

BMWI VERBUNDPROJEKT

**PAST**

# Prozesssicherer automatisierter Straßenbau

---

## Abschlussbericht

Förderkennzeichen 19S8003C

Fachhochschule Köln

inkl. Unterauftrag RWTH Aachen und TU Dresden

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 19S8003C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

---

## **Schlussbericht zu Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98**

---

*Zuwendungsempfänger:*

Fachhochschule Köln

*Förderkennzeichen:*

19S8003C

---

*Vorhabensbezeichnung:*

PAST - Prozesssicherer automatisierter Straßenbau

---

*Projektleiter:*

Prof. Dr.-Ing A. Ulrich

---

*Laufzeit des Vorhabens:*

01.08.2008 - 31.07.2012

---

*Berichtszeitraum:*

01.08.2008 - 31.07.2012

---

## Inhaltsverzeichnis

I	Kurzdarstellung .....	3
1	Aufgabenstellung .....	3
2	Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	7
4	Wissenschaftlicher- und technischer Stand .....	8
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	13
II	Eingehende Darstellung .....	15
1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	15
III	Veröffentlichungen .....	51
IV	Quellenverzeichnis .....	53

# I Kurzdarstellung

## 1 Aufgabenstellung

Der Mobilitätsbedarf im Personenverkehr und im Warentransport wächst nahezu ungebremst an. Damit nimmt auch das Risiko von Staus und Kapazitätsengpässen auf den Straßen weiter zu, besonders in dicht besiedelten Gebieten. Dies zehrt nicht nur an Nerv und Gesundheit der Menschen, sondern auch an der Substanz der wertvollen Infrastruktur. Dort treten trotz ständig verbesserter Materialien in immer kürzeren Abständen Probleme bei der Nutzungsdauer der Straßenbeläge durch qualitätsbeeinflussende Schwachstellen, welche Baustellen und unproduktive Wartezeiten verursachen, auf.



**Abbildung 1:** Einbauprozess beim Asphaltstraßenbau

Durch die Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen beim Bau von Asphaltbelägen im Verkehrswegebau werden in diesem Forschungsvorhaben die Funktionseigenschaften der Verkehrswege, wie lärmarm, verkehrssicher (Griffigkeit) und die Gebrauchsdauer dieser Bauwerke mit neuen Ansätzen der Automatisierungs-, Informations- und Maschinenteknik für den Bauprozess wesentlich verbessert. Insgesamt werden 15 Demonstratoren zur Beseitigung der bekannten Schwachstellen im Asphaltstraßenbau entwickelt.

**Tabelle 1:** Zu entwickelnde Demonstratoren

Nr.	Benennung
1	Eine <b>Mischgutabgabeeinheit für Mischanlagen</b> zur Vermeidung der Entmischungen während des Ladevorgangs des Mischgutfahrzeuges
2	Neuartige <b>Lkw-Lademulden</b> für Mischgut mit Thermospeichereffekt, integrierter <b>Temperaturmess- und Kommunikationseinheit</b> und mit einer entmischungsreduzierten Übergabeeinheit.
3	Eine <b>Mess- und Kommunikationseinrichtung</b> für die Prozesskette der <b>Baustofflogistik</b> (Mischanlage – Lkw – Fertiger)
4	Eine <b>Mess- und Kommunikationseinrichtung</b> für den Straßenfertiger zur <b>Mischgutaufnahme</b>
5	Eine <b>automatische elektro-hydraulische Andockeinrichtung</b> mit <b>integriertem Stossabsorber</b> zur Mischgutaufnahme
6	Einen neuartigen <b>thermoisolierten Mischgutaufnahmebunker</b> zur Reduzierung der Entmischung und Abkühlung des Mischgutes
7	Eine neuartige modellgestützte intelligente <b>Prozessregeleinrichtung</b> der gesamten <b>Mischgutlogistik</b> eines Straßenfertigers
8	Ein <b>thermoisolierte Mischgutförder- und Verteilereinrichtung</b> für Straßenfertiger
9	<b>Mess- und Kommunikationseinrichtung</b> zur Tendenzbestimmung der <b>Verdichtungsarbeit</b> am Straßenfertiger während der Arbeit

10	<b>Mess- und Kommunikationseinrichtung</b> zur <b>Schichtdickenbestimmung</b> am Straßenfertiger während der Arbeit
11	Neuartige <b>Nivelliereinrichtung mit integrierter Schichtdickeneinstellung und -regelung</b> für Straßenbaumaschinen
12	<b>Anfahrautomatik</b> zur Vermeidung von Anfahrunebenheiten
13	<b>Temperaturmesssystem</b> für die komplette <b>Mischgutlogistik im Straßenfertiger</b>
14	<b>Ablegeautomat</b> zur Ablage und Positionierung von metallischen Gegenpolen, geeignet als <b>Trägermaterial</b> für zukünftige <b>intelligente Sensoren</b>
15	<b>Mess- und Kommunikationseinrichtung</b> zur Bestimmung der <b>Belagsdicke</b> und <b>Mischguttemperatur</b> an Walzen

Insbesondere wurden Techniken und Technologien für die Asphaltbauweise entwickelt, die es den KMU's ermöglicht, die Forschungsergebnisse besonders im Stadtstraßenbau und bei kleinen Baumaßnahmen wirtschaftlich umzusetzen. Der Einsatz der entwickelten Automatisierungs-, Kontroll- und Maschinenteknik auf Baumaßnahmen des Fern- und Stadtstraßenbaus, bei Betrachtung aller relevanten Kenngrößen zur Einbauqualität und zum Gebrauchsverhalten der Straßenbeläge, soll die Wirksamkeit der Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen, unter Einbezug des Walzeneinsatzes, aufgezeigt und beseitigt werden. Die Fachhochschule Köln ist dabei vor allem für die wissenschaftliche Bearbeitung der maschinentechnischen Aufgabenstellungen verantwortlich.

## 2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Besonderheit des Forschungskonsortiums besteht in der prozessübergreifenden Zusammenstellung. Fünf Firmen bilden die Prozesskette des Asphaltstraßenbaus vom Mischwerk (Fa. Deutsche Asphalt) über Transport (Fa. Carnehl Fahrzeugbau), Maschinenteknik (Fa. Dynapac), Automatisierungstechnik (Fa. Moba) und Einbau (Hermann Kirchner Bauunternehmung) ab. Außerdem tragen zwei Hochschulen (Technische Universität Darmstadt und die Fachhochschule Köln) sowie die Bundesanstalt für Straßenwesen zum Gelingen des Projektes bei.

Besonders zu erwähnen ist das Engagement bei der Beantragung und die Erfahrung bei der Durchführung großer Forschungsvorhaben von Herrn W. Dietrich und Herrn Prof. Dr. A. Ulrich, da ohne diese Voraussetzungen ein prozessübergreifendes Forschungsprojekt dieser Größe nicht möglich gewesen wäre.

### Hermann Kirchner GmbH & Co. KG

Die Kirchner Unternehmensgruppe mit Stammsitz in Bad Hersfeld ist seit ihrer Gründung im Jahr 1926 in allen wesentlichen Bereichen des Bauens aktiv. Die Aktivitäten im Tief-, Straßen- und Autobahnbau, bei Schienenwegen, im Hoch-, Brücken- und Ingenieurbau sowie in der Umwelttechnik, Baustoffproduktion und der Projektentwicklung bilden die Basis für die Weiterentwicklung dieses Unternehmens. In den letzten acht Jahren hat das Unternehmen

an der Entwicklung von folgenden Produkten und Verfahren gearbeitet: drahtlose Navigation und Nivellierung, feste Fahrbahn, Schottereinbau (Bahn), Einbau mit großer Einbaubreite, Kompaktasphalttechnologie, Kompaktasphaltfertiger, modulares Beschickersystem.

#### Deutsche Asphalt GmbH und Ammann Group

Die Deutsche Asphalt ist ein Unternehmen, welches auf dem Gebiet der Asphaltherstellung mehr als 40 moderne Asphaltmischanlagen in Deutschland betreibt. Als Asphaltproduzent zeichnet sich die Deutsche Asphalt insbesondere durch innovative Ideen und Umsetzungen bei der Ressourcennutzung von Recyclingbaustoffen, maschinen-technischen Weiterentwicklungen zur Optimierung des Mischprozesses sowie der Qualitätssicherung aus.

Als nichtgefördertes Unternehmen unterstützt die Ammann Group besonders die Deutsche Asphalt durch die jahrelange Erfahrung im Bereich Anlagenbau zur Asphaltherstellung.

#### Heinrich Carnehl Fahrzeugbau (Fahrzeug- und Aufbauhersteller)

Das Unternehmen wurde Anfang der 60iger Jahre durch Heinrich Carnehl in Pattensen gegründet. Heinrich Carnehl Fahrzeugbau ist ein innovativer Aufbautenhersteller von Hinterkippsattelaufleger in Aluminium und Stahlausführung, Drei- und Zweiseitenkippaufleger, Tandemkippanhänger, Zwei- und Dreiseitenkippanhänger, Aufbauten auf Drei- und Vierachs-Fahrgestelle als Hinterkipmulde und Dreiseitenkipper für die Nutzfahrzeugbranche. Herzstück der Fertigung sind die Schweißroboter und eine CAD-CAM unterstützte Plasma-Schneidanlage. Qualifizierte Mitarbeiter der Konstruktion entwickeln und optimieren mit Hilfe moderner 3D-CAD-Technik Fahrzeuge bis zur Serienreife.

#### Moba AG

Die MOBA Mobile Automation GmbH ist ein mittelständisches, unabhängiges Unternehmen und gliedert sich in die Unternehmensbereiche Maschinensteuerung, Wäge- und Identssysteme sowie Softwareentwicklung. Das Unternehmen hat sich in über 30 Jahren zum Spezialisten für berührungslose Mess-, Wäge- und Identssysteme entwickelt. Als Partner und Zulieferer für verschiedenste Industriezweige entwickelt und fertigt das Unternehmen kundenspezifische Komponenten und anwenderorientierte Systemlösungen.

#### Dynapac GmbH

Dynapac ist einer der bedeutendsten Hersteller von Straßenbaumaschinen in der Welt. Neben Kaltfräsen werden eine große Auswahl an Straßenfertigern, Vibrations- und statischen Walzen, Graben- und Duplexwalzen, Rüttelplatten, Stampfern und verschiedene Maschinen und Geräte für die Betonverdichtung angeboten. Dynapac deckt somit den gesamten Bereich der Verdichtung und Fahrbahnbefestigung ab. Zu den Schwerpunkten der Unternehmensaktivitäten zählen besonders Forschung und Entwicklung sowie die in den zurückliegenden Jahren kontinuierlich verbesserte Produktqualität.

### FH Köln, Fakultät für Anlagen, Energie- und Maschinensysteme

Mit rund 19 000 Studierenden in über 45 Studiengängen, die von 450 Professorinnen und Professoren betreut werden, ist die Fachhochschule Köln die größte Fachhochschule in Deutschland. Neben dem breit gefächerten und qualitativ hochwertigen Studienangebot und Forschungsspektrum ist die Fachhochschule in Köln weit über die Grenzen hinaus ein gefragter Ansprechpartner für die unterschiedlichsten Branchen des Maschinenbaus. Ein Schwerpunkt der Lehre und Forschung an der Fakultät für Anlagen, Energie- und Maschinensysteme (F09) ist der Bereiche Maschinensimulation, elektrohydraulische Aktorik sowie die Beschreibung und Simulation von Arbeitsprozessen bei mobilen Arbeitsmaschinen, mit experimenteller Ermittlung von Prozesskenngrößen.

### TU Darmstadt, Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt

Im Fachgebiet Straßenwesen werden nahezu alle Probleme des Straßenwesens wissenschaftlich untersucht. Innerhalb der 75 Jahre des Bestehens der Versuchsanstalt wurde auf nahezu allen Gebieten des Asphaltstraßenbaus geforscht. Somit ist der Einfluss der Technischen Universität in vielen Bauweisen, Prüfnormen und Untersuchungen wirksam geworden. In den letzten Jahren hat sich innerhalb dieser Forschung eine besondere Kernkompetenz bezüglich der Untersuchung des Schichtenverbunds von Asphaltstraßen herausgebildet. Darüber hinaus hat man sich zunehmend mit den Auswirkungen des Ressourcenverbrauchs durch Straßenbaumaßnahmen, mit der Umweltbelastung und deren Verminderung bei Einbaumaßnahmen von Straßen beschäftigt.

### Bundesanstalt für Straßenwesen

Die BASt ist ein technisch-wissenschaftliches Institut des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Sie gibt dem Ministerium in technischen und verkehrspolitischen Fragen wissenschaftlich gestützte Entscheidungshilfen und wirkt maßgeblich bei der Ausarbeitung von Vorschriften und Normen mit. Auf ihren Testanlagen und bei Themen von besonderer Bedeutung leistet die BASt eigene Forschungsarbeit. Außerdem bewertet die BASt die Qualität von Dienstleistungen und beurteilt die Qualität von Produkten. Hierzu führt sie Akkreditierungen, Prüfungen, Anerkennungen und Lehrgänge durch.

Des Weiteren wurde für Grundlagenuntersuchungen ein Unterauftrag an die RWTH Aachen vergeben.

### 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die folgende Aufstellung zeigt eine einfache Übersicht der Arbeits- und Zeitplanung des Projektes mit grober Spezifizierung der Arbeitsinhalte für die verschiedenen Arbeitspakete **AP1 bis AP9**.

**Tabelle 2:** Arbeits- und Zeitplan / gesamtes Projekt, speziell für die FH Köln

lfd. Nr.	Arbeitspakete	Aufwand in MM	2008	2009	2010	2011	2012
AP1	Analysen, Lasten-/Pflichtenheft	9					
AP2	Mischgutlogistik Transport	6					
AP3	Mischgutlogistik Fertiger	10					
AP4	Einbau	27					
AP5	Nachverdichtung	12					
AP6	Information- u. Netzwerkstruktur	13					
AP7	Tests und Erprobung	12					
AP8	Ergebnistransfer	3					
AP9	Gesamtprojektkoordination	4					
<b>Σ = 96</b>			5	22	23	25	21

- Meilenstein
- Gesamt
- FHK
- Zeitraum der geplanten kostenneutralen **ersten Verlängerung** (6 Monate)
- Zeitraum der geplanten kostenneutralen **zweiten Verlängerung** (6 Monate)

In den Arbeitspaketen AP1 bis AP7 wird jeweils ein Meilenstein definiert. Die Meilensteine sind wie folgt festgelegt:

- Meilenstein 1:** Beurteilung der Brauchbarkeit der Methode Machbarkeit, Gültigkeitsbereich neu definieren.
- Meilenstein 2:** Je nach Güte der Ergebnisse, prüfen auf Umsetzbarkeit.
- Meilenstein 3:** Prüfung auf Reproduzierbarkeit. Beurteilung der Erprobung der in AP1 entwickelten Systematik mit den Demonstratoren zur Mischgutlogistik. Abgrenzungen der Gültigkeit.
- Meilenstein 4:** Beurteilung der Erprobung der in AP1 entwickelten Arbeitsprozesssystematik, Verdichtungstechnik und Regelung von Ebenheit u. Einbaustärke mit den Demonstratoren. Abgrenzungen der Gültigkeit.



**Meilenstein 5:** Prüfung auf Reproduzierbarkeit. Beurteilung der Erprobung der in AP1 entwickelten Systematik mit den Demonstratoren zur Schichtdicke, Nachverdichtung und Kommunikationstechnik. Abgrenzung der Gültigkeit.

**Meilenstein 6:** Beurteilung der IT Ergebnisse am Beispiel der Demonstratoren. Software Anpassung. Beurteilung der betriebswirtschaftlichen Ergebnisse. Prüfen und ändern von Bewertungsmethoden.

**Meilenstein 7:** Erste Baustellentests der Demonstratoren. Prüfen der Prozesssicherheit. Abgrenzung der Gültigkeit. Neuer Input für AP2, AP3 und AP4

Durch regelmäßigen Informationsaustausch und turnusmäßige Arbeitssitzungen wurden alle Projektpartner eingebunden, um die definierten Projektziele sicher zu erreichen.

**Tabelle 3:** Ausgewählte Veranstaltungen zum Ablauf des Forschungsprojektes

Meeting	Ort	Datum
Kick Off-Meeting	Fa. Kirchner, Bad Hersfeld	06.10.2008
1. Arbeitssitzung	Fa. Dynapac, Wardenburg	12.03.2009
2. Arbeitssitzung	Fa. Moba, Limburg	28.10.2009
3. Arbeitssitzung	BASSt, Bergisch Gladbach	10.02.2010
Demonstrationsveranstaltung	BAB 4 bei Jena	10.07.2010
4. Arbeitssitzung	TU Darmstadt	14.09.2010
5. Arbeitssitzung	Fa. Carnehl, Pattensen	16.03.2011
6. Arbeitssitzung	Hohen Neuendorf	21.11.2011
Demonstrationsveranstaltung	BAB 111 bei Stolpe	22.11.2011

Nachdem erste Demonstratoren entwickelt waren, sind diese auf genehmigten Teststrecken unter realen Bedingungen getestet worden. An den Erprobungsstrecken an der BAB 4 bei Jena und der BAB 111 bei Stolpe ist auch Fachpublikum aus der Branche eingeladen worden. Für die Genehmigung von Teststrecken ist ein großer Aufwand erforderlich, welcher die Unterstützung von Straßenbaubehörden voraussetzt.

Wegen der fehlenden Möglichkeiten der Baustellenerprobung, gerade bei widrigen Witterungsverhältnissen in dem betrachteten Teil der Prozesskette, wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Forschungsprojektes von 6 Monaten und für ausgewählte Projektpartner um ein Jahr notwendig.

## 4 Wissenschaftlicher- und technischer Stand

Es wurden 15 Demonstratoren entwickelt deren Stand der Wissenschaft und Technik an den angeknüpft wurde, der im Folgenden aufgeführt ist.

1. *Eine Mischgutabgabeeinheit für Mischanlagen zur Vermeidung der Entmischungen während des Ladevorgangs des Mischgutfahrzeuges*

Zur Vermeidung von Materialentmischungen beim Umlagern von Schüttgütern wie Asphalt ist es erforderlich, die Bildung eines Schüttkegels zu vermeiden. Bei der Materialübergabe vom Lkw in den Aufnahmebehälter des Beschickers sind keine für den industriellen Einsatz geeigneten Methoden bekannt, um Entmischungen zu vermeiden.

2. *Neuartige Lkw-Lademulden für Mischgut mit Thermospeichereffekt, integrierter Temperaturmess- und Kommunikationseinheit und mit einer entmischungsreduzierten Übergabeeinheit.*

Maßnahmen zur Vermeidung von Mischgutabkühlungen, wie Mischgutabdeckungen während des Transportes am Lkw oder isolierte Wände der Ladefläche der Transportfahrzeuge, sind bekannte Teillösungen. Eine Temperaturüberwachung erfolgt in der Lkw-Mulde nur sporadisch.

Darüber hinaus gibt es Asphalt-Thermo-Container mit zwei separaten Heizkammern, die jeweils mit einem Propangasbrenner beheizt werden und so den Asphalt auf verarbeitungsfähiger Temperatur halten. Die Gasbrenner werden über Thermostate gesteuert und heizen nur, wenn die Temperatur unter einen vorher eingegebenen Wert sinkt. Im Boden des V-förmigen Innenbehälters läuft eine Förderschnecke, die das Material nach hinten aus dem Container fördert. Wegen der hohen Anschaffungs- und Betriebskosten wird diese Technik jedoch ausschließlich bei Reparaturmaßnahmen eingesetzt.

