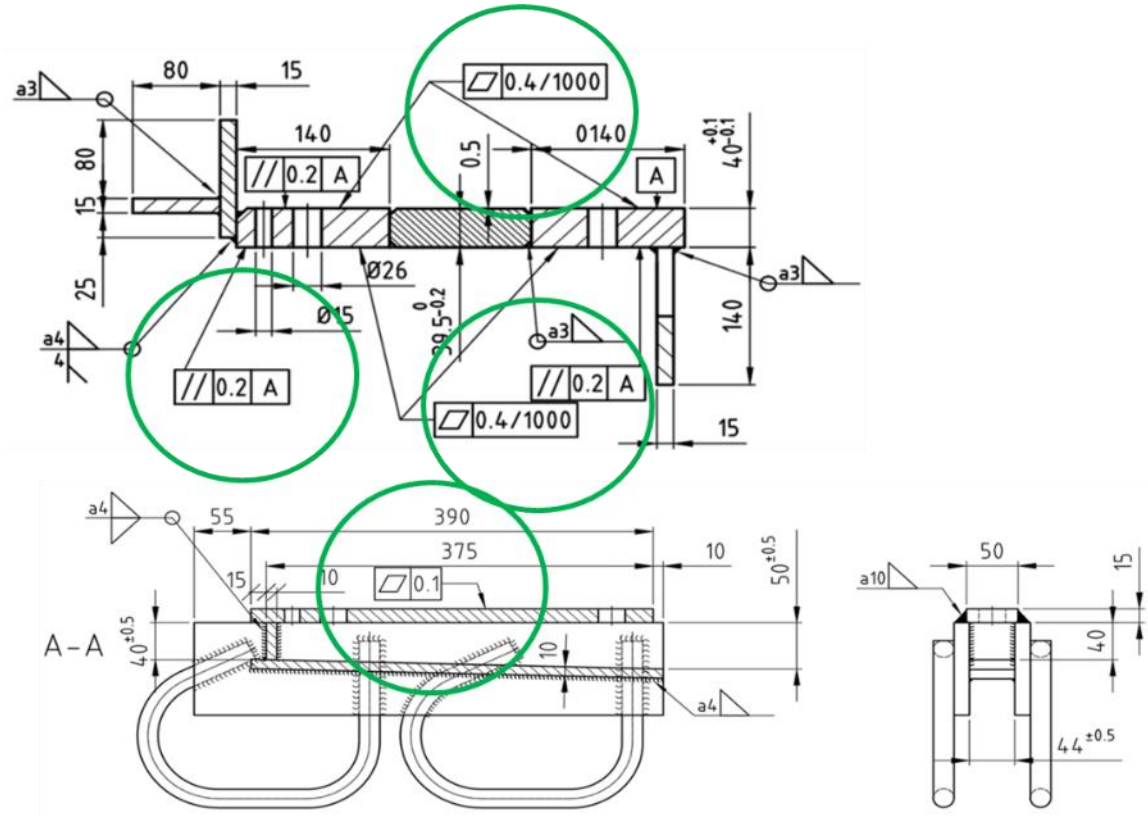


Abbildung 85: **Querschnitt einer Unterkonstruktion mit Doppelanker – die Ebenheitsanforderungen müssen hier beidseitig beschrieben sein – zur Fingerplatte und zum „Mutternkanal“ hin**

4.2.3 *Klare Anforderung hinsichtlich Betonieren, Verdichten und Entlüften*

Zusätzlich zur konstruktiven Ausgestaltung des Fahrbahnüberganges kommt dem Einbau und insbesondere dem Betonieren besondere Bedeutung zu.

4.2.3.1 Ausreichende Einfüll-, Rüttel- und Entlüftungsöffnungen

Die in 4.2.2.4 beschriebenen Hohlstellen unterhalb der Unterkonstruktion resultieren vornehmlich aus unzureichender Verdichtung oder Entlüftung beim Betonieren. Die unteren dargestellten Konstruktionsvarianten vermeiden dieses Problem durch ausreichend große Einfüll-, Rüttel- und Entlüftungsöffnungen. Insbesondere für große Fahrbahnübergänge mit

breiter Verankerung sind unzulässige Hohlstellen auch bei sachgerechtem Betonieren und Verdichten nicht zu gewährleisten.

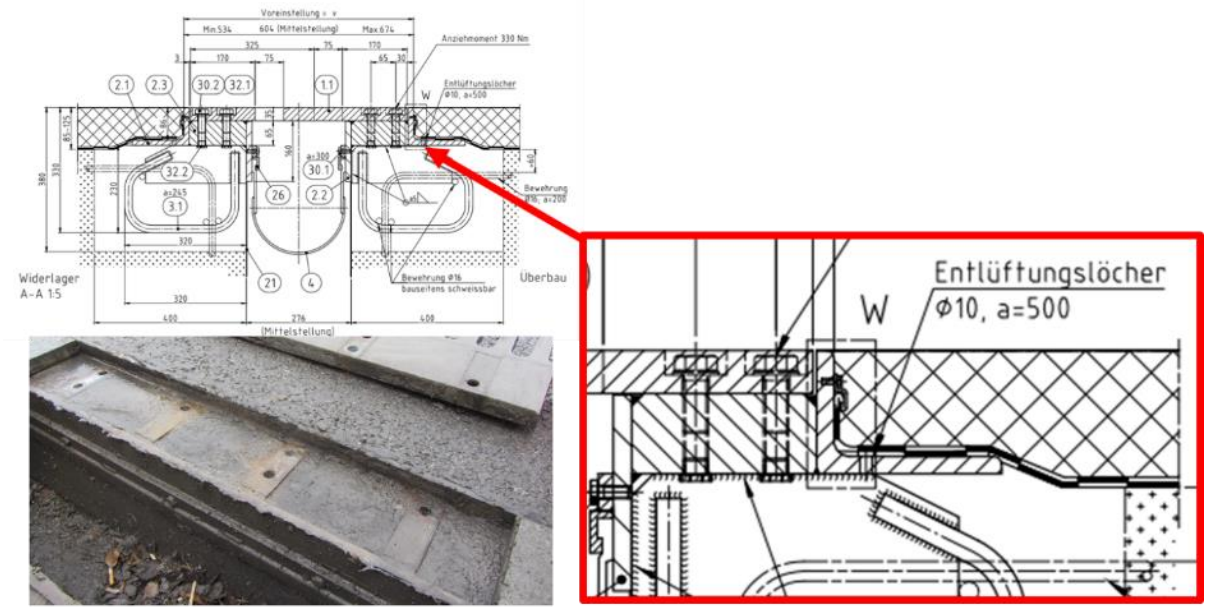


Abbildung 86: **Darstellung nicht ausreichend groß dimensionierter Einfüll- und Entlüftungsöffnungen – Die Fingerplatte liegt zwischen den Rost Elementen somit hohl**

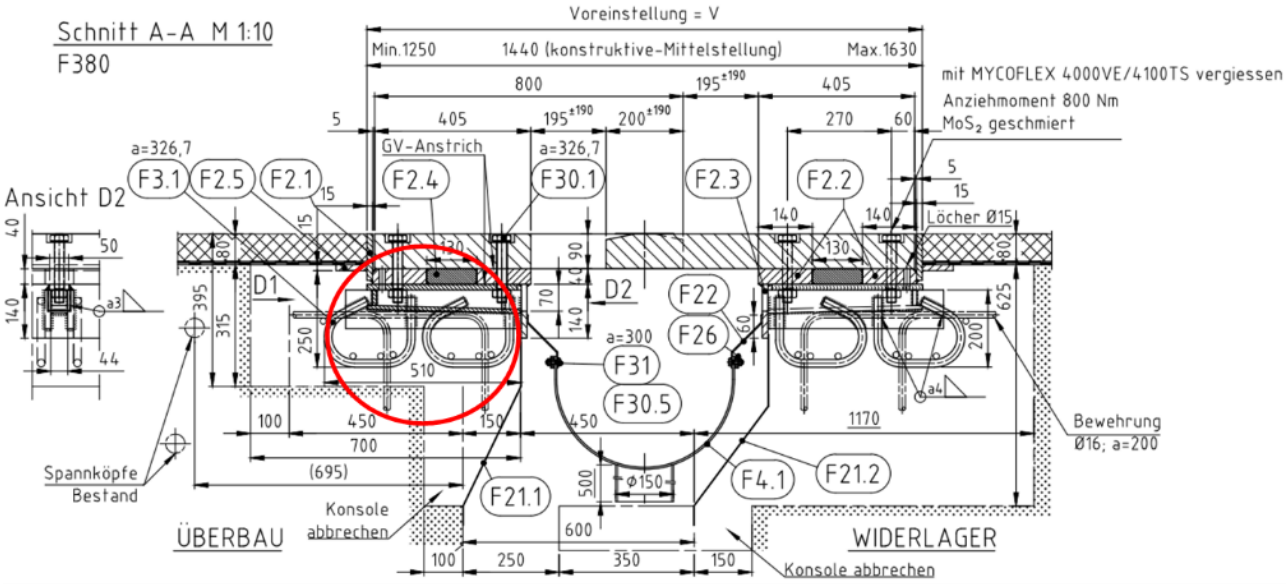
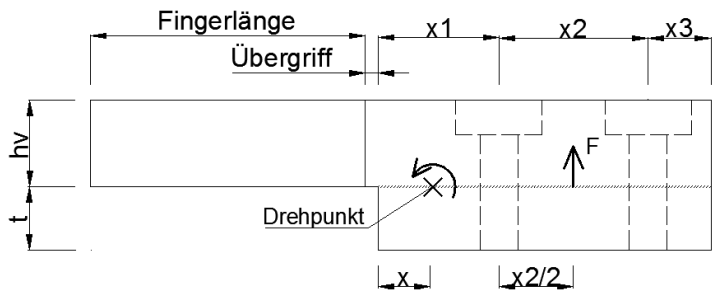


Abbildung 87: **Querschnitt Kragfinger mit „Mutternkanal“ - Nachteile der Konstruktion**

4.2.3.2 Unvollständige Auflagerung

Vor dem Hintergrund einer unvollständigen Verdichtung bzw. von resultierenden Hohlstellen, soll hier nochmals die Auswirkung einer solch mangelhaften Unterstützung der Fingerplatte betrachtet werden. Zur Verdeutlichung ist nochmals das vereinfachte Statische System für die Fingerplatte aufgezeigt.



Durch ein Hohlliegen der besonders kritischen und besonders schwer zu verdichtenden Vorderkante kommt es zu einer Verlagerung des Drehpunktes. Wie dem folgenden Diagramm zu entnehmen wird dabei ab einem bestimmten Punkt die zulässige Auslastung der Schraubverbindung überschritten.

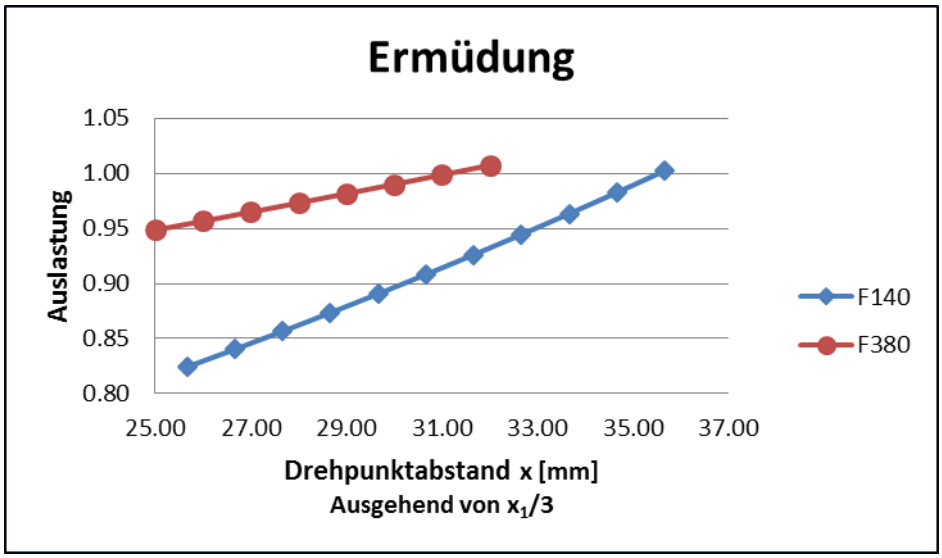


Abbildung 88: **Darstellung der Auslastungserhöhung bzgl. Ermüdung durch Verschiebung des Drehpunktes infolge unvollständiger Auflagerung**