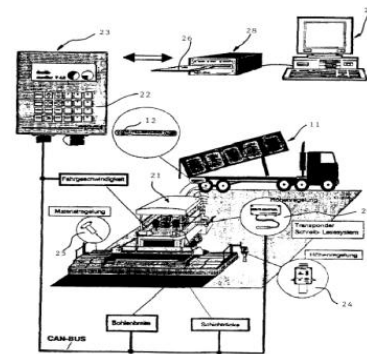


**Abbildung 2:** Asphalt-Thermo-Container

3. *Eine Mess- und Kommunikationseinrichtung für die Prozesskette der Baustofflogistik (Mischanlage – Lkw – Fertiger)*

Aus der Baupraxis sind gegenwärtig keine Applikationen zur Identifikation bei der Mischgutaufnahme bekannt. Lediglich die Firma Moba hat hierzu im Jahre 1992 ein Patent DE 42 11 520 A1 angemeldet.

In dieser Patentschrift sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Datenübermittlung zwischen einem Mischwerk und einem Straßenfertiger vorgestellt. Die Dateninformations-Eingabeeinrichtung stellt im Sinne der RFID eine Schreibstation dar, die im Mischwerk Dateninformationen in den Transponder schreibt. Über den Transponder werden die Informationen zur Baustelle transferiert. Die Transponder-Abfrageeinrichtung wird am Fertiger montiert, um auf der Baustelle die Daten vom Transponder abzufragen



**Abbildung 3:** Informationsfluss Lkw- Straßenfertiger

4. *Eine Mess- und Kommunikationseinrichtung für den Straßenfertiger zur Mischgutaufnahme*

Die Einweisung, der rückwärts rangierenden Transportfahrzeuge zur Mischgutübergabe an den Fertiger oder Beschicker sowie alle weiteren benötigten Informationen zum Ladevorgang an den Fahrzeugführer des Transportfahrzeuges erfolgt heute noch visuell per Handzeichen, was des Öfteren zu Missverständnissen und demzufolge zu Einbauunterbrechungen führt. Ein häufiges Überfüllen des Aufnahmebehälters oder abkippen von Mischgut vor dem Fertiger sind die Folgen.



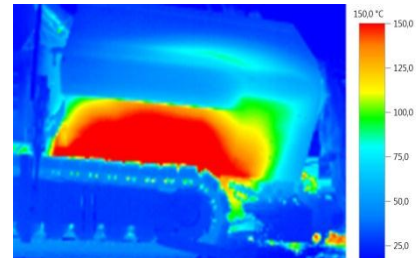
**Abbildung 4:** Übergabebefehler

5. *Eine automatische elektro-hydraulische Andockeinrichtung mit integriertem Stoßabsorber zur Mischgutaufnahme*

Es sind keine vergleichbaren Systeme bekannt bzw. auf dem Markt erhältlich.

6. *Einen neuartigen thermoisolierten Mischgutaufnahmebunker zur Reduzierung der Entmischung und Abkühlung des Mischgutes*

Thermografische Tests während des Mischguteinbaus am Fertiger zeigen eine diskontinuierliche Abkühlung des Asphaltmischgutes während des Einbaus. Entgegenwirkende Maßnahmen am Mischgutbunker sind nicht bekannt. Durch die einklappende Bunkerkinematik kommt es zusätzlich zu einer Entmischung des Asphalts



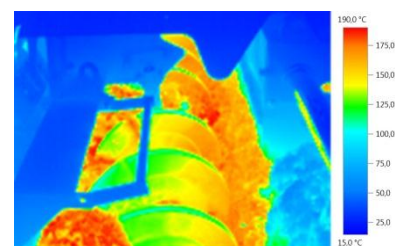
**Abbildung 5:** Thermographieaufnahme Mischgutbunker

7. *Eine neuartige modellgestützte intelligente Prozessregeleinrichtung der gesamten Mischgutlogistik eines Straßenfertigers*

Die verschiedenen Fördereinrichtungen im Straßenfertiger sind nicht miteinander vernetzt, was häufige Füllstandsschwankungen und die damit verbundenen Fehlerquellen zur Folge hat. Selbst eine exakte Bestimmung des Füllungsgrades der Verteilerschnecke über die gesamte Einbaubreite, die im Automatikbetrieb des Fertigers (Sollwert der Füllstandshöhe) die Mischgutverteilung vor der Einbaubohle sicherstellen soll, verhindert nicht, dass nach jedem Einbaustart und –stopp am Verteilerschneckenanfang (Fertigermitte) und –ende maßgebliche Materialentmischungen entstehen.

8. *Ein thermoisolierte Mischgutförder- und Verteilereinrichtung für Straßenfertiger*

Der Asphalttransport im Fertiger hat in der Regel lokale Mischgutabkühlungen zur Folge. Diese entstehen durch Wärmeleitung zu Blechen und Konvektion durch fehlende Abdeckungen. Derzeit sind keine thermoisolierten Förder- oder Verteilereinrichtungen für Straßenfertiger auf dem Markt bekannt.



**Abbildung 6:** Thermobild lokal abgekühlter Asphalt

### 9. Mess- und Kommunikationseinrichtung zur Tendenzbestimmung der Verdichtungsarbeit am Straßenfertiger

Die Einstellung der Maschinenparameter wie Einbaugeschwindigkeit, Höhe der Anlenkpunkte der Nivellierholme, Stampferhub und –frequenz sowie die Vibrationsfrequenz auf das einzubauende Mischgut und der vorgegebenen Belagskonstruktion erfolgt ausschließlich nach Erfahrungswerten und Empfehlungen der Maschinenhersteller.

### 10. Mess- und Kommunikationseinrichtung zur Schichtdickenbestimmung am Straßenfertiger während der Arbeit

Zerstörungsfreie Schichtdickenbestimmungen durch Messungen des Abstandes der eingebauten Schicht von einer Schnur sind bei sorgfältiger Ausführung zufrieden stellend aussagefähig. Sie erfordern jedoch vor dem Einbau der Schicht und nach dem Einbau eine Abstandsmessung von der Schnur, wobei die Präzision der Dickenbestimmung von der exakten Schnurbefestigung und der Schnurspannung abhängig ist.



**Abbildung 7:** Bohrkern zur Messung der Schichtdicke

### 11. Neuartige Nivelliereinrichtung mit integrierter Schichtdickeneinstellung und -regelung für Straßenbaumaschinen

Die Schichtdickenmessung nach dem Bohlen-Geometrie-Messverfahren ermöglicht eine kontinuierliche Messung der Schichtdicke während des Mischguteinbaus, indem über zwei Abstandsmessungen an jedem Nivellierholm der Einbaubohle die Stellung dieser Holme zur Aufstandsfläche des Fertigers oder zu festen Referenzpunkten am Fertiger bestimmt wird. Hierzu sind die beteiligten Firmen im Besitz folgender Schutzrechte:

- DE 196 47 150 A1: Vorrichtung und Verfahren zum Steuern der Einbauhöhe eines Straßenfertigers
- DE 100 25 474 A1: Schichtdickenbestimmung durch relative Lageerfassung zwischen Traktor und Zugarm eines Straßenfertigers
- DE 100 25 462 A1: Schichtdickenbestimmung unter Verwendung eines Neigungssensors

### 12. Anfahrautomatik zur Vermeidung von Anfahrunebenheiten

Das korrekte Einstellen der Schichtdicke an den Zugpunkten der Nivellierholme, deren Höhe sich aus dem Maß der Schichtdicke, dem Walzmaß und der Größe des Anstellwinkels der Einbaubohle ergibt, ist insbesondere während des instationären Betriebszustandes derart komplex, dass ca. 80 % aller erstellten Tagesansätze heute noch mit unzulässigen Fahrbahnunebenheiten behaftet sind und nachgearbeitet werden müssen.

*13. Temperaturmesssystem für die komplette Mischgutlogistik im Straßenfertiger*

Die Mischguttemperatur wird nur stichprobenartig im Mischgutbunker, Schneckenraum oder hinter der Einbaubohle des Fertigers mit Einsteckthermometer gemessen und nicht kontinuierlich durch gleichmäßig über die Einbaufläche verteilte Messeinrichtungen.

*14. Ablegeautomat zur Ablage und Positionierung von metallischen Gegenpolen, geeignet als Trägermaterial für zukünftige intelligente Sensoren*

Die Gegenpole werden per Hand auf dem Untergrund positioniert und es ist kein automatisiertes System auf dem Markt erhältlich.

*15. Mess- und Kommunikationseinrichtung zur Bestimmung der Belagsdicke und Mischguttemperatur an Walzen*

Information für die Walzenfahrer über Mischgutart und -sorte, um zwischen statischer- und Vibrationsverdichtung wählen zu können. Information über die Temperatur der eingebauten Schicht und deren Veränderung, um die Entfernung zur Einbaubohle, Übergangszahl und Verdichtungsgeschwindigkeit zu variieren.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Gemäß der Projektstruktur ergeben sich für die einzelnen Partner, neben klar abgegrenzten Teilaufgaben, partnerübergreifende Querschnittsaufgaben. Diese sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

**Tabelle 4:** Arbeitsteilung des Konsortiums

Arbeitspakete / Teilaufgaben	Projektpartner								
	KIR	DA	CARN	DYN	MOBA	BAST	FHK	TUD	Σ MM
<b>AP1 Analysen, Lasten-/Pflichtenheft</b> AP1.1 Prozess- und Funktionsanalyse AP1.2 Strukturanalyse Informations- u. Kommunikation AP1.3 Ist-Analyse Mischguttemperatur u. Entmischung AP1.4 Kunden-Nutzen- u. Kosten-Nutzen-Analyse	8	2	2	4	4	3	6	3	32
<b>AP2 Mischgutlogistik Transport</b> AP2.1 Mischgutaufnahme AP2.2 Mischguttransport AP2.3 Mischgutübergabe	5	10	11	2	4	2	2	2	38
<b>AP3 Mischgutlogistik Fertiger</b> AP3.1 Mischgutaufnahme AP3.2 Mischgutförderung AP3.3 Mischgutverteilung	12	2	3	8	9	4	10	2	50
<b>AP4 Einbau</b> AP4.1 Schichtdicke, -profil u. -ebenheit AP4.2 Ablegeautomat AP4.3 Verdichtung AP4.4 Test Bodenrinne	20	2	2	8	20	4	26	4	86
<b>AP5 Nachverdichtung</b> AP5.1 Schichtdicke AP5.2 Walzverdichtung AP5.3 Kommunikationstechnik	14	2	2	14	12	4	10	8	66
<b>AP6 Information- u. Netzwerkstruktur</b> AP6.1 Logistikinformationssystem AP6.2 Temperaturnetzwerk	10	4	3	6	12	6	10	6	57
<b>AP7 Tests und Erprobung</b> AP7.1 Tests im Versuchsgelände AP7.2 Erprobung in der betrieblichen Praxis AP7.3 Baustellenerprobung	12	2	1	4	8	6	10	27	70
<b>AP8 Ergebnistransfer</b>	1	-	-	-	1	1	2	1	6
<b>AP9 Gesamtprojektkoordination</b>	6	-	-	-		6	-	-	12
<b>Σ MM</b>	<b>88</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>46</b>	<b>70</b>	<b>36</b>	<b>76</b>	<b>53</b>	<b>417</b>

 Hauptverantwortlicher für das Arbeitspaket

Durch das große Interesse aus Industrie und Behörden an diesem Forschungsvorhaben, wurde schon kurz nach Projektstart durch forschungsbegleitende Arbeitskreise eine geeignete Informationsplattform gegründet. Hier haben Interessenten entweder direkt oder über

Gremien wie den VDMA (FVB), DAV, FGSV, BG Bau und der VDBUM die Möglichkeit frühzeitig von den Forschungsergebnissen zu partizipieren. Des Weiteren wurden zu den Arbeitssitzungen maßgebliche Mitbewerber eingeladen. Durch den stetigen Informationsaustausch wurde die Akzeptanz und schnelle Umsetzung der Forschungsergebnisse in der Straßenbaubranche deutlich vorangetrieben.

## **II Eingehende Darstellung**

Im Forschungsprojekt PAST wurde die Prozesskette des maschinellen Asphaltstraßenbaus substantiell verbessert. Es wurden 15 Demonstratoren zur Qualitätsverbesserung des maschinellen Straßenbaus entwickelt. Diese neuartigen Entwicklungen wurden in unterschiedlichen Praxisversuchen erprobt und ein Großteil der Ergebnisse wurde öffentlich frei verfügbar gemacht. Das Projekt zeichnet sich besonders durch ein hohes Publikationsvolumen, mit einer Vielzahl an Präsentationen, Veröffentlichungen und eigens organisierten Demonstrationsveranstaltungen aus.

### **1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele**

#### **AP1 Analysen, Lasten-/ Pflichtenheften**

Die Durchführung der Analysen, Lasten-/ Pflichtenheften definiert das Konzept und die Spezifikation der für die Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen beim Einbau von Asphalt in Frage kommenden Techniken der Kommunikations- und Informationstechnologie, der Maschinen- und Anwendungstechnik. Außerdem wurden die Brauchbarkeit, die Machbarkeit und der Gültigkeitsbereich des gesamten Projektes beurteilt.

#### **Aufgabenstellung AP1**

Detaillierte Analyse und Anforderung:

- Prozess- und Funktionsanalyse der Mischgutlogistik beim Transport, der Mischgutlogistik im Fertiger, des Einbaus und der Nachverdichtung
- Strukturanalyse der Information und Kommunikation im Einbauprozess
- Ist-Analyse des Mischgut-Temperaturverlaufes und der Materialentmischung während des Einbauprozesses

#### **Ergebnisse im AP1**

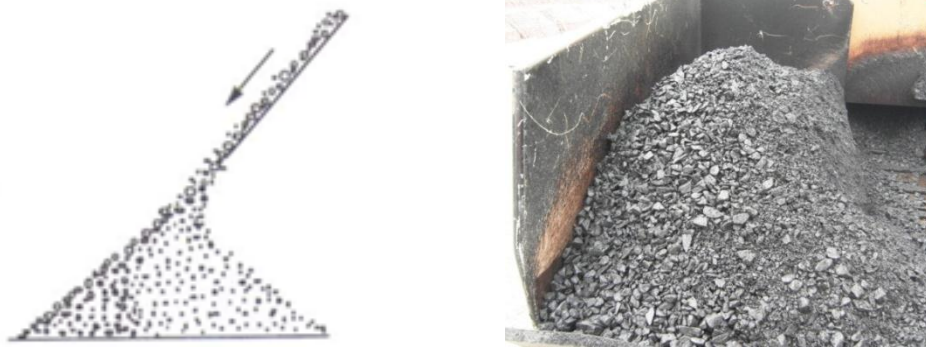
Ergebnis dieses Arbeitspaketes ist ein Pflichten- und Lastenheft, welches die Spezifikation, die Vorgehensweise der Vorentwicklung, die Schritte der Machbarkeitsuntersuchung, die durchzuführenden Erprobungen und den Zeitplan für die Teilarbeitsschritte für alle Projektpartner detailliert festlegt.

Umfangreiche Recherchen und Baustellenbeobachtungen zu Beginn des Projektes deckten zahlreiche Schwachstellen in der gesamten Prozesskette des maschinellen Asphalteinbaus auf. Diese Erkenntnisse zeigten, dass die größtmögliche erzielbare Einbauqualität von Belagsschichten im Asphaltstraßenbau, hinsichtlich Verdichtung, Fahrbahnebenheit und -Profillage, Schichtdicke und Fahrbahnoberflächenstruktur, sich nur durch eine kontinuierliche, störungsfreie Mischgutversorgung mit gleich bleibenden Mischgut- und Maschinenparametern, wie Einbaugeswindigkeit, Stampfer- und Vibrationsfrequenz der Verdichtungsaggregate in nahtloser Bauweise erreichen lässt.



Zur Vermeidung von Materialentmischungen beim Umlagern von Schüttgütern wie Asphalt ist es erforderlich, die Bildung eines Schüttkegels zu vermeiden. Bei der Materialübergabe vom Lkw in den Aufnahmebehälter des Beschickers sind keine für den industriellen Einsatz geeigneten Methoden bekannt, um Entmischungen zu vermeiden. Nachteilig bei allen maschinentechnischen Entwicklungen zur Vermeidung von Entmischungen am Baustoff während des Einbauprozesses, sind entweder die hohen Anschaffungs- und/oder Betriebskosten oder eine nicht ausreichende Reduzierung der Entmischung.

Entmischungen des Asphaltmischgutes während des Mischguttransportes im Fertiger sowie die Mischgutverteilung vor der Einbaubohle treten je nach Mischgutzusammensetzung besonders in Erscheinung, wenn sich bei der Mischgutumlagerung ein Schüttwinkel bilden kann (siehe **Abb. 8**). Diesem Qualitätsmangel wird zum Teil mit unzureichenden technischen Hilfsmitteln, wie der Montage von starren Kanalabweisblechen und Schneckenverbreiterungen versucht entgegenzuwirken. Auch eine exakte Bestimmung des Füllungsgrades der Verteilerschnecke über die gesamte Einbaubreite, die im Automatikbetrieb des Fertigers (Sollwert der Füllstandshöhe) die Mischgutverteilung vor der Einbaubohle sicherstellen soll, verhindert nicht, dass nach jedem Einbaustart und –stopp am Verteilerschneckenanfang (Fertigermitte) und –ende maßgebliche Materialentmischungen entstehen.



**Abbildung 8:** Materialentmischung im Außenbereich des Bunkers

Besonders gravierend wirken sich Temperaturunterschiede im Asphalt auf die Verdichtung und damit auf die Ebenheit und Nutzungsdauer des Straßenbelages aus. Maßnahmen zur Vermeidung von Mischgutabkühlungen, wie Mischgutabdeckungen während des Transportes am Lkw oder isolierte Wände der Ladefläche der Transportfahrzeuge wie auch der Bunkerwände am Fertiger, sind nur Teillösungen dieser Problematik. Umso verwunderlicher ist es, dass die Mischguttemperatur noch heute nur stichprobenartig im Mischgutbunker, Schneckenraum oder hinter der Einbaubohle des Fertigers mit Einstechthermometer gemessen wird und nicht kontinuierlich durch gleichmäßig über die Einbaufäche verteilte Messeinrichtungen.

Die Einstellung der Maschinenparameter wie Einbaugeschwindigkeit, Höhe der Anlenkpunkte der Nivellierholme, Stampferhub und –frequenz sowie der Vibrationsfrequenz auf das einzubauende Mischgut und der vorgegebenen Belagskonstruktion erfolgt ausschließlich nach Erfahrungswerten und Empfehlungen der Maschinenhersteller. Neben dem Verdichtungsgrad, der Ebenheit und der Griffigkeit ist die Dicke und das Querprofil der Belagsschicht eine wichtige Anforderung im Hinblick auf die Qualität einer Straße. Dem Vorzug der Messung am Bohrkern, gleichzeitig die Dicke aller eingebauten Schichten bestimmen zu können, steht der

Nachteil des Aufwandes für eine punktuelle Messung und der Zerstörung der Schichten durch die Bohrungen entgegen.

Das korrekte Einstellen der Schichtdicke an den Zugpunkten der Nivellierholme, deren Höhe sich aus dem Maß der Schichtdicke, dem Walzmaß und der Größe des Anstellwinkels der Einbaubohle ergibt, ist insbesondere während des instationären Betriebszustandes, d. h. beim Einbaustart z.B. eines Tagesansatzes derartig komplex, dass ca. 80% aller erstellten Tagesansätze heute noch mit unzulässigen Fahrbahnunebenheiten behaftet sind und nachgearbeitet werden müssen.

Die Wahl des richtigen Bohlenanstellwinkels  $\varphi$  ist entscheidend für den Einbau einer Schichtdicke und Belageebenheit in den geforderten Einbautoleranzen. Der sich einstellende Anstellwinkel  $\varphi$  der Bohle wird nicht, wie häufig fälschlicherweise vermutet, allein durch die Höhenverstellung der Anlenkpunkte der Nivellierholme erreicht sondern in einem viel stärkeren Maße durch das sich einstellende Kräftegleichgewicht zwischen Einbaubohle und Einbaumaterial unterhalb und vor der Bohle.