Für eine vollflächig untergossene Unterkonstruktion wird in der Regel von einem Abstand zur Vorderkante gleich einem Drittel des Abstandes der ersten Schraubenreihe ausgegangen.

Für mangelhaft eingebaute Fahrbahnübergänge kann dieses offensichtlich nicht zu Grunde gelegt werden. Die im Folgenden nochmals im Detail aufgezeigten grossen Öffnungen erlauben auch an der Vorderkante den notwendigen Hohlstellenfreien Einbau.

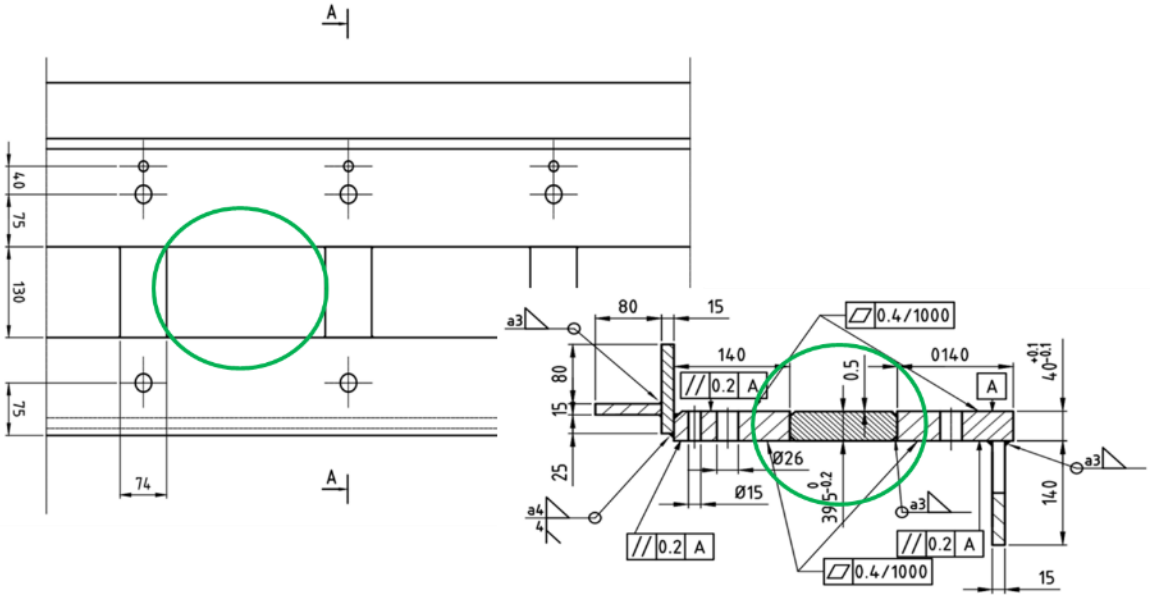


Abbildung 89: **Erforderliche Einfüllöffnungen zum fachgerechten Betoneinbau vorsehen**

4.2.3.3 Robustes Design hinsichtlich Lasteintrag

Grundsätzlich können Konstruktionen derart gestaltet werden, dass sich diese robuster bzgl. Fehl- oder Hohlstellen verhalten. Diese kann beispielsweise durch die hier dargestellte massive Auflagefläche für die Fingerplatten erreicht werden, die eine gewisse Überbrückung von Fehstellen erlaubt.

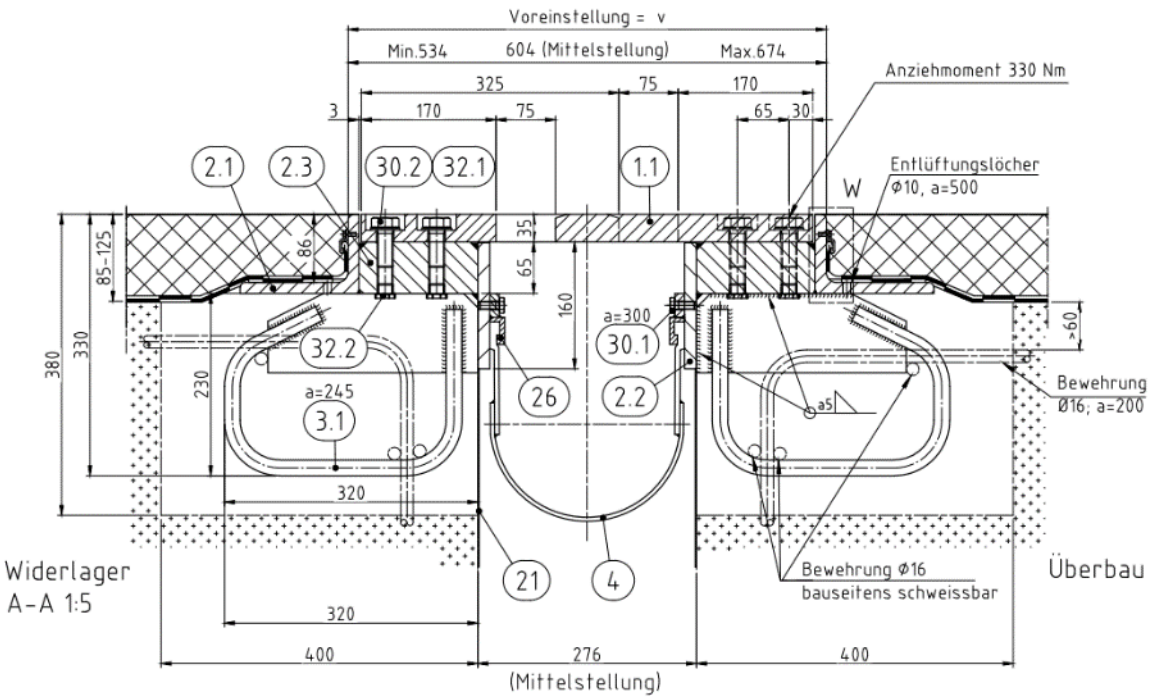


Abbildung 90: **Kragfingerkonstruktion mit groß dimensionierten Ankern**

Wirkungsvoll ist auch ein möglichst direkter Lastpfad wie dieser durch die bereits beschriebene und hier nochmals im Detail gezeigte Lösung mit Mutternkanal ergibt. Die an der Verschraubung wirkenden Kräfte werden hier auf kürzestem Wege über die Verankerung in die Brücke bzw. das Widerlager abgetragen.

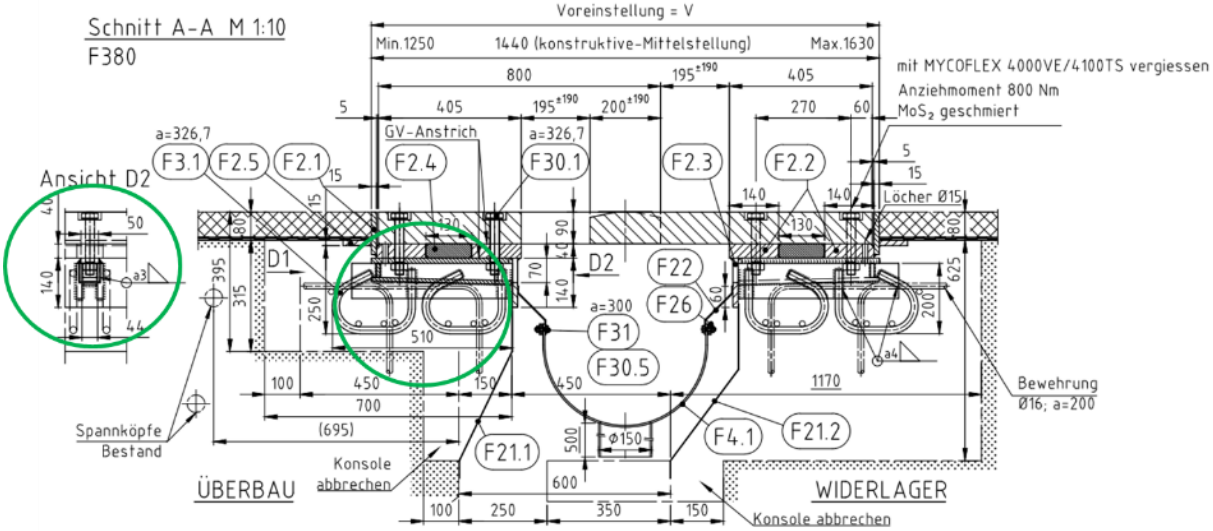


Abbildung 91: **Kragfingerfuge mit „Mutternkanal“ – die Lastweiterleitung erfolgt von der Fingerplatte direkt in die Betonanker**

Ferner erlaubt das tiefe Eingreifen des Mutternkanals in den Beton, dass der massgebliche Druckpunkt von der kritischen Oberkante der Unterkonstruktion weit nach unten in den Beton verlagert wird. Dieser Bereich ist hinsichtlich Verdichtung und Entlüftung als viel unkritischer zu betrachten. Der Mutternkanal bietet hierzu einen sehr starren Stahlkasten der zu allen Seiten in den Beton einbettet.

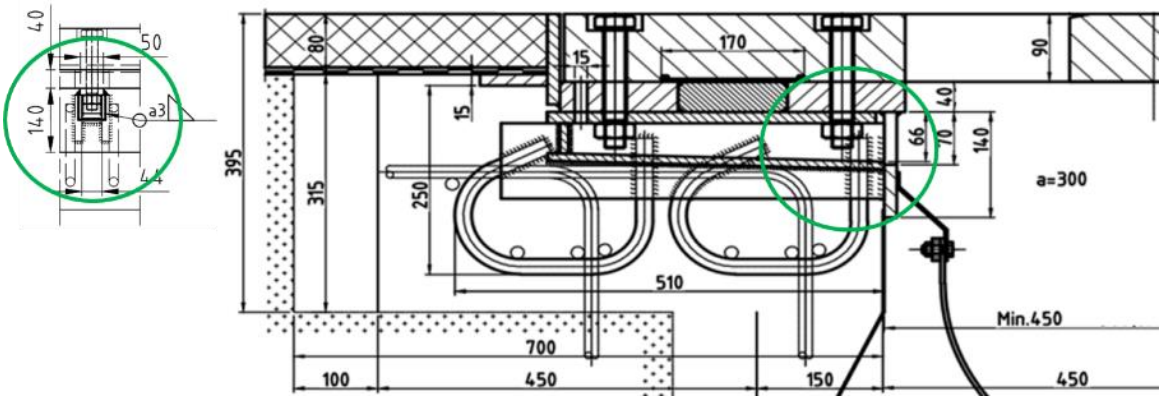


Abbildung 92: **Mutternkanal mit Schraubverbindung – Fingerplatte direkt am starren Stahlkasten verankert**

4.2.4 *Gezielte Versuche hinsichtlich Dichtigkeit für alle Randbedingungen*

Dichtigkeit von Fahrbahnübergängen wird oftmals nur für weitgehend günstige Einbau- oder Betriebssituationen betrachtet. Diese sind nicht in der Lage die im Betrieb geforderte Dichtigkeit sinnvoll abzubilden. Aus diesem Grunde werden Praxisnahe Versuche empfohlen.