Es wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner MOBA AG ein Konzept für die Entwicklung eines geeigneten Messsystems erarbeitet. Hierzu wurden durch das isac die Anforderungen an das System formuliert, die eine Abtastung der Oberfläche mit Lasersensoren ermöglichen.

Aufgrund der direkten Abhängigkeit der Ermüdung der Straßenkonstruktion von der dynamischen Belastung, die sich aufgrund der Unebenheiten in der Straßendeckschicht bei Überrollung durch den Verkehr einstellt, ist von einem volkswirtschaftlichen Nutzen durch Erhöhung der Längsebenheit auszugehen, da durch die Verbesserung der Einbauqualität eine Verlängerung der Straßendeckschicht erreicht wird. Darüber hinaus sind positive wirtschaftliche Effekte durch körperliche Entlastung von Viel- und Berufskraftfahrern infolge verringerter Schwingungen des Fahrzeugs zu erwarten. Die ausführenden Baufirmen profitieren ferner von der sofortigen Messung und Bewertung der Längsebenheit, da systembedingte Einbaufehler gemindert und vermieden werden können, wodurch evt. anfallende Vertragsstrafen reduziert werden. Eine Bewertung der Geräuschentwicklung konnte wegen der nicht ausreichenden Auflösung der Lasersensoren im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt werden.

## **AP2 Mischgutlogistik Transport**

Das Einbaumischgut soll von der Mischanlage über die Transportkette bis zur Mischgutübergabe zum Beschicker oder Fertiger, seine Eigenschaften wie Mischguttemperatur und Mischgutmischung nicht verändern. Maßnahmen im Prozessablauf und technischen Hilfseinrichtungen bei der Aufnahme des Mischgutes von der Mischanlage zum Lkw, sowie Bauart und Lagerung der Lkw-Mulde, sollen während des Transportes und der Mischgutübergabe zum Fertiger dieses wirkungsvoll verhindern.

### **Aufgabenstellung AP2**

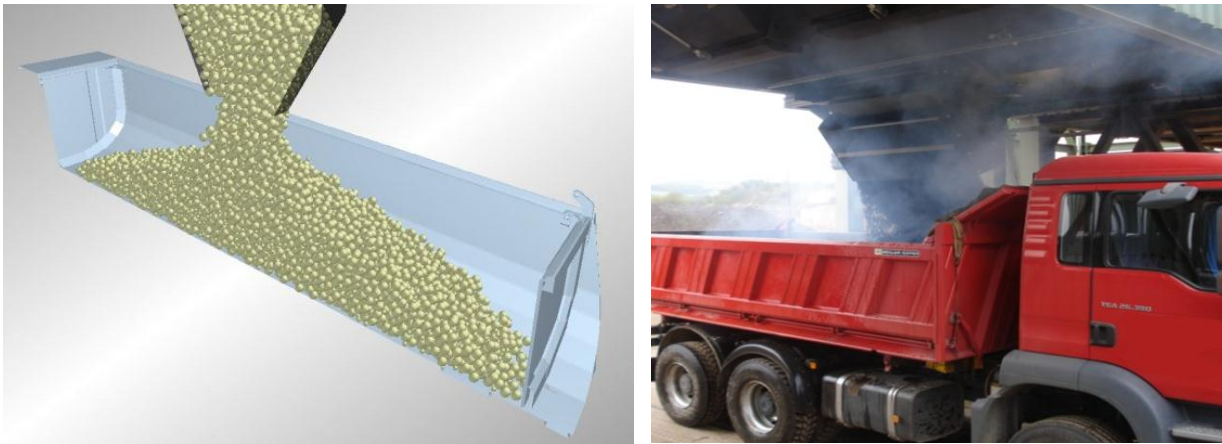
Untersuchung von verfahrenstechnischen Maßnahmen zum Erhalt der optimalen Verarbeitungseigenschaften des Mischgutes:

- Analytische Untersuchung des Beladevorganges mittels der Diskreten Elemente Methode (DEM)
- Analytische und experimentelle Untersuchung zum Schwingungsverhalten der Lkw-Lademulde
- Praktische Untersuchungen zum Temperatur- und entmischungsverhalten während des Transportes

### **Ergebnisse im AP2**

Die Prozesskette im Asphaltstraßenbau beginnt mit der Beladung des Lkw's durch eine stationäre oder mobile Mischanlage. Außer der Produktionsqualität des Mischguts spiegelt sich auch die Art der Beladung später in der Qualität der Straße wieder. Entmischungsfreies Beladen setzt voraus, dass über den gesamten Lkw-Querschnitt Asphalt mit konstanter Mischgutzusammensetzung eingefüllt wird. Bei einer Schüttkegelbildung neigen die großen Partikel dazu, an den Schüttflanken nach unten zu rollen und tragen somit zur Inhomogenität des Mischgutes bei.

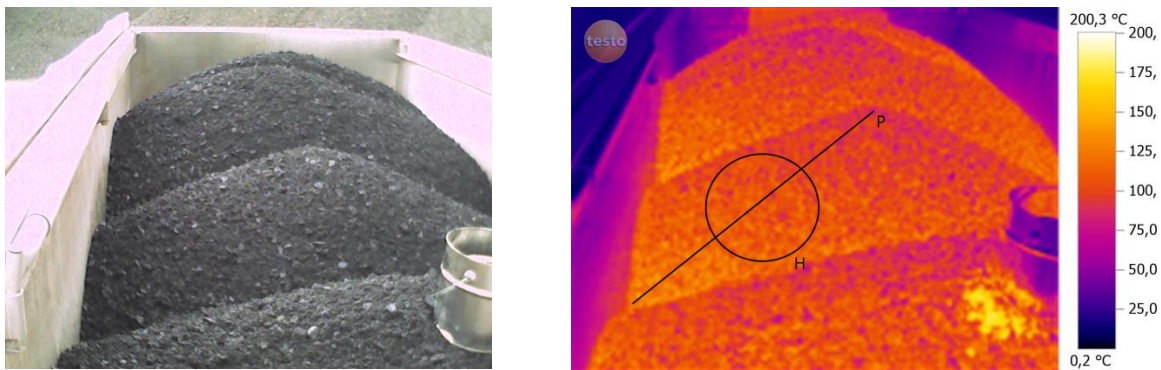
Um die einzelnen Schwachstellen in diesem Teil der Prozesskette zu erkennen und zu analysieren wurde zunächst die Befüllung des Lkw's durch den Einsatz der Diskreten Elemente Methode abgebildet. Im Anschluss zeigten verschiedene Voruntersuchungen, Simulationen und praktische Versuche mit einer schwenkbaren Schurre, welche an der unteren Öffnung des Verladesilos am Mischwerk installiert wurde, dass das Mischgut entmischungsfreier verladen werden kann. Diese Schurre schwenkt abhängig vom Füllungsgrad der Halbschalen- oder Kastenmulde um die Fahrzeuglängsachse und kann besonders in den Außenbereichen die Entmischungszonen verringern. Neben der gleichmäßigen Befüllung lässt sich die Entmischung außerdem während der Beladung durch eine minimale Fallhöhe mit geringem Schüttkegel effektiv eingrenzen.



**Abbildung 9** links: Simulation des Beladungsvorganges, rechts: schwenkbare Schurre

Des Weiteren wurde mittels Schwingungsuntersuchungen an einer Lkw-Mulde analysiert, dass Entmischungen durch Perkolation während der Fahrt zur Baustelle auftraten, welche die Qualität der Straße nachhaltig reduziert.

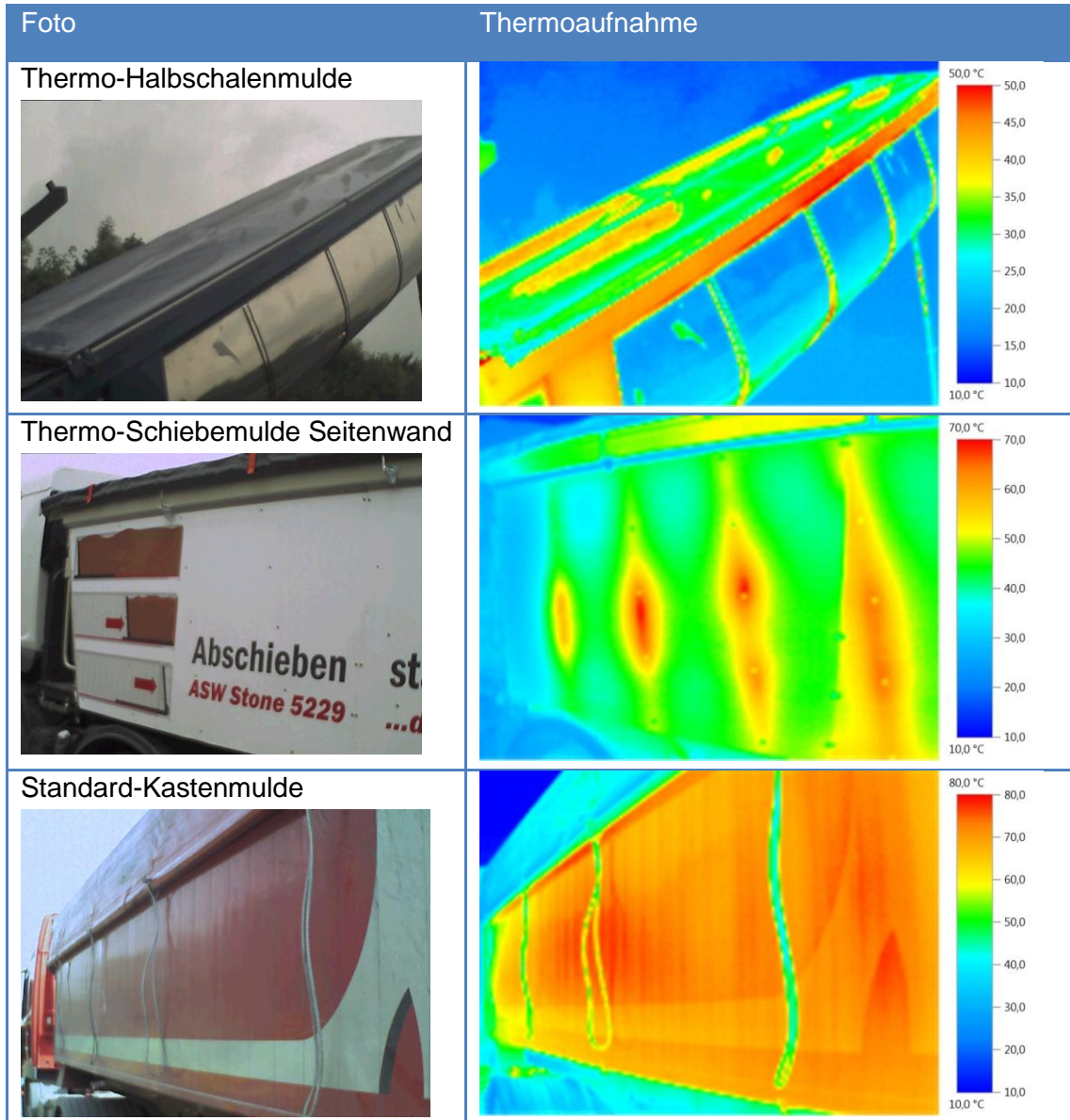
Im Rahmen des Forschungsprojektes PAST wurde ein Versuchsprogramm zur Ermittlung der Entmischung beim Einbauprozess durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass bei einem Lkw nach nur 3 Minuten ohne Abdeckung bei Wind ein Temperaturverlust an der Oberfläche von über 10°C auftrat. Bei anschließender Abdeckung hat sich die Temperatur in der Mulde wieder homogenisiert. Weiterhin zeigten die Versuche, dass der Temperaturverlust nach einer 20-minütigen Fahrt mit abgedeckter Mulde nur wenige Grad beträgt.



**Abbildung 10:** Temperatursensoren in der Mulde

Die Mischgutübergabe zum Beschicker- oder Fertigerbunker findet in der Regel mit Lkw-Hinterkippen statt. Je nach Mischguteigenschaften und Füllungsgrad der Mulde kommt es beim Kippen der Mulde um den Winkel  $\alpha$ , zum Befüllen des Mischgutbunkers. Darüber hinaus wurden auf Versuchsstrecken auch Schiebemulden eingesetzt. Hierbei wird durch einen verschiebbaren Muldenboden und ein Räumschild das Mischgut kontinuierlich in den Mischgutbunker verladen und kann auch unter Brücken sicher eingesetzt werden.

Setzt man für die betrachteten Mulden in **Abb. 11** gleiche Randbedingungen wie Mischguttemperatur bei der Befüllung, Witterungsverhältnisse und Transportzeit voraus, so lässt sich durch die Thermographie-Aufnahmen auf die Isolationswirkung und die Temperaturverteilung im Mischgut schließen.



**Abbildung 11:** Thermo­aufnahmen unterschiedlicher Lkw Mulden beim Einbau auf der Ver­suchsstrecke an der A33

Aus **Tabelle 5** gehen die unterschiedlichen Isolationswirkungen hervor, wobei jeweils die mittleren Temperaturen der großen Flächen in Betracht gezogen wurden. Darüber hinaus treten bei den isolierten Mulden konstruktionsbedingte Temperaturspitzen auf, bei denen es zur Wärmeleitung durch Verbindungsteile zwischen Innen- und Außenwand kommt.

**Tabelle 5:** Gegenüberstellung der mittleren Außenwandtemperatur

Mulden	Mittlere Wandtemperatur [°C]
Isolierte Halbschalenmulde (Carnehl)	27
Isolierte Schiebemu­de	43
Standard Kastenmulde	75

### AP3 Mischgutlogistik Transport

Das 3. Arbeitspaket beinhaltet die prozesssichere und entmischungsfreie Mischgutaufnahme, -transport und -verteilung im Fertiger durch eine geeignete Prozessautomatisierung der Mischgutaufnahme der -förder- und -verteilung mit neuer mechanischer Führungstechnik und Wärmeisolierung der Mischgut-aufnahme, -förderung und -verteilung.

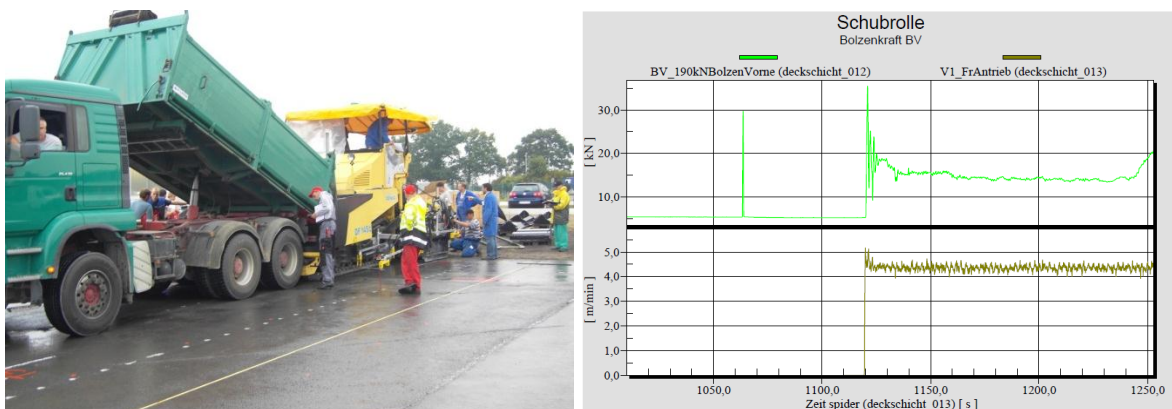
### Aufgabenstellung AP3

Detaillierte Analyse und Anforderung:

- Entwicklung und Untersuchung eines automatisierten Informations- und elektrohydraulischen Andocksystems
- Analytische Untersuchungen zur Fördereinrichtung des Kratzketten- und Bandförderers vom Beschicker und Straßenfertiger
- Entwicklung und Untersuchung einer automatisierten prozesssicheren Mischgutverteilung mit wärmeisolierter und entmischungsreduzierter Form der Verteilereinrichtung

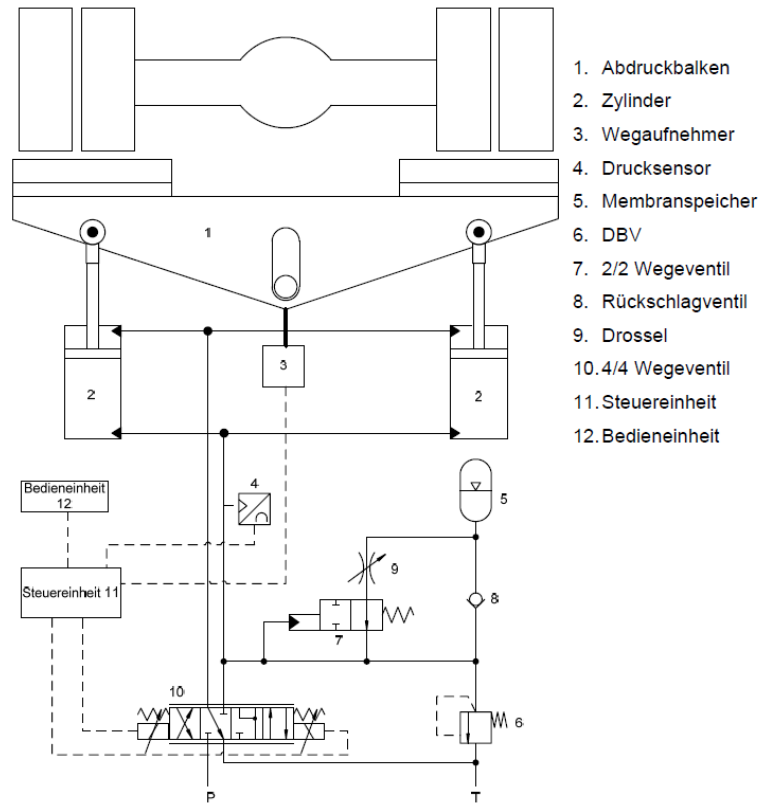
### Ergebnisse im AP3

Entwickelt wurde ein variabler Abdruckbalken, welcher in Längsrichtung verstellbar ist. Zur Verstellung des Abdruckbalkens werden zwei Hydraulikzylinder verwendet, die an das in dem Fertiger vorhandene Hydrauliksystem angegliedert werden. Grundlage hierfür sind vorangegangene Kraftmessungen an der Schubrollenschwinge des Fertigers mit Scherkraftmessbolzen.



**Abbildung 12:** Kraftverlauf beim Andockvorgang

Mittels eines 4/4-Wegeventils sollen die Zylinder verstellt werden. Die Dämpfung wird durch einen an der Kolbenseite angebauten Membranspeicher realisiert. Da die Membrane bei schnellen Entladungsvorgängen gegen das Gehäuse schlagen können und so die Haltbarkeit verringert wird, wurde zusätzlich eine Drossel vorgesehen. Damit der Dämpfungsvorgang (Ladevorgang) weiterhin zügig funktioniert, ist ein Bypass mit einem Rückschlagventil zu verwenden. Zur Absicherung gegen Überlastung wird ein Druckbegrenzungsventil verwendet, welches bei zu hohem Druck öffnet. Ein Mengenteiler, der ein gleichmäßiges Ausfahren der Zylinder ermöglichen kann, wird nicht verwendet, da sonst das Pendeln des Abdruckbalkens nicht möglich ist.



**Abbildung 13:** Aufbau der Verstelleinrichtung

Für das AP3.2 wurden hydraulische Messkomponenten zur Leistungsbestimmung der Materialförderung am Straßenfertiger installiert und in Betrieb genommen. Hierbei stellte sich heraus, dass durch Variation von Maschinenparametern (z.B. Längsförderung mit unterschiedlichen Abständen der Kratzkettenförderer), Optimierungspotential hinsichtlich Energieeinsparung und Entmischungsreduzierung vorhanden ist.

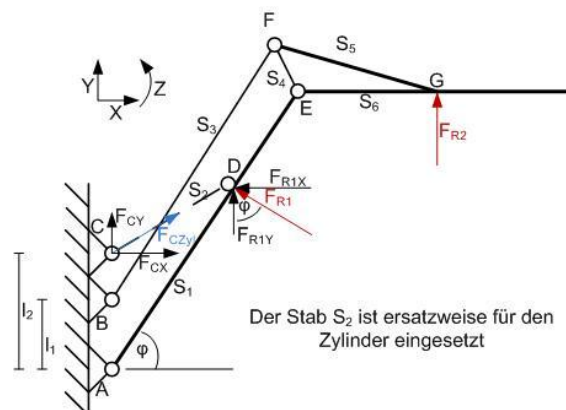
### Mischgutbunker

Die Mischgutübergabe zwischen Lkw und Beschicker bzw. zwischen Lkw und Fertiger stellt eine für die Mischgutqualität wichtige Schnittstelle dar. Bei der bereits analysierten konventionellen Bunkerkinematik treten in den Randbereichen verschiedene Arten von Entmischung auf. Mit den bekannten Funktionsanforderungen, der Mischgutaufnahme und die Mischgutspeicherung und den weiteren Anforderungen für eine sichere Mischgutübergabe wurden Lösungsvarianten gesucht. In Form von einem morphologischen Kasten (**Tabelle 6**) werden die verschiedenen Lösungen in einer Matrix dargestellt und das Zielsystem den Anforderungen entsprechend ausgewählt.

**Tabelle 6:** Morphologischer Kasten zur Mischgutaufnahme

	Element1	Element2	Element3	Element4
<b>Kinematik (Wandzustellung)</b>	rotatorisch gelagert (Längsachse)	rotatorisch gelagert (Hochachse)	translatorisch (Querachse)	
<b>Aufnahme der Reaktionskräfte (Wand)</b>	Gleitlager	Wälzlager	Linearführung	Gleitführung
<b>Antrieb (Wandzustellung)</b>	Elektromotor (Linear/rotatorisch)	Hydraulikzylinder (Linear/rotatorisch)	Pneumatikzylinder (Linear/rotatorisch)	Handkraft
<b>Bodenplatte</b>	starr	teleskopierbar	elastisch	starre Segmente zum Aufrollen (Rolladenprinzip)
<b>Kinematik (Bodenzustellung)</b>	rotatorisch gelagert (Längsachse)	rotatorisch gelagert (Hochachse)	translatorisch (Querachse)	
<b>Antrieb (Bodenzustellung)</b>	Elektromotor (Linear/rotatorisch)	Hydraulikzylinder (Linear/rotatorisch)	Pneumatikzylinder (Linear/rotatorisch)	Handkraft
<b>Aufnahme der Reaktionskräfte (Wand)</b>	Gleitlager	Wälzlager	Linearführung	Gleitführung
<b>LKW Breite erfassen / Abstandsmessung</b>	Näherungsschalter magnetisch	Näherungsschalter optisch	Näherungsschalter induktiv	Näherungsschalter Ultraschall
<b>Automatisierung</b>	Regelung	Steuerung		

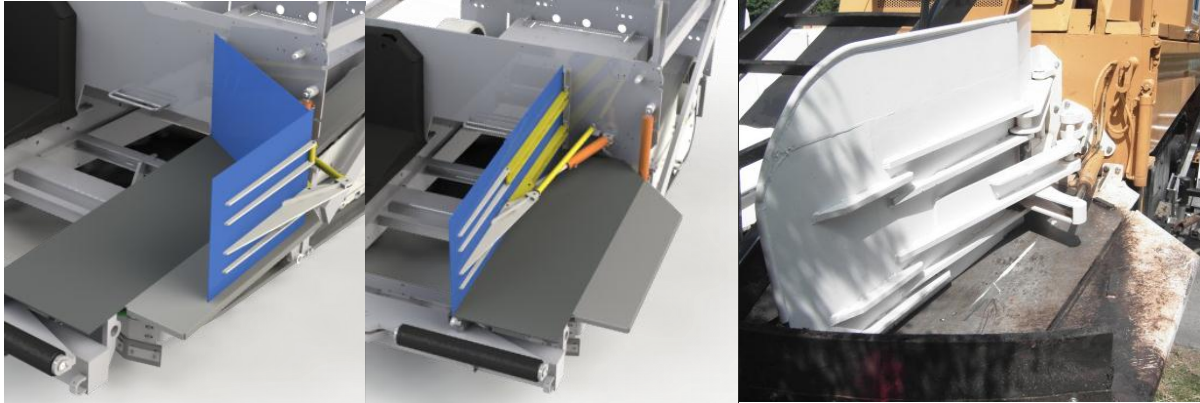
Die geeignetste Variante wurde ausgearbeitet und wird im Folgenden dargestellt. Wobei sich die kritischen Zonen, welche zur Entmischung neigen, durch eine gelenkige Lagerung und eine Abstandsregelung zwischen Bunkerwand und Lkw-Mulde reduzieren lassen. Eine geteilte, gelenkig gelagerte Bunkerwand, welche über doppelwirkenden Hydraulikzylinder angetrieben wird, erfüllt alle Anforderungen an die Mischgutaufnahme. In **Abb. 14** ist das Ersatzsystem der neuen Bunkerkinematik dargestellt. Über die Hebelkonstruktion der Stäbe  $S_3$ ,  $S_4$  und  $S_5$  ist eine Drehbewegung der vorderen Bunkerwand ( $S_6$ ) im Gelenk E möglich.



**Abbildung 14:** Zweidimensionales Ersatzsystem (Draufsicht)



Eine Festigkeitsberechnung der kritischen Stellen (Gelenke und Schweißnähte) führte zur Dimensionierung der Bauteile und somit zur fertigen Konstruktion. In **Abb. 15** ist die Konstruktion der neuen Bunkerwände aus verschiedenen Ansichten dargestellt. Besonders hierbei ist die einfache Adaptierung an den Fertiger DF 135C, wobei die Antriebseinheit übernommen werden kann.



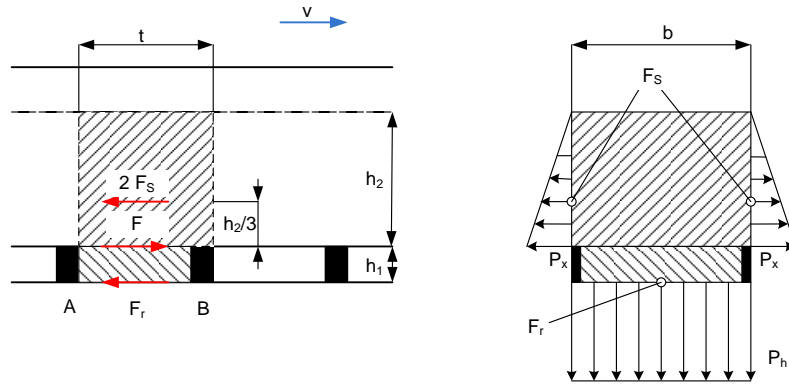
**Abbildung 15:** *links:* geöffnete Bunkerwand *mittig:* geschlossene Bunkerwand  
*rechts:* erstellter Demonstrator am Versuchsfertiger

### Analytische Untersuchung des Kratzkettenförderers

Der Straßenfertiger besitzt in der Regel zwei unabhängig voneinander regelbare Längsförderer. Wobei das Fördergut durch mehrere am Kettenstrang befestigte Mitnehmer in Teilmengen zur Verteilerschnecke geschoben wird. Das Fördergut wird von einer Materialschicht  $s$  getragen, die durch die Querstreben der Transportkette geschoben werden. Die Transportrinne wird von einer Blechkonstruktion und durch das Schüttgut selbst gebildet [Ho94]. Die maximale Förderschichthöhe hängt von folgenden Faktoren ab:

- Von der inneren Reibung des Materials.
- Von der äußeren Reibung.
- Vom spezifischen Gewicht des lose aufgeschütteten Mischgutes.

Die Geschwindigkeiten des Mischgutes sind über den Querschnitt unterschiedlich. In den Randzonen ist die Geschwindigkeit am kleinsten, im Kern in der Nähe der Querstreben am größten. Die maximal zu transportierende Mischguthöhe wird von der Reibung an den Gleitflächen des Mischgutstroms und der Mitnehmerteilung beeinflusst.



**Abbildung 16:** Ersatzmodell; senkrechter Träger ist zwischen den einzelnen Mitnehmern eingespannt [Ku88]

Die Mitnehmerteilung AB bewegt die Tragschicht, so dass über Kraftschluss die darüber liegende Schicht transportiert wird. Diese Reibkraft wird von der Gewichtskraft der oberen Schicht beeinflusst und muss größer als die beiden Reibungskräfte der Seitenwände sein. Sie bestimmt sich aus:

$$F = b \cdot h_2 \cdot t \cdot \rho \cdot g \cdot \mu \quad \text{Gl.1}$$

Der Vertikaldruck bewirkt durch innere Reibung im Mischgut eine Schubspannung, welche nicht kleiner sein darf als die gleichmäßig verteilte Schubspannung auf der Trennungsfläche AB. Für den Grenzfall, dass beide Spannungen gleichgroß sind, lässt sich die Mischguthöhe  $h_2$  wie folgt bestimmen:

$$h_2 = \frac{1}{4 \cdot \mu} \left( \sqrt{\frac{8 \cdot t \cdot b \cdot \mu^2 + t^2 \cdot \mu_w \cdot \tan^2\left(\frac{\pi - \varphi}{4}\right)}{\mu_w \cdot \tan^2\left(\frac{\pi - \varphi}{4}\right)}} - t \right) \quad \text{Gl.2}$$

Löst man die obige Gleichung nach  $t$  auf erhält man die untere Grenze für die Mitnehmerteilung  $t_{\min}$ .

$$t_{\min} = \frac{2 \cdot \mu \cdot \mu_w \cdot h_2^2 \cdot \tan^2\left(\frac{\pi - \varphi}{4}\right)}{b \cdot \mu - h_2 \cdot \mu_w \cdot \tan^2\left(\frac{\pi - \varphi}{4}\right)} \quad \text{Gl.3}$$

Andererseits kann die Mitnehmerteilung nicht beliebig vergrößert werden, weil dadurch die Widerstände an der Tragschicht zunehmen. Dadurch vergrößert sich auch der Horizontaldruck, mit dem der Mitnehmer auf das Mischgut wirken muss. Wenn die daraus resultierenden Schubspannungen die innere Reibung des Mischgutes übersteigen, entstehen Risse im Förderstrom und die Gleitflächen erweitern sich. Dieser Vorgang hat eine Vergrößerung des Kraftbedarfs mit einer Verringerung des Massenstroms zur Folge.

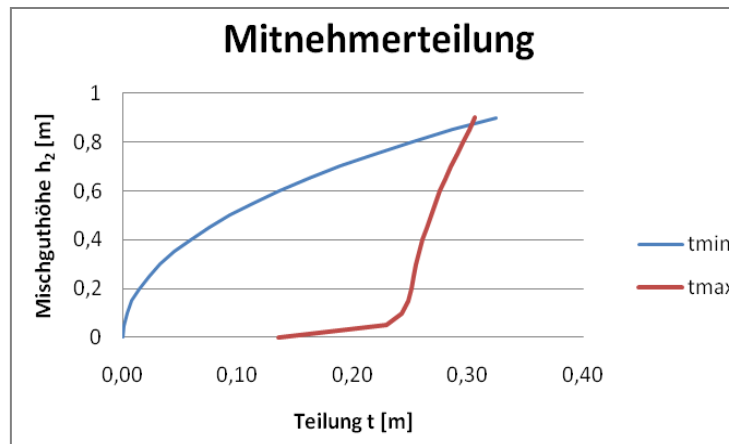
$$t_{\max} = \frac{\left(h_2 + \frac{h_1}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \lambda\right) h_1 \cdot b + \sqrt{\left(\left(h_2 + \frac{h_1}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \lambda\right) h_1 \cdot b\right)^2 + 4 \cdot [b \cdot (h_1 + h_2) + h_2^2 \lambda] \mu_w^2 \cdot h_1 \cdot h_2^3 (1 + \lambda^2)}}{2 \cdot [b \cdot (h_1 + h_2) + h_2^2 \lambda] \mu_w}$$

Wobei gilt:

$$\lambda = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

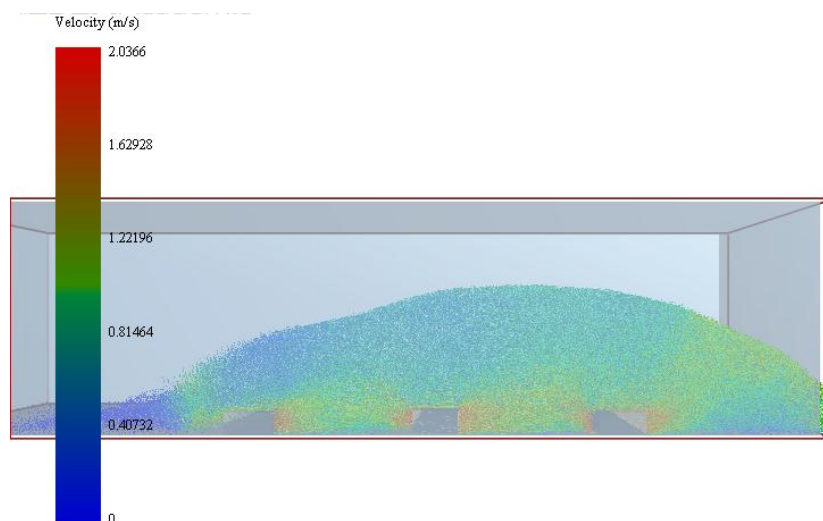
GI.5

In **Abb. 17** sind die minimalen und maximalen Stegabstände für Asphaltmischgut aufgetragen. Als Materialhöhe  $h_2$  wird die Tunnelhöhe vom Straßenfertiger abzüglich 10 cm gewählt. Es fällt auf, dass die Steghöhe einen besonders großen Einfluss hat.



**Abbildung 17:** Berechnete min. und max. Mitnehmerteilung in Abhängigkeit der Mischguthöhe  $h_2$

In **Abb.17** ist rechts die Mitnehmerteilung in Abhängigkeit der Mischguthöhe dargestellt. Die Berechnungen von  $t_{\min}$  und  $t_{\max}$  stellen nur grobe Näherungen dar. Der Mischgutstrom ist dahingehend vereinfacht, dass er aus einer Reihe senkrechter Träger besteht, die zwischen den Mitnehmern eingespannt sind.

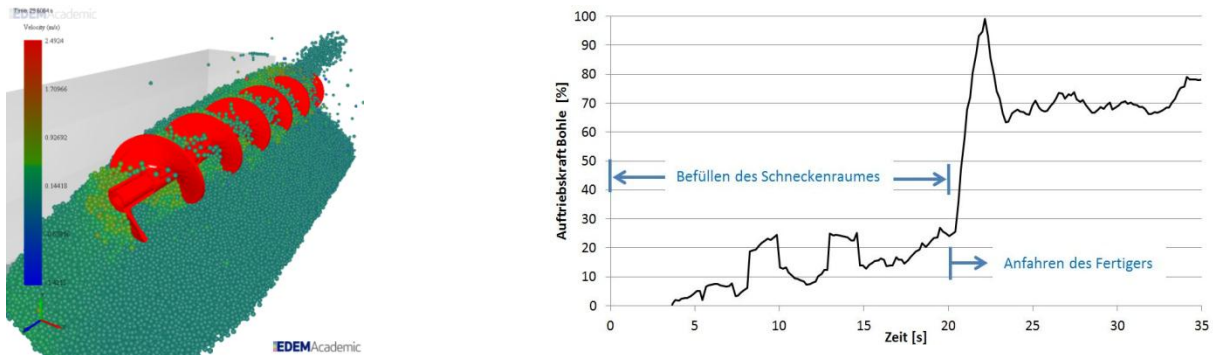


**Abbildung 18:** DEM-Simulation eines Kratzkettenförderers

Die Simulation des Mischguttransports mittels der Diskreten Elemente Methode (DEM) wurde plangemäß durchgeführt. Die Simulation erbrachte wichtige Prozessparameter, wie z.B. den Versetzungswiderstand sowie Geschwindigkeits- und Druckverteilung des Mischguts während des Einbauprozesses.

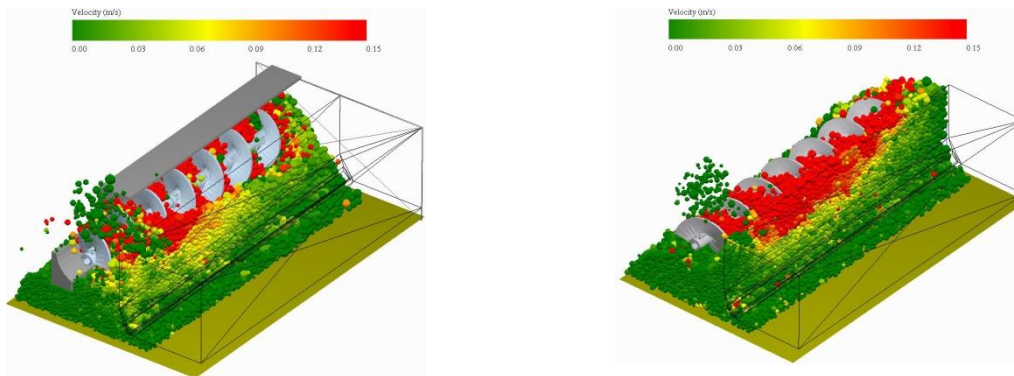
## Analytische Untersuchung Verteilerschnecke

Gemäß AP 3.3 wurde ein Simulationsmodell des Schneckenraumes erstellt, welches in den geometrischen Abmaßen einem Dynapac-Fertiger entspricht. Die Mischguteigenschaften wie Reibung, Elastizität oder Adhäsion wurden anhand von gemessenen Prozessgrößen wie Bohlenzugkraft und Schneckenleistung verifiziert. Die Simulation des Schneckenraumes zeigt die Abhängigkeit von Schneckendrehzahl und Massenstrom, auf den Füllungsgrad des Schneckenraumes und der damit verbundenen Ebenheit der Straße.



**Abbildung 19:** links Simulationsmodell rechts: Bohlenauftriebskraft über die Zeit

Die erkennbare Auftriebskraft der Bohle (Kraft an der Bohle in Vertikalrichtung des Fertigers) zeigt deutlich den linearen Anstieg beim Befüllen des Schneckenraumes (0-20 Sekunden). Beim Anfahren des Fertigers auf eine Geschwindigkeit von 6 m/min steigt die Kraft schlagartig an und pendelt sich ein. Weiterhin wurden an den im Prozess beteiligten Mischgutförderer-einrichtungen Optimierungen durchgeführt, die einer Materialentmischung und starken Temperaturabkühlung vorbeugen und energieeffizienter arbeiten. Untersuchungen an der Förderschnecke ergaben, dass ein halbschalenförmiges Blech zwischen der Schnecke und dem Fertiger die Materialentmischungen verringert und der Materialtransport beschleunigt wird. Die neuartige Halbschale ermöglicht zusätzliche eine höhere Einbautemperatur aus zweierlei Gründen. Zum einen, weil die Förderzeit (Abkühlzeit) reduziert wird und zum anderen bietet die Halbschale einen Isolationsschutz für das Mischgut, gegenüber dem Untergrund.



**Abbildung 20:** Geschwindigkeitsverteilung der Partikel in der Förderschnecke. Links mit neuartigem Halbschalenblech. Rechts mit konventionellem Aufbau

Praktische Erprobungen zusammen mit dem Kooperationspartner Kirchner bestätigten diese Erkenntnisse und ergaben zusätzlich eine verbesserte Regelbarkeit der Fördergeschwindigkeit.