4.2.4.1 Maximale Bewegung berücksichtigen und alle Details mit abbilden

Der hier aufgezeigte Versuchsaufbau nach TL/TP Fü ist in der Lage alle in der Praxis auftretenden Bewegungen abzubilden und die Wasserdichtigkeit der Profile für diese Zustände zu prüfen. Auch in diesem Fall ist es wichtig, dass alle in der Praxis eingesetzten Materialien und Konstruktionsdetails mit berücksichtigt und abgebildet werden. So gilt es auch Baustellenstösse, Vulkanisationsstösse, Knicke und weiteres im Versuch vorzusehen.

Abbildung 93: **Testvorrichtung zur Dichtigkeitsprüfung von Dichtprofilen**

4.3 Lebensdaueranalyse in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht

Im Zug des Projektes wurde Versuche für die zwei wichtigsten Typen von Fahrbahnübergängen Kosten für die Erhaltung abzuschätzen. Diese Abschätzungen erfolgten unter den folgenden Annahmen für die Randbedingungen und Kosten:

- ***Ausgehend von folgenden Annahmen:***
  - *(1) Fuge von ca. 12 Meter Länge*
  - *(2) Basis* für Lamellenfuge ist eine LR2
  - *(3)* Basis für Fingerfuge ist ein 200er Finger (Ausführung Österreich)
- ***Lamellenfuge (ohne Lärmschutz):***
  - *Material 130 bis 160 EUR pro Zellmeter (einmal kompletter Austausch von allen Polymerteilen nach ca. 15 Jahren)*
  - *Einbau: ca. 4-5 Manntage inkl. Anfahrt => ca. 4000 EUR pro Fuge => 160 bis 190 EUR pro Zellmeter => 320 bis 380 EUR/Laufmeter (LR2)*
- ***Fingerfuge***
  - *Material ca. 200 EUR/Laufmeter (einmal kompletter Austausch der Entwässerung nach ca. 15 Jahren)*
  - *Einbau : ca. 2 Manntage => 1620 EUR => ca. 130 -150 EUR/Laufmeter*

Grundsätzlich ist zu beachten, dass der Unterhalt von Modulardehnfugen in Lamellenbauweise stark von der Anzahl der Profil und somit der Bewegungskapazität abhängt. Insbesondere Modulardehnfugen mit großer Bewegungskapazität lassen dabei grösseren Erhaltungsaufwand als vergleichbare Kragfingerfugen erwarten. Lamellenfugen grundsätzlich im Unterhalt aufwendiger.

Die Wirksamkeit der herausgearbeiteten Kernpunkte verschleißarmer FÜK wurden in technischer Hinsicht unter besonderer Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Arbeitspaketen 1 und 2 detailliert analysiert. Inhalt dieser Untersuchungen waren insbesondere folgende Mechanismen und Folgen von Kragfinger FÜK, welche zu verminderter Dauerhaftigkeit führen.

4.4 Beurteilung entsprechend AP3

Die im Projekt vorrangig behandelten und am weitersten verbreiten Typen Modulardehn- und Kragfinger FÜK wurden hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Robustheit mit den in Arbeitspaket 3 entwickelten Werkzeugen überprüft und bewertet. Hierbei wurden Kennwerten für den Materialeinsatz und Arbeitsaufwand im Zuge vom Austausch von Verschleissteilen erarbeitet und aufbereitet. Ferner wurden folgende Randbedingungen für die Instandhaltung herausgearbeitet:

- Lamellenfuge (ohne Lärmschutz)
  - Austausch eines großen Teils der Komponenten von unten unter Verkehr möglich – Dichtprofile nur von oben
  - Abschnittsweiser Austausch von Verschleißteilen ledig Einschränkung bei «Inselbaustellen»
  - Abschnittsweiser Einbau nur mit erhöhtem Aufwand möglich – Lamellenstösse
- Fingerfuge

- Bei entsprechender Zugänglichkeit und Ausführung kann das Verschleißteil Entwässerung komplett von unten unter Verkehr ausgetauscht werden
- Abschnittsweiser Einbau vorzugsweise auf Fingerplattenbreite angepasst
- Abschnittsweiser Einbau ohne größeren Mehraufwand möglich

4.5 Aufzeigen von Einsatzmöglichkeiten

Anhand von verschiedenen praktischen Anwendungen wurden die aufgezeigten und zur Lösung vorgeschlagenen Details in der praktischen Anwendung erläutert und hinsichtlich Fertigungsablauf und Einbau aufgezeigt. Wie aufgezeigt wurde bis auf Schweißdetails und Toleranzvorgaben heruntergebrochen. Besonderes Augenmerk wurde auf den möglichst direkten Zusammenhang zur bestehenden Normung gelegt um der Bauherrschaft einen einfachen Weg zur Durchsetzung dieser Details zu ermöglichen. Hierzu wird durch die konsequente Umsetzung der EN 1090 du der Einführung von Fahrbahnübergängen nach ETAG 032, sowie ÖNorm B 4031 eine deutliche Verbesserung der Lebensdauer und somit Verringerung der Erhaltungskosten erwartet.