## **AP4 Einbau**

Der Straßenfertiger bestimmt sieben der maßgeblichen Funktionseigenschaften die für die Nutzung einer Straße von entscheidender Bedeutung sind: Straßenrichtung, -breite, -stärke, -querprofil, -ebenheit, Verdichtung und Belagsoberfläche. Erst wenn es gelingt, diese Funktionseigenschaften dauerhaft in der vorgegebenen Qualität wirtschaftlich zu erreichen, kann von einem prozesssicheren automatisierten Straßenbau gesprochen werden. Ziel in diesem Arbeitspaket ist es die noch mit Handhabungsfehlern und fehlenden Informationen erstellten Belagsdicke, -profile und -ebenheiten sowie die erreichte Verdichtung mit erweiterten und neu entwickelten Mess- und Automatisierungseinrichtungen maßgeblich zu verbessern.

### **Aufgabenstellung AP4**

Detaillierte Analyse und Anforderung:

- Entwicklung und Bau eines Mess- und Regelungssystems zur kontinuierlichen Erfassung der Schichtdicke
- Entwicklung eines Verfahrens zur definierten Ablage und Positionierung von metallischen Gegenpolen
- Entwicklung und Bau einer Mess- und Analysiereinrichtung zur Bestimmung des Verdichtungsgrades an der Bohle
- Funktionstests an den entwickelten Einrichtungen

### **Ergebnisse im AP4**

Asphalt ist ein Gemisch aus ca. 95% Mineralstoffen sowie 5% Bitumen und ist von seinen Eigenschaften stark temperaturabhängig. Der Verdichtungsgrad ist wichtig für die Funktionseigenschaften der Straße. Da jede Mischgutsorte unterschiedliche Verdichtungseigenschaften besitzt, hat sich ein standardisiertes Verfahren, der Marshall Versuch (DIN 1996-7), welches die Verdichtungsarbeit berücksichtigt, durchgesetzt. Der als Marshalldicke angegebene Wert ist das prozentuale Verhältnis aus der im Labor ermittelten Probendichte und der Dichte des Baustellenprobenkörpers.

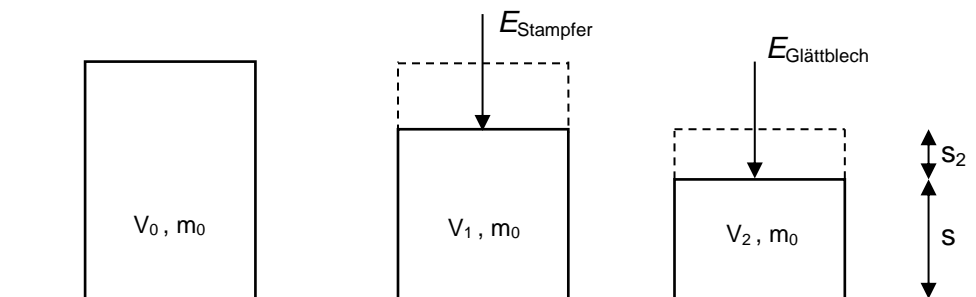
Das Material wird durch die Verteilerschnecke vor der Bohle gleichmäßig verteilt und besitzt eine bestimmte Vorverdichtung (ca. 70% Marshall). Der Stampfer verdichtet das Mischgut durch eine oszillierende vertikale Bewegung und stampft das Mischgut unter die Bohle. Ein großer Arbeitsanteil wird für die Beschleunigung bzw. Verzögerung der bewegten Stampfermasse benötigt. Die Differenz aus Gesamtarbeit und Leerlaufarbeit ist die eingesetzte Verdichtungsarbeit. Ein Großteil dieser Arbeit trägt zur plastischen Verformung des Mischgutes bei und ist stark temperaturabhängig.

Unter dem Glättblech wird das Material zusätzlich verdichtet. Beim Einbau stellt sich ein Anstellwinkel  $\varphi$  zwischen Glättblech und Untergrund ein. An der vorderen Glättblechkante ist das Mischgut gerade durch den Stampfer verdichtet worden. An der hinteren Glättblechkante lässt sich die eingebaute Schichtdicke durch den Fertiger nichtmehr verändern. Zwischen diesen beiden Kanten wirken die Gewichtskraft der Bohle und die Erregerkraft durch die Unwucht der Vibrationsverdichtung auf das Mischgut.

Beeinflusst wird der relative Anstellwinkel  $\varphi$  im Wesentlichen durch:

- den Verdichtungsgrad des Mischgutes hinter dem Stampfer (die Tragfähigkeit)
- die Mischguttemperatur welche die Steifigkeit beeinflusst
- statische und dynamische Flächenpressung der Bohle
- die Einbaugeschwindigkeit Reibungskräfte an der Bohlenvorderwand und dem Glättblech
- Schwerpunktlage der Bohle
- die Torsionssteifigkeit der Bohle
- Mischgutvorlage

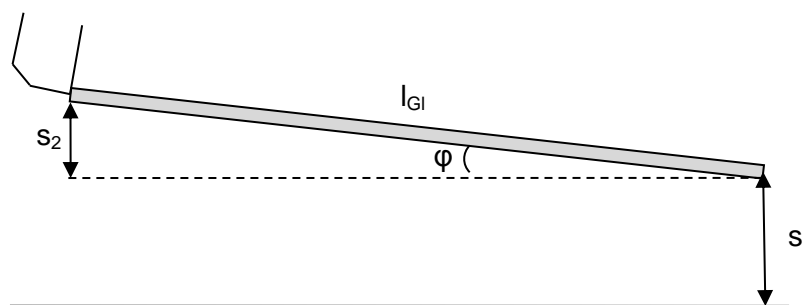
Mit der Erfassung des Bohlenanstellwinkels, der Schichtdicke, der Kerntemperatur des Mischgutes an der Bohle und einem materialabhängigen Modell welches die Parameter berücksichtigt, lässt sich der Verdichtungsgrad direkt hinter der Bohle kontinuierlich ermitteln. Voraussetzung dafür sind Untersuchungen der Stampferverdichtung sowie der Zusammenhang zwischen der Marshallverdichtung und der Bildung des Anstellwinkels der Bohle (Einsinken der Bohle in das Mischgut).



**Abbildung 21:** Verdichtung durch die Einbaubohle

Die Verdichtungsleistung durch das Glättblech lässt sich über die Schichtdicke hinter der Bohle und dem Bohlen-Anstellwinkel  $\varphi$  über trigonometrische Beziehungen ermitteln.

Wichtig ist es nun, den Zusammenhang zwischen der durch den Stampfer eingeleiteten Verdichtungsarbeit und der Volumenabnahme durch den Stampfer herzustellen.



**Abbildung 22:** Trigonometrische Beziehungen am Glättblech

Aus den in **Abb. 22** dargestellten Einbaubedingungen ist ersichtlich, wie der Anstellwinkel mit dem Verdichtungsweg  $s_2$  zusammenhängt (Gl.6).

$$s_2 = l_{Gl} \cdot \sin \varphi \quad \text{Gl. 6}$$

Im Jahr 1967 wurde folgender Zusammenhang zwischen Bohlenanstellwinkel  $\varphi$  und Belagsdichte  $\rho$  ermittelt (Blumer 1967):

$$F_g = \rho \cdot v_e^2 \cdot A_{Gb} \cdot \sin^2 \varphi \quad \text{Gl. 7}$$

$F_g$ : Gewichtskraft der Bohle

$v_e$ : Einbaugeschwindigkeit

$A_{Gb}$ : Glättblechfläche

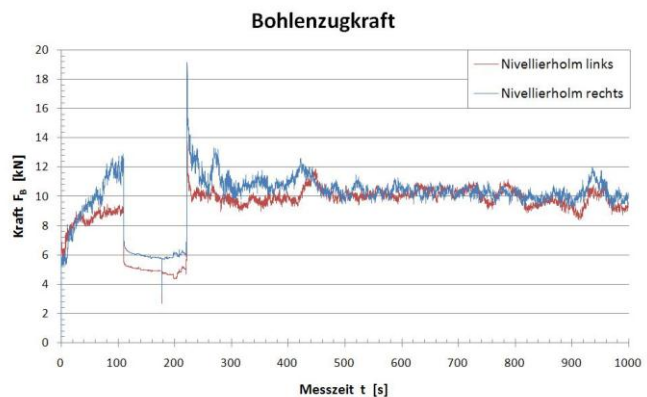
nach  $\varphi$  umgestellt:

$$\sin \varphi = \frac{1}{v_e} \cdot \sqrt{\frac{F_g}{\rho \cdot A_{Gb}}} \quad \text{Gl. 8}$$

Demzufolge steht für jede Mischgutedichte bei bestimmten äußeren Randbedingungen ein Bohlenanstellwinkel  $\varphi$ .

### Bohlenzugkraft

Beim Einbau wirkt eine Vielzahl von Kräften auf die Bohle, welche sich auf den Anstellwinkel der Bohle und somit auch auf die Straßenqualität auswirken. In aufwendigen Einbauuntersuchungen mit gebundenem und ungebundenem Mischgut wurden die Wechselwirkungen von Mischgut und Maschine ermittelt. Hierzu wurden die Anlenkpunkte der Nivellierholme mit speziell angefertigten Scherkraftmessbolzen bestückt (siehe **Abb. 23**), so dass dort die auftretenden Kräfte gemessen werden können.



**Abbildung 23:** links: Scherkraftmessbolzen am Anlenkpunkt  
rechts: gemessene Bohlenzugkraft

Zunächst werden die physikalischen Zusammenhänge zwischen Bohlenzugkraft, Mischgutvorlage, Mischguttemperatur und Einbaubreite analysiert. In **Abb. 23** sieht man die Bohlen-

zugkräfte des linken und rechten Anlenkpunktes beim Einbau von Deckschicht in einem Zeitraum von 16 Minuten. Der stetige Kraftanstieg beim Befüllen des Schneckenraumes, der Zugkraftverlust beim Stoppen sowie die Kraftspitzen beim Wiederanfahren des Fertigers fallen besonders auf.

### Schichtdickenmessung

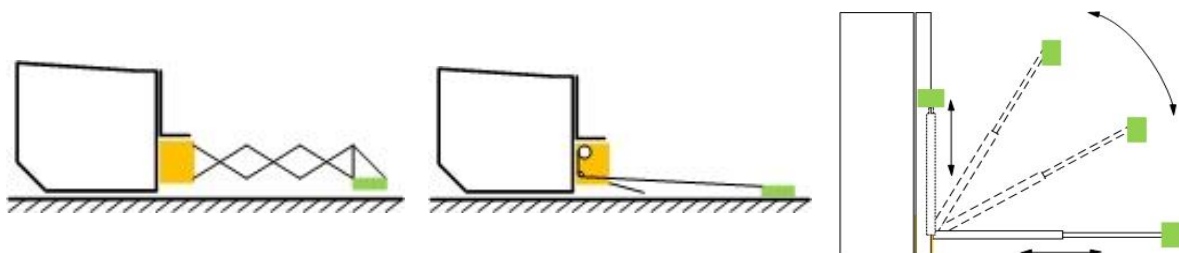
Die Entwicklung eines Verfahrens zur definierten Ablage und Positionierung von metallischen Gegenpolen brachte einen Ablegeautomat zum Ergebnis, welcher es ermöglichte, metallische und mit Sensoren bestückte Ronden, aus einem Magazin wegabhängig unter der einzubauende Schicht zu platzieren. Durch das Pulsinduktionsverfahren konnte der Abstand (Schichtdicke) gemessen werden und stand als Kalibriergröße dem Bohlen-Geometrie-Messverfahren zur Verfügung. Das hier vorgestellte Messverfahren setzte die Voraussetzung für das entwickelte automatisierte Schichtdicken-Einstell-System (SES) und das zwei-stufen Regelkonzept der Nivellierautomatik, das in der Lage ist, die Ebenheit und Schichtdicke zu regeln.



**Abbildung 24:** links: Ablegeautomat, rechts: Demonstrator „Ablegeautomat“

Grundsätzlich kann dieses Verfahren bei allen Schichten aus Asphalt sowie bei hydraulisch gebundenen und ungebundenen Schichten angewendet werden. Die elektromagnetische Schichtdickenmessung mittels Handmessgerät wird bereits im Neubau von Straßen und Verkehrsflächen und bei der Erneuerung von Straßen eingesetzt.

Um die Schichtdickenmessung automatisiert durchführen zu können ist es erforderlich, dass das Auslesegerät einem konstanten Abstand zum Boden aufweist. Bislang wurden verschiedene Konzepte erarbeitet, dies zu realisieren.



**Abbildung 25:** Konstruktionsvarianten einer automatisierten Chipverfugung



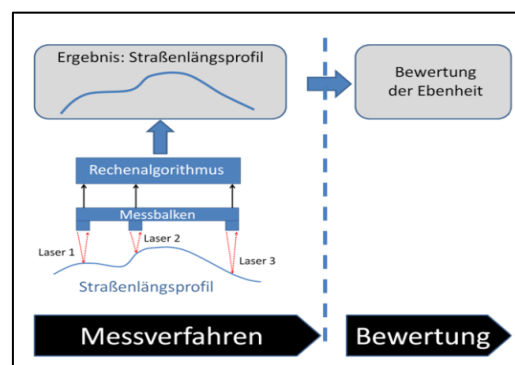
Es wurden bereits positive Messversuche mit verschiedenen Varianten durchgeführt, bei welchem die Kombination zwischen Ablegeautomat und Schichtdickenmessgerät auf einer Schlittenkonstruktion, getestet wurde. Weiterführend soll in diesem Bereich eine genaue Positionierung des Messschlittens erreicht werden. Dies ist besonders bei Kurvenfahrten des Straßenfertigers notwendig, um eine genaue Überfahrt der abgelegten Reflektoren zu gewährleisten. Außerdem soll erreicht werden, dass mit einem Messgerät, an verschiedenen über die Straßenbreite verteilten Punkten, Schichtdickenmessungen durchgeführt werden können.

### Ebenheitsmessung

Das in AP4 definierte Messsystem zur kontinuierlichen Erfassung der Fahrbahnoberfläche wurde vom Verbundpartner MOBA AG in Zusammenarbeit mit dem isac entwickelt. Diese Messeinrichtung sollte ursprünglich neben der Ebenheit auch die Rauheit der Fahrbahnoberfläche berührungslos aufnehmen. Nach ersten Funktionstests bei MOBA wurde das Messsystem, welches aus drei Laserabstandssensoren und entsprechender Datenverarbeitung besteht, auf der Einbaustrecke des isac erprobt. Bei der Erprobung erwies sich das System für die Erfassung der Rauheit allerdings als ungeeignet. Die Messdaten waren in wesentlichen, für die Rauheit wichtigen Wellenlängenbereichen zu verrauscht, als dass sie für eine Bewertung herangezogen werden konnten.

Auf die Bewertung der Ebenheit hatte das Rauschen allerdings keinen Einfluss, da es nur die für die Ebenheit unwichtigen Wellenlängenbereiche betraf. Mittels geeigneter Filter konnten die Lasersignale bereinigt und einer Bewertung der Ebenheit zugeführt werden. Allerdings entschloss man sich seitens des isac, dabei nicht den von der Firma MOBA entwickelten Algorithmus zur Berechnung des Straßenlängsprofils zu verwenden, sondern einen eigenen Algorithmus zu entwickeln, der aus den aufgenommenen Sensordaten das Straßenlängsprofil berechnen kann. Die Auswertungen der Laserdaten ergaben, dass dieser Algorithmus sehr gut funktioniert und geeignet ist, die Längsebenheit aus den Abstandsmessungen dreier Lasersensoren mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Messverfahren zur Erfassung der Ebenheit entwickelt worden ist. Die Rauheit (Textur) konnte mit diesem Messverfahren nicht ausgewertet werden. Stattdessen wurde seitens des isac ein eigener Algorithmus zur Ermittlung des Straßenlängsprofils erstellt und erfolgreich getestet.



**Abbildung 26:** Prinzip der Ebenheitsmessung und -bewertung

## AP5 Nachverdichtung

Erst nach dem letzten Walzübergang ist der Einbauprozess des Straßenbelages abgeschlossen. Die erreichte Belageebenheit und Schichtdicke sowie die Verdichtung und die Belagsoberflächenstruktur sind damit nicht mehr veränderbar. Eine gezielte Einstellung der Maschinenparameter, wie Ebenheit, Schichtdicke, Straßenquerprofil und Verdichtung, mit dem Wissensstand der erreichten Endergebnisse schon während des Einbauprozesses, würde die Prozesssicherheit der Einbauqualität maßgeblich verbessern. Ein Messsystem an den einzelnen Verdichtungssystemen am Fertiger und/oder Walze soll diese Informationslücke während des Einbaus schließen.

### Aufgabenstellung AP5

Detaillierte Analyse und Anforderung:

- Entwicklung eines Messsystems zur kontinuierlichen Bestimmung der Belagsdicke und Belagtemperatur.
- Entwicklung einer Methode zur modellgestützten Messtechnik und Berechnung des erreichten Verdichtungsgrades, auf der Basis der gemessenen Dickenänderung während des Verdichtungsprozesses.
- Mitarbeit bei der Adaption einer Kommunikationseinrichtung zur drahtlosen Messwertübertragung von der Walze zum Straßenfertiger.

### Ergebnisse im AP5

#### Mess- und Analyseinrichtung des Verdichtungsgrades an der Einbaubohle

Für eine sichere Messung des Verdichtungsgrades nach der Bohle ist die analytische Beschreibung der Bohlen-Aggregate notwendig. Dem Stampfer wird dabei eine große Bedeutung zugeschrieben. Er hat die Funktion das Mischgut unter die Bohle zu befördern und es zu verdichten. Der Anstellwinkel der Bohle wird daher auch durch den Stampfer beeinflusst.

#### Analytische Betrachtung des Stampferantriebs

$r$	Radius (Exzentrizität)
$l$	Pleuellänge
$s$	Stampferweg
$v = \dot{s}$	Stampfergeschwindigkeit
$a = \ddot{s}$	Stampferbeschleunigung
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit
$\varphi$	Kurbelwinkel
$\lambda$	Längenverhältnis

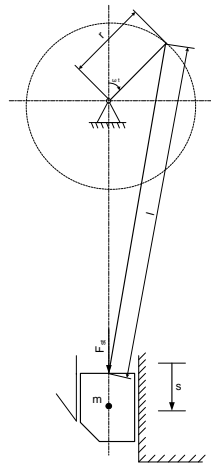


Abbildung 27: Kinematik des Kurbeltriebs

$$\varphi = \omega \cdot t \quad \text{Gl. 9}$$

Für das Längenverhältnis der Stangen  $r$  und  $l$  gilt:

$$\lambda = \frac{r}{l} \ll 1 \quad \text{Gl. 10}$$

so dass der Stampferweg mit der vereinfachten Formel

$$s = r \cos \varphi = r \cos(\omega t) \quad \text{Gl. 11}$$

bestimmt werden kann. Nach der Zeit differenziert ergibt sich die Geschwindigkeit des Stampfers.

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt} = -r \omega \sin(\omega t) \quad \text{Gl. 12}$$

Nochmals nach der Zeit differenziert ergibt sich die Beschleunigung des Stampfers

$$a = \ddot{s} = \frac{d^2s}{dt^2} = -r \omega^2 \cos(\omega t) \quad \text{Gl. 13}$$

Betrachtet man den Stampferantrieb, ohne dass zusätzliche Kräfte wirken, lässt sich die Antriebskraft  $F_{\text{St}}$  aus dem Newtonschen Grundgesetz herleiten:

$$F_{\text{St}} = m \cdot \ddot{s} = -m r \omega^2 \cos(\omega t) \quad \text{Gl. 14}$$

Die augenblickliche Stampferleistung  $P_{\text{St}}$  folgt aus Gl. (14) und Gl. (12):

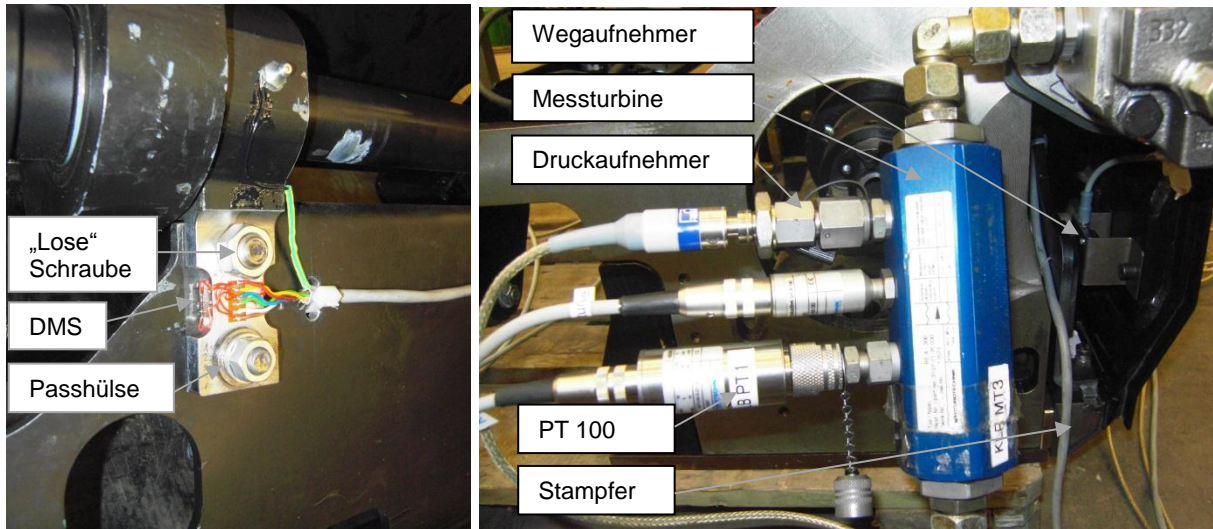
$$P_{\text{St}} = F_{\text{St}} \cdot v = (-m r \omega^2 \cos(\omega t))(-r \omega \sin(\omega t))$$

$$P_{\text{St}} = m r^2 \omega^3 \cos(\omega t) \sin(\omega t)$$

$$P_{\text{St}} = \frac{m}{2} r^2 \omega^3 \sin(2\omega t) \quad \text{Gl. 15}$$

### Messtechnische Bestimmung der Stampferarbeit

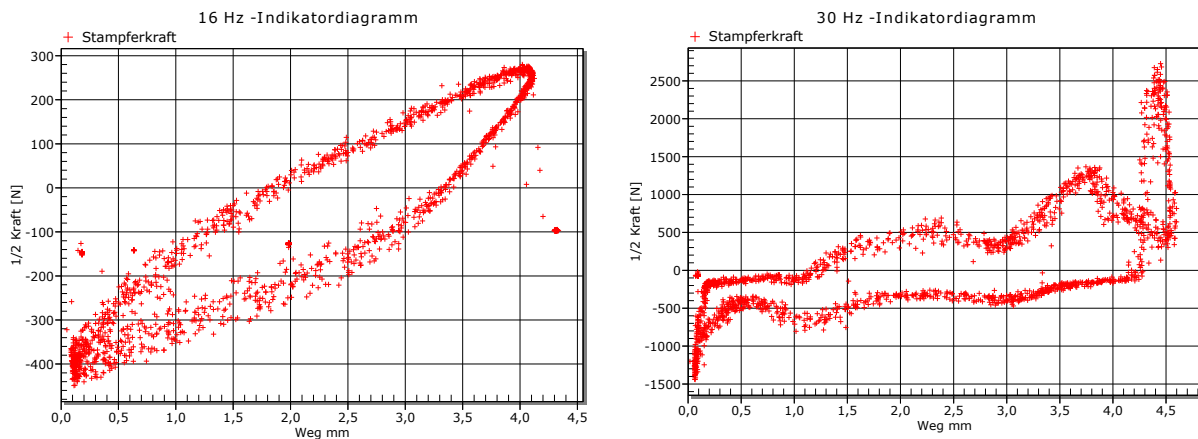
Die geleistete Arbeit des Stampfers lässt sich durch geeignete Messtechnik bestimmen. Die von der Exzenterwelle auf die Stampfermasse übertragene Kraft und der zurückgelegte Weg spielen dabei eine entscheidende Rolle. Der Ansatz zur Kraftmessung besteht darin, die Stampferschwinge mit Dehnungsmessstreifen zu bekleben, so dass über die Materialverformung und -kennwerte die Normalkraft ermittelt werden kann. Hierfür wird zunächst der Materialquerschnitt gezielt geschwächt. Des Weiteren wird die Schraubenverbindung durch eine Hülse ergänzt, so dass die Kraft formschlüssig an einer definierten Stelle und nicht reibschlüssig über die Fläche der Stampferschwinge übertragen wird. An der Innenseite der Bohlenvorderwand wird ein Wegaufnehmer angebracht, um den Bewegungsverlauf der Stampferleiste zu erfassen.



**Abbildung 28:** links: DMS Vollbrücke (biege- und temperaturkompensiert) an der Stampferschwinge. rechts: Hydraulische Leistungsmessung

Der Stampfer wurde entsprechend der Bedienungsanleitung (Dynapac GmbH 2008) eingestellt und angeschlossen. Es wurde besonders darauf geachtet, dass das Stampfermesser im untern Totpunkt mit der Glättblechunterkante abschließt. Des Weiteren wurde der Abstand zum Stampferleitschutzblech auf 0,5 mm eingestellt.

Die Indikatordiagramme vom Stampfer zeigen die gemessene Kraft, über den Weg aufgetragen, im Leerlauf. Die eingeschlossene Fläche der Kurve stellt im Leerlauf die Reibarbeit dar. Beim Einbau von Asphalt lässt sich die Verdichtungsarbeit aus dem Indikatordiagramm ableiten.



**Abbildung 29:** Indikatordiagramme vom Stampfer im Leerlauf bei 16 Hz (links) und bei 30 Hz (rechts)

## **AP6 Informations- und Netzwerkstruktur**

Ein elektronisches Informationssystem für die mobile Baustoffversorgung und die Temperaturerfassung, von der Mischanlage über Transportfahrzeuge bis hin zum Beschicker/Straßenfertiger (Identifikationstechnik) soll für eine lückenlose Information von allen notwendigen Prozesskennwerten der Mischgutversorgung und des Lkw's sorgen. Die Verarbeitung dieser Daten in einem Mobilrechner am Fertiger würde die Prozesssicherheit des Maschinensystems Lkw, Beschicker, Fertiger und Walze gewährleisten.

Nach der Konzeptionierung eines baustellengeeigneten Informations- und Temperaturmesssystems das von allen Teilsystemen der Wirkkette wie Mischanlage, Transportfahrzeuge, Beschicker, Fertiger und Walzen die Messgrößen wie Mischgutmenge, Transportkapazität, Transportzeit, Einbauleistung des Fertigers und Verdichtungsleistung der Nachverdichtung ermittelt und online Vorschläge für einen wirtschaftlichen und prozesssicheren Belagsbau errechnet.

### **Aufgabenstellung AP6**

Detaillierte Analyse und Anforderung:

- Untersuchungen an einem elektr. Informations- und Kommunikationssystem für die mobile Baustoffversorgung und dem Mischguteinbau.
- Entwicklung eines Messsystems zur Temperaturerfassung für die gesamte Einbauprozesskette, d.h. von der Mischanlage, Transportfahrzeuge, Beschicker, Straßenfertiger bis zur Walze.

### **Ergebnisse im AP6**

Zunächst wurden Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung eines geeigneten Informations- und Kommunikationssystems durchgeführt. Hierzu wurde der Interkontakt zwischen den einzelnen Anlagen und Maschinen analysiert, Lösungsvorschläge durchdacht und ein Kosten- Nutzenverhältnis aufgestellt. Der Schwerpunkt dieses Arbeitspakets wurde auf die Automatisierung des Andock- und Abkippvorgangs zwischen Lkw und Fertiger gelegt, deren Umsetzung wurde in einer Studienarbeit abgehandelt. Weiterhin sind Konzepte ausgearbeitet worden zum automatisierten Beladungsvorgang des Lkw's in der Mischanlage. Diese Untersuchungen wurden gemeinsam mit der Deutschen Asphalt vorgenommen.

### **Identifikationssystem von Mischgut und Transportfahrzeug**

Die automatische Erkennung von Transportfahrzeug und Mischgut ist für den prozesssicheren Einbau von besonderer Bedeutung. Die erfassten Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert und für die weitere Ablaufplanung herangezogen.

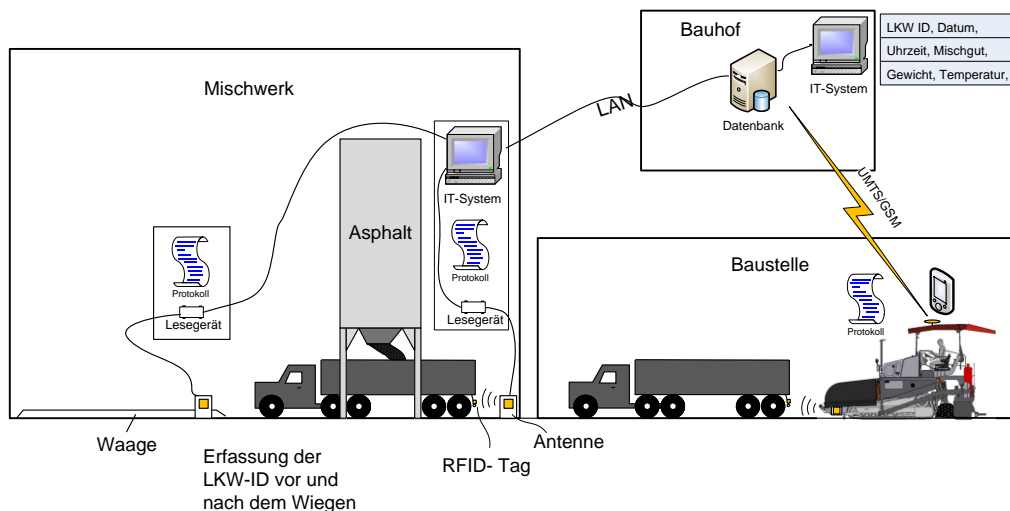
Notwendig dafür ist ein RFID System, bestehend aus zwei wesentlichen Komponenten, einem Transponder (RFID-Tag) - eine Antenne mit integriertem elektronischem Schaltkreis (IC) – sowie einem Lesegerät zum Ansprechen des Transponders und zum Auslesen der Transponderkennung. Der Transponder enthält einen Nummerncode, welcher auf Informationen verweist, die in einer Datenbank des Bauunternehmens hinterlegt sind. In der Regel erzeugt das Lesegerät ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld, welches den Transponder Anstrahlt und damit mit Energie versorgt. Ist diese ausreichend groß, wird der

Transponder aktiviert und die Kommunikation eingeleitet. Wesentliche Systemunterschiede bestehen aufgrund der Kopplungsarten zwischen Transponder und Lesegerät (siehe **Tabelle 7**) und den damit erzielbaren Reichweiten.

**Tabelle 7:** Kopplungsart und Reichweite

Frequenzbereich	Kopplung	Reichweite
HF < 30 MHz	kapazitiv	wenige cm
LF 125/135 kHz und HF 13.56 MHz	induktiv	Bis 1 m
UHF 862-965 MHz und Mikrowelle 2.45 GHz	elektromagnetisch	Bis 10 m (passiv)

Um Reichweiten von bis zu 3 m zu gewährleisten, sollten UHF Transponder verwendet werden, dessen Lesegeschwindigkeit und Speicher für die Anwendung am Lkw ausreichend ist. Der Transponder wird leicht zugänglich am hinteren Teil des Transportfahrzeuges angebracht. Störgrößen wie Feuchtigkeit und Metall in direkter Umgebung sind bei der Anwendung zu beachten.



**Abbildung 30:** Mischgut und Transportfahrzeug Identifikation

Die Antenne am Mischwerk sollte an der Wiegeeinrichtung zur Gewichtserfassung und am Silo zur Zuordnung des Mischgutes angebracht werden. Das Lesegerät wird mit einem Rechner verbunden, der die Daten via LAN-Verbindung in einer Datenbank einspeist bzw. abrufen. Die tellergroße Antenne zur Erkennung des Transportfahrzeuges auf der Baustelle sollte neben der Schubrollenschwinge angebracht sein. Alternativ ist auch eine Anbringung am vorderen Fertigerdach möglich. Das Lesegerät ist mit einem zentralen Rechner im Fertiger verbunden, welches wiederum über das mobile Internet Zugriff auf die Datenbank des Bauunternehmens hat.

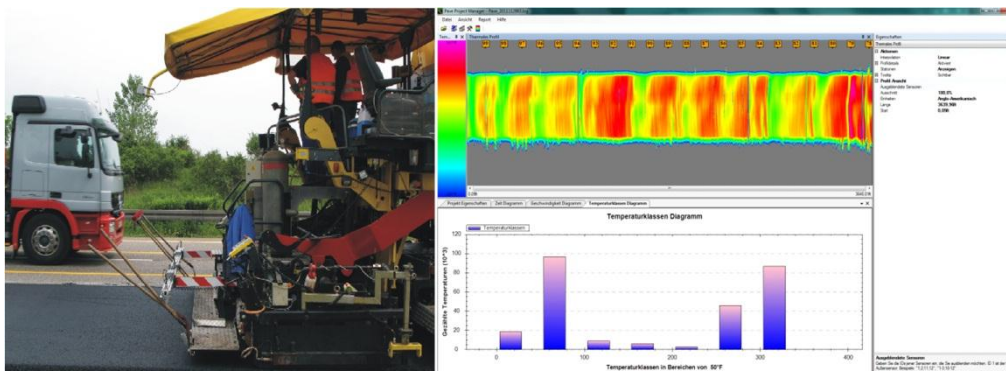
Durch die Kopplung mit weiteren Daten wie GPS- Positionsbestimmung, Fahrtzeit zur Baustelle, Einbaubreite, Schichtdicke und Straßenquerprofil lassen sich die Mischgutproduktion und der Mischguttransport zur Baustelle optimieren. Mittels eines -Berechnungsprogramm

welches auf die Datenbank zurückgreift, kann laufend die noch benötigte Mischgutmenge und der Anlieferungszeitpunkt berechnet werden.

### Entwicklung eines Walzenmodells

Um kontinuierliche Ist-Werte der verdichtungsbeeinflussenden Parameter, wie Schichtdicke und Kerntemperatur zu erhalten, wurden Systeme entwickelt diese zu erfassen. Dabei geht es einerseits um eine Abstandsmessung zwischen den eingebauten Metallreflektoren zu einem festen Punkt am Walzenchassis, über die Schichtdickenabnahme lässt sich der Verdichtungszuwachs direkt bestimmen. Andererseits geht es um den Einbau von Temperatursensoren in der Asphaltmischguttemperatur, welche über RFID die aktuelle Kerntemperatur der zu verdichtenden Schicht übertragen. Vorteilhaft gegenüber einer Oberflächentemperaturmessung ist hierbei, dass Witterungseinflüsse und das Berieselungswasser der Walzbandagen als Störeinflüsse zur Ermittlung der Kerntemperatur weitgehend ausgeschlossen werden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Messung nur punktuell in wiederkehrenden Abständen und nicht flächendeckend möglich ist. Untersuchungen des Forschungskonsortiums bei einem Bauabschnitt haben die Funktionalität und das Potential des Systems bestätigt.

Die visuelle Darstellung von Walzinformationen ist für den Walzenfahrer eine große Hilfestellung. Er kann während dem Baubetrieb die im Bild dargestellten Elemente auf einem Display ablesen. Durch die Kenntnis der GPS- Informationen, der Temperatur, der Anzahl der Überfahrten und der daraus abgeleiteten Verdichtung, kann eine qualitativ hochwertige Endverdichtung sichergestellt werden. Durch eine Datenspeicherung können wichtige vertragsrelevante Informationen archiviert werden.



**Abbildung 31:** Messung der Asphaltmischguttemperatur direkt hinter der Bohle

## **AP7 Test und Erprobung**

Die durchgeführten Tests und Erprobungen wurden durch drei unterschiedliche Maßnahmen vollzogen. Mit den Tests in der Bodenrinne der FH Köln wurden die Entwicklungen die den Mischguteinbau (AP4) und die Nachverdichtung (AP5) betreffen experimentell schon in der Entwurfsphase untersucht. Bei Einbauversuchen auf einem nahegelegenen Bauhof (Asphalt- und Kieswerk) und einer Versuchseinbaustrecke des Kooperationspartners Dynapac wurden Entwicklungen der Mischgutlogistik Transport (AP2), der Mischgutlogistik Fertiger (AP3), des Einbaus (AP4) und der Nachverdichtung (AP5) getestet. Erst nach erfolgreichen Tests in der Bodenrinne und auf dem Bauhof wurden umfangreiche Untersuchungen der entwickelten Komponenten, Einrichtungen und Systeme der AP2 bis AP5 bei unterschiedlichen Baumaßnahmen für den konventionellen Asphaltstraßenbau, dem Einbau von Kompaktasphalt und beim Einbau mit integriertem Splittstreuer im Fernstraßenneubau mit allen maßgeblichen Untersuchungen zur erzielten Einbauqualität durchgeführt.

Zur Beurteilung der erzielten Einbauergebnisse hinter der Einbaubohle und nach dem Walzeneinsatz durch die im Forschungsprojekt entwickelten Komponenten und Einrichtungen, wurden alle relevanten Einbauparameter, wie Mischgutzusammensetzung, Verdichtungsgrad, Hohlraumgehalt, Fahrbahnlängsebenheit und -querprofil, Schichtdicke und -breite, Griffigkeit sowie die Verarbeitungstemperatur des eingebauten Mischgutes systematisch untersucht und aufgezeigt. Des Weiteren wurde die Bedeutung der Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen, besonders für die weiterentwickelten Asphaltbauweisen aufgezeigt.

### **Aufgabenstellung AP7**

Detaillierte Analyse und Anforderung:

- Es ist die Wechselwirkung zwischen Einbaumischgut und Maschinenparameter zu untersuchen, wie z.B. der Versetzungswiderstand, die Entmischung und das Temperaturverhalten des Mischgutes.
- Einbau von Testabschnitten (Bauhof) für Funktionstests der entwickelten Komponenten und Einrichtungen der Mischgutübergabe (AP2.3), der Mischgutaufnahme (AP3.1), der Mischgutförderung (AP3.2), der Mischgutverteilung (AP3.3), der automatisierten Schichtdickeneinstellung (AP4.1), der Bohlen – Verdichtungskontrolle (AP4.2), der Mischgut – Temperaturkontrolle (AP4.3), der Ermittlung der Leistungskenngrößen (AP4.4) sowie der in der Bodenrinne getesteten Einrichtungen zur Walzverdichtung (AP5.1) und der Schichtdicke (AP5.2).
- Es sollen umfangreiche Untersuchungen an den entwickelten Komponenten, Einrichtungen und Systemen der einzelnen Arbeitspakete durchgeführt werden. Dabei sollen die optimalen Prozesskenngrößen für unterschiedliche Asphaltmischgutsorten ermittelt werden.