4.6 Erfindung der Kragfinger Fahrbahnübergänge ohne Schraubenverbindung

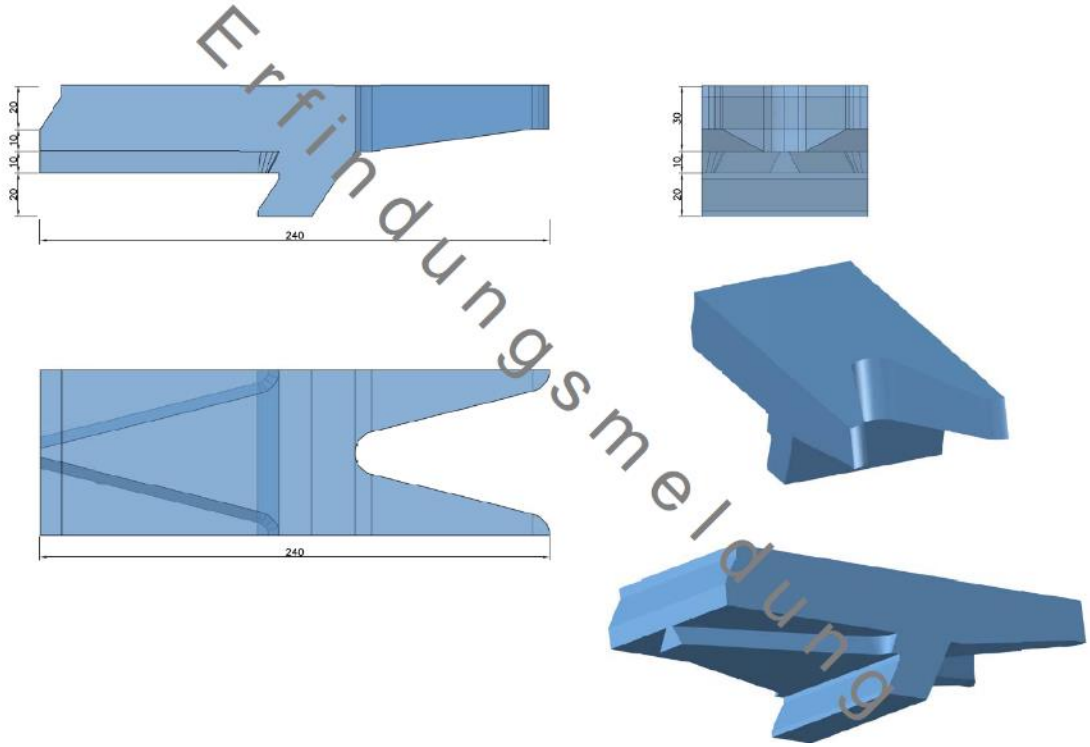
Die Erfindung betrifft eine neuartige Kragfinger-Fahrbahnübergangskonstruktion, welche mit einer Nut-Feder Verbindung zwischen Unterkonstruktion und Kragfingerplatte ausgeführt ist. Fahrbahnübergangskonstruktionen an Brücken sind aufgrund ihrer Position hochdynamisch belastete Strukturelemente und zählen deshalb zu den erneuerbaren strukturellen Elementen (nach Eurocode 1).

Die wesentlichen Anforderungen an eine Fahrbahnübergangskonstruktion sind:

- Dauerhafte Funktionsfähigkeit,
- verschleiß- und wartungsarm,
- Systeme sollen sowohl für Neubauten, als auch Sanierung geeignet sein,
- Herstellung soll einfach und ökonomisch möglich sein.

Nachfolgendes Bild zeigt eine Ausführung der erfindungsgemäßen Fahrbahnübergangskonstruktion. Das Strukturelement besteht aus einer Stahl-Unterkonstruktion, welche mit dem Untergrund über beispielsweise eine Schraubdübelverbindung fixiert ist. In dieser Unterkonstruktion sind V-Nuten gefräst, welche zur Aufnahme der Kragfingerplatte dienen, welche die passenden V-förmigen Federn aufweist. Bei der Montage werden diese V-förmigen Federn in die Nut eingepresst, sodass die Übertragung der Kräfte kraftschlüssig erfolgt. Der in der Kragfingerplatte unten

vorhandene Absatz hat eine Moment reduzierende Wirkung und bewirkt eine zusätzliche Stabilisierung der Fingerplatte.



Erfindungsmeldung

Abbildung 94: Nut- und Federkonstruktion einer Fingerplatte

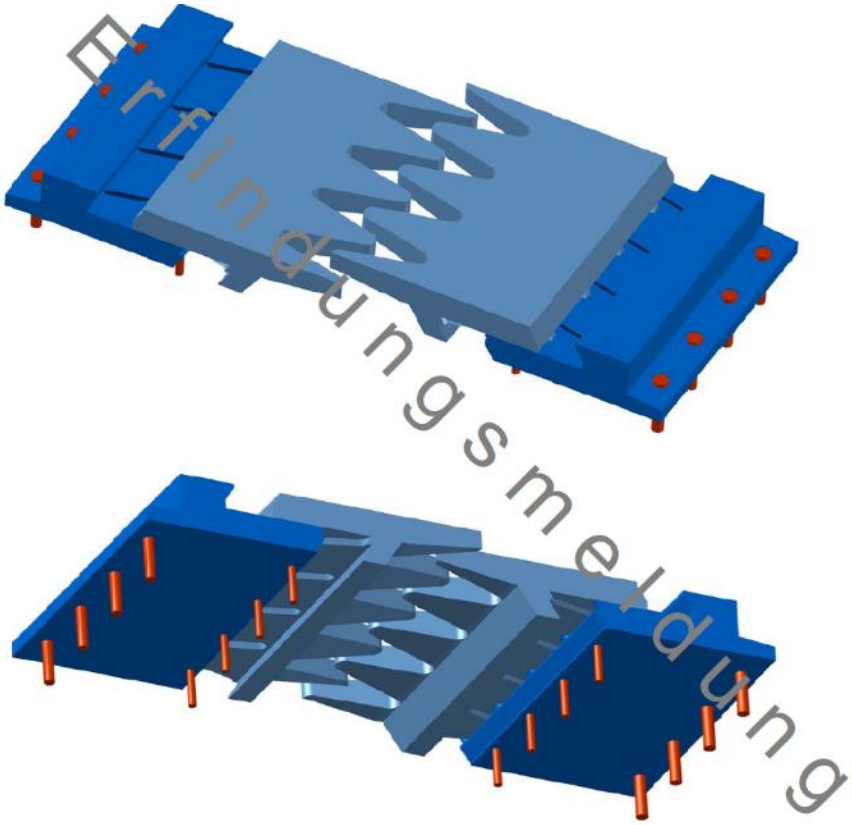


Abbildung 95: **Kragfinger-Fahrbahnübergangskonstruktion mit Nut- und Feder Verbindung**