## Ergebnisse im AP7

### Verdichtungsversuche auf der Bodenrinne

Die auf der Bodenrinne durchgeführten Versuche brachten wichtige Parameter für das Stampfermodell und ermöglichten den Vergleich der Momenten- und direkten Kraftmessung. Diese wurden in dem häufig verwendeten Betriebspunkt, zwischen 15 und 30 Hz durchgeführt. Hierbei waren zu ermitteln:

- a) Reibungsverlust im Antrieb
- b) Korrelation der Momenten- mit der Stampferkraftmessung
- c) Überprüfung der Funktionalität des Messsystems
- d) Rückschluss aus Drucksignal auf Drehfrequenz des Hydraulikmotors

Dementsprechend wurden die Versuche mit jeweils definierten Stampferbelastungen durchgeführt.

### Reibungsverluste im Leerlauf

Die Reibung der Kinematik lässt sich durch den Betrieb im Leerlauf, also ohne Belastung des Stampfers ermitteln. Hierzu wird das Bohlenverbreiterungsteil auf eine Holzpalette mit Gummunterlage appliziert und im Leerlauf bei unterschiedlichen Frequenzen betrieben (**Abb. 31**). Es kommt hierbei primär auf die Ermittlung der Reibung im stationären Betriebszustand an.



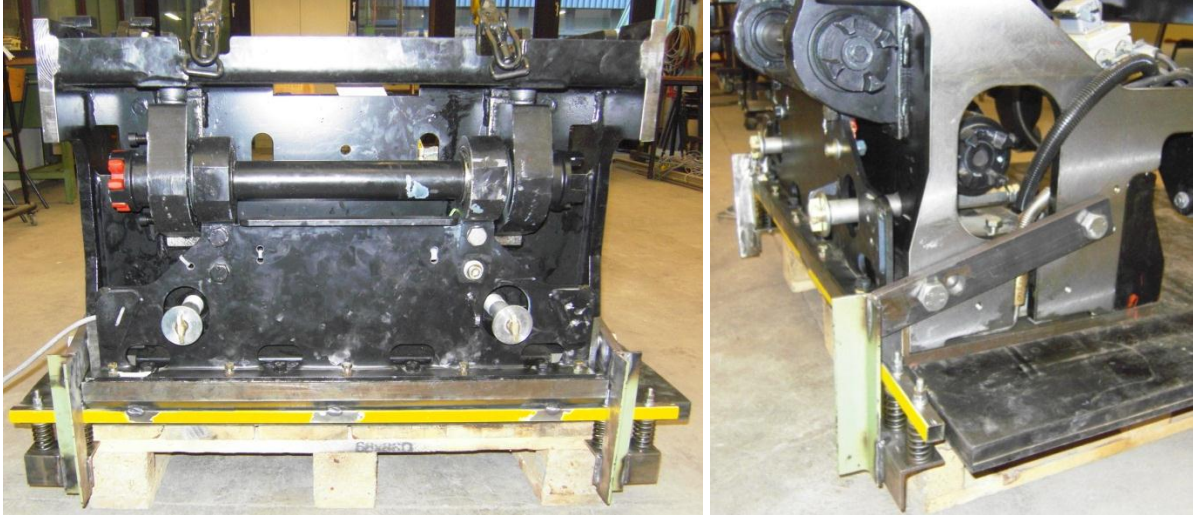
**Abbildung 32:** Versuchsaufbau um Reibungsverluste zu erfassen

### Elastischer Untergrund

Bei elastischer Lagerung kommt es zum einen auf den Vergleich der jeweiligen Messwerte an, zum anderen aber auch auf die absolut gemessene Arbeit. Dies ist nur möglich, wenn die geleistete Arbeit zu jedem Zeitpunkt definierte Werte besitzt. Eine einfache Möglichkeit dies zu gewährleisten ist es, die Stampferleiste gegen eine elastische Aufhängung arbeiten zu lassen und über den Weg und die Federrate die Arbeit zu bestimmen.

Umsetzen lässt sich die elastische Aufhängung in verschiedenen Ausführungen. Die Wahl des Federelementes steht dabei im Mittelpunkt der Betrachtung. Bei einem Federweg von max. 5 mm, einer Frequenz von 30 Hz und einer maximalen Kraft von 10 kN scheinen Blattfedern und Schraubendruckfedern geeignete Federelemente zu sein. Da eine über die

Stamperbreite konstante Kräfteinleitung mit Blattfedern aufwendiger umzusetzen ist, wurde die elastische Aufhängung mit vier parallel angebrachten Schraubendruckfedern konstruiert. Um einen Kraftimpuls beim Kontakt zwischen Federelement und Stampfer zu vermeiden, mussten beide Bauteile miteinander verbunden werden. Die Aufhängung wird wie in **Abb. 32** dargestellt seitlich an der Bohle verschraubt.



**Abbildung 33:** Elastische Aufhängung mit Ventulfedern

Die verwendeten Ventulfedern besitzen jeweils eine Federsteifigkeit von  $c = 25 \text{ N/mm}$ , die experimentell an allen Federn bestätigt wurde. Aus den vier parallelen Federn ergibt sich also eine gesamte Federrate von  $c_{\text{ges}} = 100 \text{ N/mm}$ . Ein Hohlprofil überträgt die Kräfte, wobei dieses einerseits am Stampfer angeschweißt ist und andererseits an den Enden auf jeweils zwei Federn gelagert ist. Diese sind im OT 2 mm vorgespannt um ein Abheben zu vermeiden. Die zusätzlich bewegte Masse beträgt 0,95 kg.

### Plastischer Untergrund

Nachdem die vorangegangenen Versuche durchgeführt wurden, ließ sich die Funktionalität der Messeinrichtung während der plastischen Verformung von Mischgut überprüfen. Das heißt, dass ein Großteil der in den Boden eingebrachten Energie zur Formänderung beiträgt. Als Verdichtungsstoff eignet sich dafür besonders feuchter Lehm, da dieser bei Belastung zur plastischen Verformung neigt.

Bei den Versuchen wurde eine 8 cm dicke, angefeuchtete und leicht aufgelockerte Lehmschicht zur plastischen Verdichtung durch den Stampfer verwendet. Die Einbaubohle bewegte sich dabei kontinuierlich mit etwa 2 m/min über die zur Verfügung stehende Bodenrinne, während nur der Stampfer als Verdichtungsaggregat angetrieben wurde.

Es wurde außerdem überprüft, inwiefern das Verdichtungsmodell der einrastenden Federn den Verdichtungsprozess beschreiben kann.



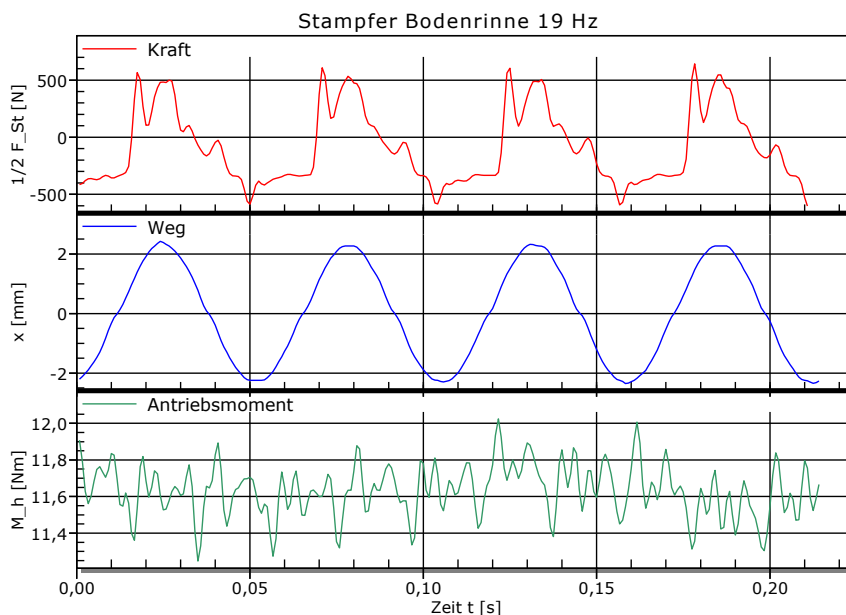
**Abbildung 34:** Versuchsaufbau zur Verdichtung von feuchtem Lehm

Zur Bestimmung der Verdichtungsarbeit werden die Ergebnisse des Leerlaufversuchs herangezogen.

Für den Auftritt von Resonanzerscheinungen ist die Eigenfrequenz des Bodens von Bedeutung. Bei lockerem Lehm Boden liegt sie bei 21-23 Hz, bei festem Lehm Boden ist sie zwischen 25 und 29 Hz [Fi75]. Diese Werte sind stark von dessen Dichte, Volumen und Feuchtigkeit abhängig.

### Ergebnisse

Auf der Bodenrinne der FH Köln wurde zur Untersuchung des Stampfer-Verhaltens bei vorwiegend plastischer Verdichtung eine feuchte, aufgelockerte Lehmschicht komprimiert. Verschiedene Antriebsdrehzahlen wurden untersucht und sind im Folgenden dargestellt.



**Abbildung 35:** Kraft, Weg und Antriebsmoment über die Zeit beim Verdichten von Lehm

In dieser Abbildung sind vier komplette Stampferzyklen beim Verdichten von Lehm mit 19 Hz auf der Bodenrinne aufgetragen. Im Unteren Totpunkt unterscheidet sich der Kraftverlauf am deutlichsten von dem im Leerlauf. Während der Abwärtsbewegung tritt eine Kraftspitze auf,

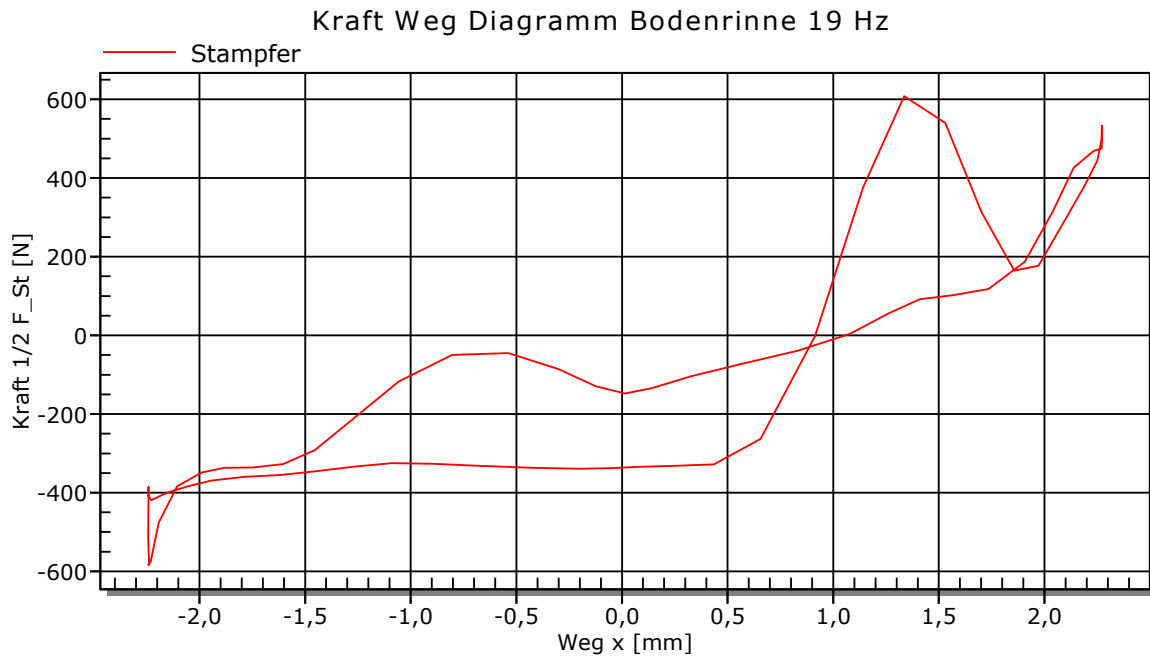
gefolgt davon ein lokales Kraftminimum, welches wieder zu einem lokalen Maximum im Bereich des Unteren Totpunkt umschlägt.

Das hydraulische Antriebsmoment liegt im Mittel bei  $M_{h,v19Hz} = 11,7 \text{ Nm}$ . Die Amplituden liegen im Maximum bei  $0,3 \text{ Nm}$ . Das Antriebsmoment liegt damit  $1,5 \text{ Nm}$  über dem gemittelten Leerlaufmoment von  $M_{h,L19Hz} = 10,2 \text{ Nm}$ . Es ist also davon auszugehen, dass die Verdichtungsarbeit je Zyklus im Mittel folgenden Wert annimmt

$$E_{h,v} = M_{h,v} - M_{h,L} \tag{Gl. 17}$$

$$\underline{\underline{E_{h,v19Hz} = M_{h,v19Hz} - M_{h,L19Hz} = 11,7 \text{ Nm} - 10,2 \text{ Nm} = 1,5 \text{ Nm}}}$$

Es geht die dissipierte Arbeit des Systems hervor. Diese ist, wenn man den Leerlaufversuch zum Vergleich heranzieht, zum größten Teil auf das Verdichten der Lehmschicht zurückzuführen. Beim Leerlaufversuch wurden  $0,1 \text{ Nm}$  dissipierte Energie festgestellt. Zieht man diese ab, beträgt die gemessene Verdichtungsarbeit des Stampfers  $\frac{1}{2}W_{V,19Hz} = 0,7 \text{ Nm}$  bzw. für den gesamten Stampfer  $W_{V,19Hz} = 1,4 \text{ Nm}$ , die zur plastischen Verformung beigetragen haben.

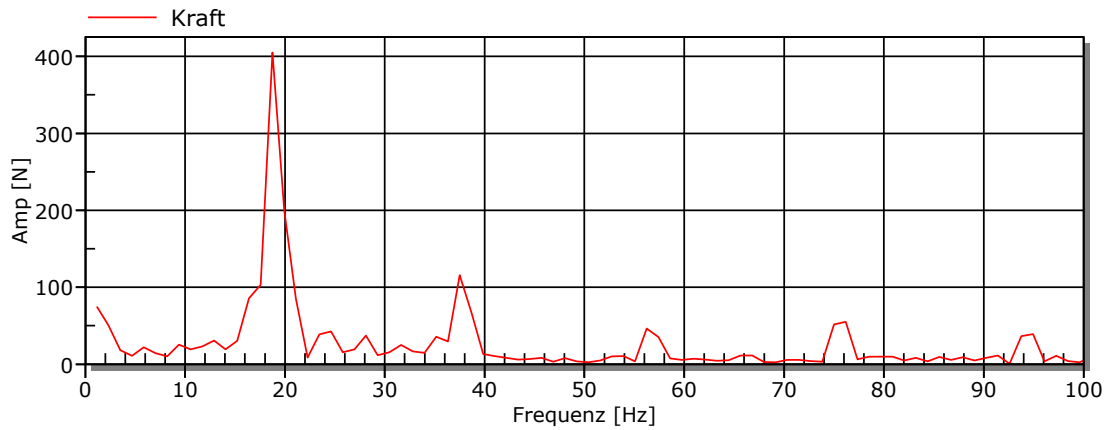


**Abbildung 36:** Kraft-Weg-Diagramm beim Verdichten von Lehm auf der Bodenrinne (19 Hz)  
 $W_{d,19Hz} = 0,8 \text{ Nm}$

Betrachtet man nun das Bodenmodell mit der einrastenden Feder, lässt sich für die Kontaktfläche des Stampfers zum feuchten Lehm die Federrate  $c_{pl}$  wie folgt bestimmen:

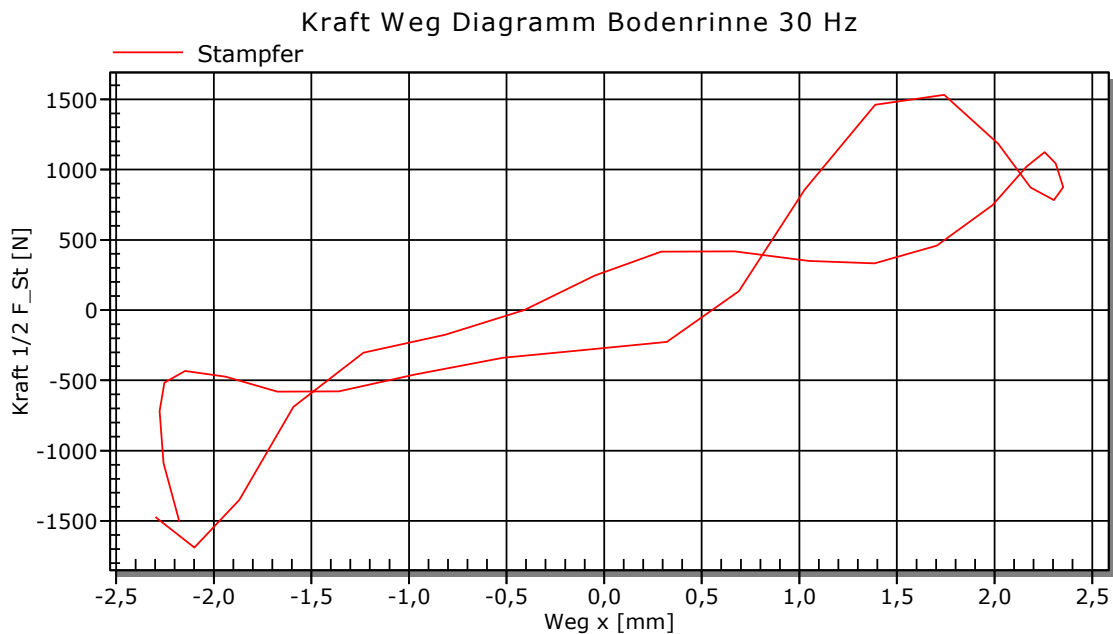
$$W_{v,19Hz} = W_F = \frac{1}{2} c_{pl} x^2 = 1,4 \text{ Nm} \tag{Gl. 18}$$

$$\underline{\underline{c_{pl} = \frac{W_{v,19Hz}}{x^2} \cdot 2 = \frac{1,4 \text{ Nm}}{(4,4 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} \cdot 2 = 158730 \frac{\text{N}}{\text{m}}}}}$$



**Abbildung 37:** FFT der Stampferkraft

Aus der „fast Fourier transform“ (FFT) werden die Frequenzeinflüsse auf die gemessene Kraft deutlich. Wie erwartet liegt die Grundschiwingung bei den angeregten  $f_{St} = 19 \text{ Hz}$ , die dazugehörigen Oberwellen bei dem Vielfachen der Grundschiwingung.



**Abbildung 38:** Kraft-Weg-Diagramm beim Verdichten von Lehm 30 Hz

Wie aus **Abb. 37** hervorgeht, ist die Belastung des Stampfers bei 30 Hz angestiegen. Das Vibrationsverhalten der Bohle beim Erhöhen der Drehzahl lässt vermuten, dass die Eigenschwingungen des Bohlensystems bei etwa 25 Hz liegen.

Zieht man die Leerlaufarbeit von 0,85 Nm bei gleicher Frequenz von der dissipierten Energie ab, ergibt sich die Verdichtungsarbeit  $\frac{1}{2} W_{V,30 \text{ Hz}} = 1,2 \text{ Nm}$ , bzw. für den gesamten Stampfer  $W_{V,30 \text{ Hz}} = 2,4 \text{ Nm}$ . Dies entspricht einer plastischen Federrate von  $c_{pl} = 272109 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

## Remixversuche

Für die Durchführung von Mischversuchen wurde ein Remix Demonstrator erstellt. Mit diesem wurden verschiedene Versuche durchgeführt. Dies waren zum einen Vorversuche, die an der FH durchgeführt wurden und zum anderen die Hauptversuche die am Asphaltmischwerk der Fa. Deutsche Asphalt in Köln Niehl stattgefunden haben.

Bei den Vorversuchen wurden zwei verschiedene Varianten durchgeführt. Diese bezogen sich in erster Linie auf die Aufteilung des Behälters. Im ersten Versuch wurde der Behälter in drei Teile unterteilt. Dies wurde mit zwei dafür angefertigten Trennelementen erreicht. Auf **Abb. 38** ist der Remix mit der Abtrennung der verschiedenen Kammern zu sehen. Die Aufteilung im ersten Versuch wurde so gewählt, um die in der Praxis auftretende Entmischung durch die Haufenbildung zu beseitigen. Es wurde die Auslassöffnung in der Mitte des Remixers verwendet.