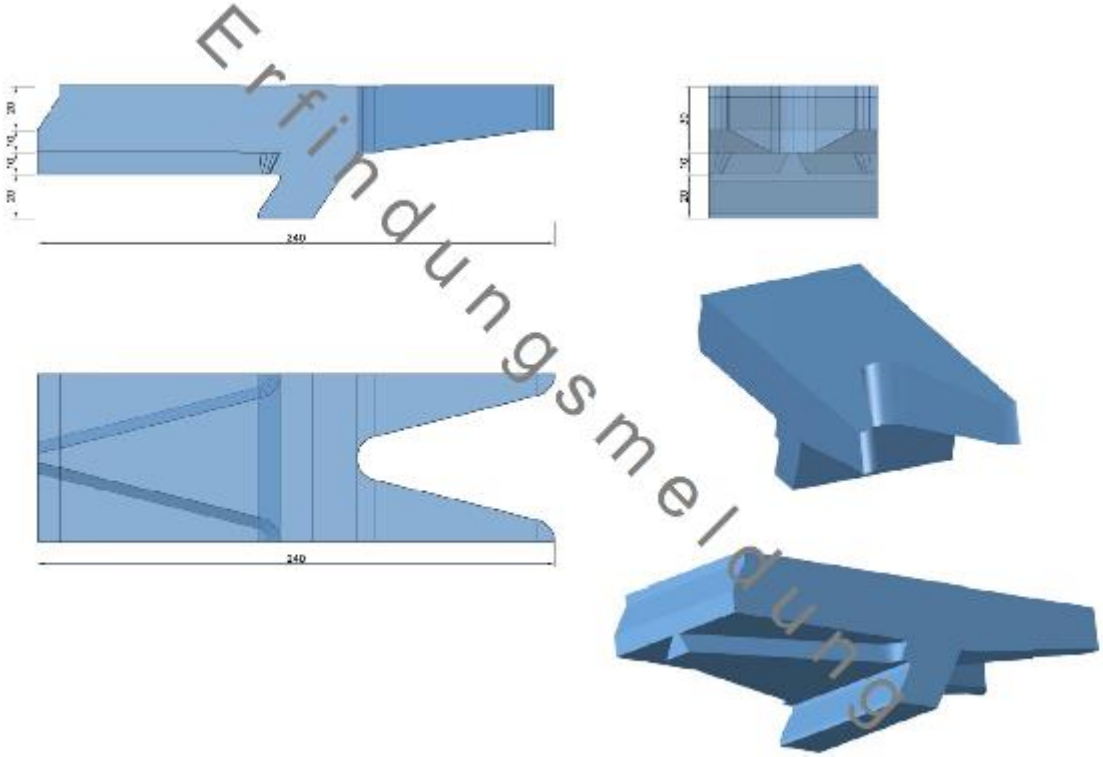


Abbildung 96: **Kragfinger-Fahrbahnübergangskonstruktion mit Nut- und Feder Verbindung**

Damit ergeben sich lt. Erfinder unter anderem folgende Vorteile:

- Verbesserte flächige Verbindung zwischen Kragfingerplatte und Unterkonstruktion durch Nut-Feder Verbindung --> keine hochbeanspruchte Schraubenverbindung,
- Reduktion von zeitlichen Spannungsumlagerungsprozessen in der Unterkonstruktion,
- Zeiteffektiver Ein- und Ausbau der hochbelasteten Kragfingerplatten,
- Zeiteffektive Funktions- und Qualitätskontrolle nach dem Einbau und während der Erhaltung,
- Vermeidung schädlicher Wasserumläufigkeiten, Undichtigkeiten und Korrosion.

4.6.1 *Patentfähigkeit*

Aufgrund der gesichteten Dokumente scheint das erfindungsgemäße Kragfinger-Fahrbahn-übergangskonstruktionsprinzip neu und erfinderisch zu sein, jedoch ist es erforderlich konkrete technische Ausführungen in die Schutzrechtsanmeldung zu integrieren, um einen möglichst breiten technischen Schutzumfang mit dem Patent zu erzielen. Ob ein Patent mit einem kommerziell interessanten Schutzumfang zu erzielen ist, bleibt aus heutiger Sicht aufgrund der noch fehlenden Untersuchung der technischen Machbarkeit und der fehlenden technischen Ausführung unklar.

Hinsichtlich ausreichender erfinderischer Tätigkeit im Sinne des Patentgesetzes ist bei einer allfälligen Patent-anmeldung besonders zu beachten, dass sich der Aufgabe-Lösungs-Ansatz ausreichend von der klassischen Ingenieursleistung abgrenzt. Daher sollte in der Anmeldeschrift eine deutliche Abgrenzung zum bisherigen Stand der Technik enthalten sein.

4.6.2 *Markt & Verwertung*

In Österreich gib es im ASFINAG Netz ca. 4000 Brücken (Vortrag ASFINAG Brückenmanagement vom 06.06.2008) und im deutschen Bundesfernstraßennetz ca. 38.000 Brücken (ZfPBau-Verfahren für die Zustands-erfassung von Brücken der Bundesfernstraßen, Fachtagung Bauwerksdiagnose 2008). Untersuchungen der Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken zeigen, dass zwischen 40 und 50 Prozent der Gesamtlebens-

zykluskosten auf die Erhaltung der Brücke entfallen. Einen signifikanten Anteil der Erhaltungskosten verursachen dabei die Reparatur, die Sanierung bzw. der Austausch von Fahrbahnübergängen. Betrachtet man die Altersstruktur der Brücken der deutschen Fernstraßen (siehe nachfolgende Abbildung) so kann man erkennen, dass in Zukunft speziell Systeme von Fahrbahnübergängen gefragt sein werden, welche flexibel für die Sanierung, den Austausch oder die Reparatur von bestehenden Fahrbahnübergängen einsetzbar sind.

Für eine weitere und belastbare Bewertung der Verwertungschancen der erfindungsgemäßen Kragfinger-Fahrbahnübergangskonstruktion werden die technische Machbarkeit, die Analyse eines Prototyps sowie die exakte Ermittlung und monetäre Bewertung von Kundenvorteilen entscheidend sein.
Kann nachgewiesen werden, dass im Vergleich zu den bisher verwendeten Fahrbahnübergangskonstruktionen, speziell den Lamellenübergangskonstruktionen (bei ca. 80% der Brücken der deutschen Bundesstraßen installiert) signifikante Vorteile hinsichtlich dauerhafter Funktionsfähigkeit, Montage, Verschleiß- und Wartungs-intensität und nicht zuletzt der Lebenszykluskosten vorhanden sind, ist großes Potential für die kommerzielle Verwertung dieser Fahrbahnübergangskonstruktion gegeben.

4.6.3 *Empfehlung*

Auf Grund der Patentrecherche schätzen wird das Prinzip der erfindungsgemäßen Kragfinger-Fahrbahnübergangskonstruktion als neu und erfinderisch eingeschätzt. Vor einer allfälligen Patentanmeldung wird jedoch die technische Machbarkeit noch geklärt und eine konkrete technische Ausführung entwickelt, um zu beurteilen, ob ein Patent mit einem breiten technischen sowie kommerziell interessanten Schutzumfang möglich ist.
Können für die erfindungsgemäße Kragfinger-Fahrbahnübergangskonstruktion signifikante Vorteile hinsichtlich dauerhafter Funktionsfähigkeit, Montage, Verschleiß- und Wartungsintensität und nicht zuletzt der Lebenszykluskosten im Vergleich zu den bisherigen Fahrbahnübergangssystemen in den nächsten Entwicklungsschritten bestätigt werden, ist großes Potential für die kommerzielle Verwertung dieser Fahrbahnübergangskonstruktion gegeben.
In einem nächsten Entwicklungsschritt werden die technische Machbarkeit, die Analyse eines Prototyps (ev. in Zusammenarbeit mit einem Partner aus der Industrie) sowie die

exakte Ermittlung und monetäre Bewertung von Kundenvorteilen geklärt werden, bevor Schritte zur Verwertung dieser Erfindung gesetzt werden.

4.7 Schlussfolgerung

Empfohlen werden:

- Verringerung der Einwirkung auf die FÜK durch ausreichende Ebenheit der Anschlussbereiche mittels konsequenter Umsetzung gültigen Regelwerkes bzg. Der Asphaltoberfläche
- Schwachpunkte durch Baustellenstösse und abschnittsweisen Einbau vermeiden bzw. Anschlüsse und Bereiche klar definieren, wo sich dieses nicht vermeiden lassen.
- Konsequente Umsetzung der Ebenheitsanforderungen und Vorgaben zur Ausgestaltung von Verbindungen, wie diese in der EN 1090 gefordert sind.
- Klare Anforderungen hinsichtlich Betonieren, Verdichten und Entlüftung an die Hersteller der FÜK auf Grundlage gültiger Regelwerke einfordern und durchsetzen.

5 DANKSAGUNG

Der Dank der Autoren gilt dem BMViT, der ASFINAG und der ÖBB, welche im Rahmen des Förderprogrammes vif2013 das Forschungsprojekt EVAF ermöglichten.

6 LITERATURVERZEICHNIS

[1] ÖNORM B 4031/4032: Brückenausrüstung - Übergangskonstruktionen (in Ausarbeitung), Wien: Austrian Standards Institute, 2014.

[2] RVS 15.04.51 Ausführungsbestimmungen, Wien: FSV, 2010.

[3] ETAG 032: Expansion Joints for Road Bridges, Brussels: CEN, 2013.

[4] C. Braun und K. Bergmeister, „Brückenausstattung," in *Betonkalender 2004*, Berlin, Ernst & Sohn, 2004, pp. 247-308.

[5] Maurer Söhne, „Maurer Schwenktraversen-Dehnfugen (Firmenprospekt)," [Online]. Available: http://www.maurer-soehne.de/files/bauwerkschutzsysteme/pdf/de/prospekt/Prospekt_Schwenktraversen-Dehnfugen.pdf.

[6] P. Still und P. Jordan, TRRL Laboratory Report 922: Evaluation of the TRRL high speed profilometer., Crowthorne, 1980.

[7] „EVAF Projekthomepage," [Online]. Available: http://evaf.boku.ac.at.

[8] RVS 13.01.11: Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen, Wien: FSV, 2009.

[9] RVS 13.01.16: Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken, Wien: FSV, 2012.

[10] CEN, EN 1991-2: Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges, CEN, 2003.

[11] ASFINAG, Planungshandbuch Brücke - BAU, Wien: ASFINAG, 2011.

[12] FSV, RVS 08.16.01 - Anforderungen an Asphaltschichten, Wien: Bundesministerium für Verkehr,

Innovation und Technologie, 2010.

[13] FSV, RVS 08.17.02 - Betondecken: Deckenherstellung, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2011.

[14] C. Braun, „The differential construction method in bridge construction," *Proceedings: 11. Brückenbau Symposium, Leipzig, 2011,* pp. 40-43, 2011.

[15] J. M. Lima und J. De Brito, „Inspection Surveq of 150 expansion joints in road bridges," *Engineering Structures,* pp. 1077-1084, 2009.

[16] J. M. Lima, Dissertation: "Expansion joints in road bridges - development of a management system", Lissabon, 2006.

[17] T. Zimmermann, H. Friedrich, A. Strauss, S. Lachinger, F. Binder, T. Gabl, J. Zlatarits, A. Schön und S. Hoffmann, „Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübergangskonstruktionen; Forschungsprojekt EVAF - Schadenserhebung - Sensitivitätsanalyse," *Bautechnik,* Bd. 91, Nr. 02, pp. 91-106, 2014.