**Abbildung 39:** Aufteilung des Behälters quer (links)/ und längs (rechts)

Bei dem zweiten Vorversuch wurde der Behälter der Länge nach in zwei Kammern aufgeteilt. Hierfür wurden ebenfalls Trennelemente verwendet. Die Überlegung die zu diesem veränderten Versuchsaufbau führten sind, dass das Material einen längeren Mischweg zurücklegt und sich somit eine bessere Durchmischung ergibt.

Die Kammern des Remixers wurden jeweils mit den verschiedenen Materialien gefüllt. Danach wurde die Auslassöffnung in der Mitte geöffnet und die Messtechnik gestartet. Anschließend wurden die Schnecken eingeschaltet, so dass das Material zur Mitte hin gefördert wurde. Während des Versuches fuhr der Traktor langsam vorwärts. Somit wurde eine durchgehende Anhäufung von gemischtem Material abgelegt. Diese konnte dann im Anschluss des Versuches ausgewertet werden.

In **Abb. 39** ist eine Mischgutspur eines repräsentativen Versuches abgebildet. Auf dem linken Bild ist die gesamte Versuchsstrecke abgebildet. Hier wird deutlich, dass es während des Versuches zu keinem Materialstau kam. An den Seiten der Mischgutspur befindet sich eine Anhäufung großer Partikel.

Damit diese starke Entmischung bei den Hauptversuchen nicht mehr auftritt, wird anstatt Kies ein Gemisch aus Sand und Kies verwendet. Dieses Gemisch hat den Vorteil, dass sich der Anteil der großen Steine verringert. Außerdem ist der Kies optisch gut von der Grauwa-

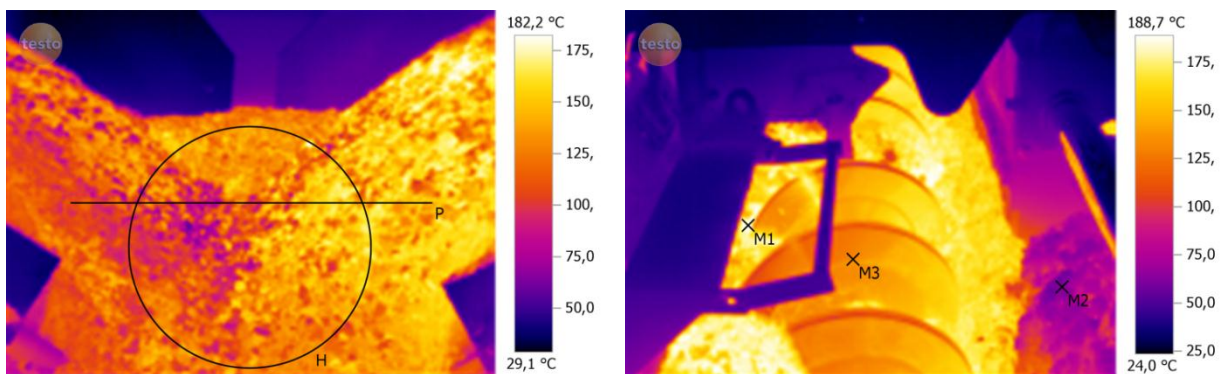
cke zu unterscheiden und er neigt durch den feinen Sand eher dazu sich nicht zu entmischen.



**Abbildung 40:** Mischgutsspur nach dem Remix-Versuch

### Termographieuntersuchung auf der Baustelle

Zunächst wurden experimentell die maßgeblichen Einflussparameter auf das Temperaturverhalten des Einbaumischgutes in der Prozesskette durch den Einsatz einer Wärmebildkamera ermittelt. Hier zeigte sich, dass besonders während der Transportfahrt eine Materialabdeckung von großer Wichtigkeit ist. Tests haben gezeigt, dass ein für nur 3 Minuten nicht abgedeckter Lkw einen Oberflächentemperaturverlust von mehreren Grad verursachte. Ein weiterer großer Einflussfaktor ist der inhomogene Materialfluss besonders im Außenbereich der Bunkerwände sowie im Schneckenraum.



**Abbildung 41:** Inhomogener Materialfluss im Bunker und Schneckenraum

Des Weiteren wurde ein Temperaturüberwachungssystem konzeptioniert, welches den Einbau von abgekühltem Mischgut verhindern soll. Durch die Auswertung der Wärmebilder wurden Temperaturmessstellen in kritischen Bereichen der Mischanlage, im Lkw, im Straßenfertiger und an der Walze bestimmt. In der Mischanlage und im Lkw ist es erforderlich die Kerntemperatur mit Thermoelementen (z.B.: PT100) zu ermitteln. Versuche zeigten, dass im unteren Drittel der vier Lkw-Wände eine Temperaturmessung geeignet wäre. In der Mischanlage hingegen genügt ein Thermoelement im unteren Bereich des Silos nahe der Öffnung. Im Fertiger zeigten sich berührungslose Infrarotsensoren für den Bunker und Schneckenraum als besonders geeignet. An der Walze ist ebenfalls ein berührungsloser IR-Sensor vor der zu walzenden Fläche geeignet. Die Temperaturmessstellen sind so gewählt, dass beim Unter-

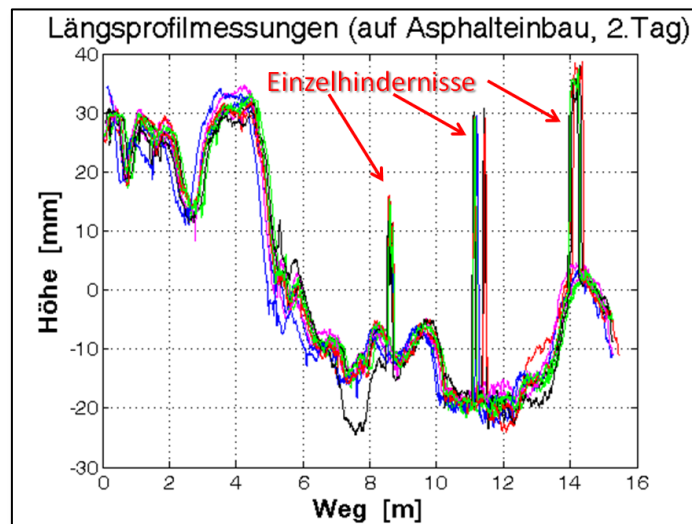
schreiten einer kritischen Temperatur der Prozess noch rechtzeitig geändert werden kann. Zum Beispiel kann ein Lkw mit einer zu geringen Temperatur abgelehnt werden oder ein frühzeitiges Zuklappen der Bunkerwände eingeleitet werden.

## Ebenheitsmesssystem

Das Ebenheitsmessverfahren konnte seitens der MOBA nicht mehr auf einer Neubaustrecke erprobt werden. Deshalb wurden die umfangreichen Versuche auf der Einbaustrecke des isac für eine abschließende Bewertung des Messverfahrens herangezogen und ausgewertet. Die Untersuchungen und Ergebnisse sind im Schlussbericht des Verbundprojektes detailliert beschrieben. Insgesamt wurden 15 Versuche gefahren: 3 auf ungebundenem Untergrund (Sand) und 12 auf frisch eingebautem Asphalt. Von diesen 12 Versuchen konnte einer aufgrund einer Sensorfehlfunktion nicht ausgewertet werden. Es handelt sich um den Versuch, der direkt nach dem Asphalteinbau erfolgt ist. Vermutlich war die hohe Temperatur in Verbindung mit Wasserdampf die Ursache für die aufgetretenen Signalstörungen.

Die vielen Überfahrten boten die Gelegenheit, den am isac im Rahmen des Projektes entwickelten Algorithmus zur Berechnung des Straßenlängsprofils ausführlich zu testen. Es stellte sich heraus, dass der Algorithmus das Straßenlängsprofil mit hoher Genauigkeit und unter verschiedenen Versuchsbedingungen reproduzierbar ermitteln kann. Die aus den verschiedenen Versuchen berechneten Straßenlängsprofile stimmten sehr gut überein.

Eine weitere Aufgabe des isac bestand darin, die gemessenen und berechneten Straßenlängsprofile nach aktuellen Ebenheitsbewertungsmethoden auszuwerten.



**Abbildung 42:** Beispiele für berechnete Straßenlängsprofile (mit Einzelhindernissen)

Dazu wurden zwei Verfahren verwendet, die in den letzten Jahren ebenfalls am isac entwickelt worden sind: der Längsebenheitswirkindex (LWI) sowie das sogenannte bewertete Längsprofil (BLP). Das sind zwei Bewertungsmethoden, die den derzeitigen Stand in der Bewertung der Ebenheit markieren. Alle Messergebnisse wurden diesen Bewertungsverfahren unterzogen. Im Ergebnis ergab sich ein einheitliches Bild: die gebaute Qualität auf der



Einbaustrecke war so schlecht, dass nicht nur die Abnahmewerte nicht erfüllt worden wären, sondern dass sogar der Schwellenwert überschritten worden wäre, wenn es sich um eine reale Einbaumaßnahme auf Bundesfernstraßen gehandelt hätte.

Damit haben die Untersuchungen gezeigt, dass die gesamte Informationsgewinnung von der Laserabstandsmessung über die Berechnung des realen Höhenlängsprofils bis hin zur Bewertung der Längsebenheit erfolgreich abgebildet und für den Einsatz im Straßenbau nutzbar gemacht werden konnte. Einem ersten Einsatz an einer realen Einbaumaßnahme ist somit der Weg bereitet. Hierbei muss sich dann aber auch zeigen, ob die Messtechnik den Einbaubedingungen vor Ort standhält und wie eine kontinuierliche Ebenheitsmessung und –bewertung bei der Straßenfertigung technisch gelöst werden kann.

## **AP8 Ergebnistransfer**

Das Arbeitspaket beinhaltet die Ausarbeitung von Präsentationsunterlagen, Ausstellung der Forschungsergebnisse auf Messeveranstaltungen und Vorträge auf Fachtagungen zu entsprechenden Themengebieten des Verkehrswegebbaus.

### **Aufgabenstellung AP8**

Detaillierte Analyse und Anforderung:

- Einleitung der in der Konzeptphase erarbeiteten Maßnahmen zum Ergebnistransfer, u. a. in Zusammenarbeit mit anderen Arbeitskreisen.
- Teilnahme an Messen, Ausstellungen, Kongresse, Tagungen und Workshops.
- In einem Handbuch „Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen beim Einbau von Asphalt“, sollen der Stand der Technik sowie alle Ergebnisse des Forschungsvorhabens so aufbereitet werden, dass sie als Schulungsmaterial und als Leitfaden für den Baufacharbeiter im Asphaltstraßenbau dienen kann.

### **Ergebnisse im AP8**

Die im Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse wurden schon während der Projektlaufzeit durch zahlreiche Präsentationen, Veröffentlichungen und Demonstrationsveranstaltungen dem interessierten Fachpublikum vorgestellt.

Zum Beginn des Forschungsvorhabens wurden die wesentlichen Inhalte und Ziele auf dem Straßen- und Verkehrskongress 2009 präsentiert und in der Fachzeitschrift Straße und Autobahn veröffentlicht. Auf der 4. Fachtagung Baumaschinentechnik in Dresden wurden am 15.05.2009 die bis dahin erlangten Forschungsergebnisse vorgestellt und im Tagungsband veröffentlicht. Auf der A4 bei Jena wurden im Juni 2010 die im Forschungsprojekt PAST erzielten Ergebnisse vor geladenem Fachpublik, bestehend aus Maschinenhersteller, Anwendungstechnikern, Systemlieferanten und Vertretern von Behörden, Verbänden sowie Ministerien präsentiert. Auf dem Polnisch-Deutschen Wissensseminar in Warschau wurden von Herrn Dipl.-Ing. (FH) M. Cremer Erkenntnisse aus dem Projekt PAST unter dem Titel „Neue simulationstechnische Ansätze im Straßenbau“(ISSN 1642-347X) veröffentlicht.

Bei den Aachener Straßenbau- und Verkehrstagen im November 2010 hat Herr Prof. Dr.-Ing. A. Ulrich Forschungsergebnisse aus dem Projekt PAST präsentiert und im Seminarband veröffentlicht. Ab Mai 2011 wurde in der Fachzeitschrift BauPortal gemeinsam mit Herrn Horn der Fa. Moba Mobile Automation AG und den wissenschaftlichen Mitarbeitern der FH Köln, Herr H. Hameister, Herr D. Pitzler und Herr M. Cremer eine zweiteilige Veröffentlichung mit den Ergebnissen aus dem Forschungsprojekt PAST verfasst.

Bei der Autobahnbaustelle auf der BAB 111 bei Stolpe wurden die entwickelten Demonstratoren am 22. November 2011 unter widrigen Umständen erprobt und vorgestellt. Zu dem Publikum gehörten viele namhafte Firmen, Behörden und Forschungseinrichtungen die mit dem Asphaltstraßenbau in Verbindung sind.



**Abbildung 43:** *links:* Präsentation der Forschungsergebnisse *mittig:* Ausgestellte Demonstratoren der FH Köln *rechts:* Forschungsfertiger an der BAB 111 bei Stolpe

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde auf dem 41. VDBUM Seminar im März 2012 in Braunlage eine Ergebnispräsentation des Forschungsprojektes vorgestellt. Der Vortrag mit dem Thema: „Maschinentechnische Optimierung an asphaltverarbeitenden Maschinen“ stieß dabei auf großes Interesse der Hersteller und Anwender von Straßenbaumaschinen.

### III Veröffentlichungen

Bis zum Ende der Projektförderung sind seitens der FH Köln folgende Verwertungsleistungen erbracht worden:

- Publikationen sowie Vorträge auf wissenschaftlichen Kongressen und Fachtagungen
  - Ulrich, A.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau: Deutscher Straßen- und Verkehrskongress, 2008
  - Ulrich, A.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau: Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen e. V., VDMA Fachverband Bau- und Baustoffmaschinen 09/2008
  - Ulrich, A.: Prozess automatisierter Straßenbau, Straße & Autobahn 1/09
  - Cremer, M. und Pitzler, D.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, 4. Fachtagung Baumaschinentechnik Dresden 05/2009
  - Ortiz, W.: Analytische Untersuchung von Heizungssystemen für Einbauböhlen im Asphaltstraßenbau, Deutsch polnischer Kongress, Köln 07/2009
  - Ulrich, A.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, FVB-Beiratssitzung Schrobenhausen 11/2009
  - Ulrich, A.: Verdichtung durch den Fertiger – Prozessautomatisierter Straßenbau, Forum Straße Straßenbautag Olten (CH), 2010
  - Pitzler, D. und Cremer, M.: Besserer Straßenbau - bessere Straßen, Inside Out, Fachhochschule Köln 4/2010
  - Cremer, M.: New machine technical approaches in road construction by using the discrete element method, Polnisch-Deutsches wissenschaftliches Seminar, Warschau 06/2010
  - Ulrich, A.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, Aachener Straßenbau- und Verkehrstage 11/2010
  - Ulrich, A.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, FVB-Beiratssitzung und - Mitgliederversammlung Kirchdorf 11/2010
  - Ulrich, A.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen e.V., Beiratssitzung der Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen, Herne 05/2011
  - Horn, A.; Hameister H.; Pitzler, D; Cremer, M.: Qualitätsverbesserungen beim Asphaltstraßenbau - vom Mischwerk zum Fertiger, Bauportal 05/2011
  - Pitzler, D.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, 1st Research Cooperation Wrocław University of Technology and Cologne University of Applied Sciences 07/2011
  - Horn, A.; Hameister H.; Pitzler, D.; Cremer, M.: Qualitätsverbesserungen beim Asphaltstraßenbau - Einbau und Verdichtung von Asphalt, Bauportal 08/2011

- Pitzler, D. und Cremer, M.: Maschinentechnische Optimierungen an asphaltverarbeitenden Maschinen 41. VDBUM Seminar, Braunlage 02/2012
- Ulrich, A.: Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, Asphalt-Seminar, Willingen 03/2012
- Ulrich, A.: Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen (FVB) e.V. Spezielle und bauprozessgerechte Sensortechnik gezeigt am Beispiel der messtechnischen Erfassung der maßgeblichen Arbeitsfunktionen im Straßenbau, Technik-Tag Bau- und Baustoffmaschinen, Frankfurt a.M. 09/2012
- Pitzler, D.: PAST - Prozesssicherer automatisierter Straßenbau, Intelligent, innovativ, nachhaltig. Verkehrsforschung für das 21. Jahrhundert. Halbzeitbilanz des 3. Verkehrsforschungsprogramms, S. 56 - 59 TÜV Rheinland, Köln 10/2012
- Eigene Veranstaltungen und Messestände
  - PAST-Messestand auf der Bauma 2010, München
  - PAST-Demonstrationsveranstaltung an der BAB 4 bei Jena mit Darstellung der Forschungsergebnisse aller Projektpartner und Erprobung der Demonstratoren auf der Baustelle. 07/2010
  - PAST-Demonstrationsveranstaltung an der BAB 111 bei Stolpe mit Darstellung der Forschungsergebnisse aller Projektpartner und Erprobung der Demonstratoren auf der Baustelle. 11/2011
  - PAST-Messestand auf den 16. Asphalttagen , Berchtesgaden 02/2012
  - PAST-Messestand auf dem 41. VDBUM Seminar, Braunlage 02/2012

## IV Quellenverzeichnis

- [Fi75] FISCHER, F.: Die Verdichtung im Erdbau und bituminösen Straßenbau, Clark International Marketing S.A., Wiesbaden 1975
- [Ho94] HOFFMANN, K.; KRENN, E., STANKER, G.: Fördertechnik 2 – Maschinensätze, Fördermittel, Tragkonstruktionen, dritte Auflage, R. Oldenbourg Verlag, Wien, 1994
- [Ku88] KURTH, F., KUHN, H., PAJER, G.: Fördertechnik – Stetigförderer, VEB Verlag Technik, Berlin, 1988
- [Sc09] SCHULZE, D.: Pulver und Schüttgüter Fließeigenschaften und Handhabung, VDI Springer Verlag, Januar 2009
- [ZT09] ZTV StB, LBB LSA 09 Anlage 3: Ergänzende Bestimmungen zur elektromagnetischen Schichtdickenmessung im Straßenbau, 2009

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Prozesssicherer automatisierter Straßenbau		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr. Ulrich, Alfred	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2012	6. Veröffentlichungsdatum Januar 2013
	7. Form der Publikation Bericht	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Fachhochschule Köln Betzdorfer Straße 2 50679 Köln	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn		9. Ber. Nr. Durchführende Institution
		10. Förderkennzeichen 19S8003C
		11. Seitenzahl 56
13. Literaturangaben 5		14. Tabellen 8
		15. Abbildungen 44
		16. Zusätzliche Angaben
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Der Mobilitätsbedarf im Personenverkehr und im Warentransport wächst nahezu ungebremst an. Damit nimmt auch das Risiko von Staus und Kapazitätsengpässen auf den Straßen weiter zu, besonders in dicht besiedelten Gebieten. Dies zehrt nicht nur an Nerv und Gesundheit der Menschen, sondern auch an der Substanz der wertvollen Infrastruktur. Dort treten trotz ständig verbesserter Materialien in immer kürzeren Abständen Probleme bei der Nutzungsdauer der Straßenbeläge durch qualitätsbeeinflussende Schwachstellen, welche Baustellen und unproduktive Wartezeiten verursachen, auf. Durch die Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen beim Bau von Asphaltbelägen im Verkehrswegebau werden in diesem Forschungsvorhaben die Funktionseigenschaften der Verkehrswege, wie lärmarm, verkehrssicher (Griffigkeit) und die Gebrauchsdauer dieser Bauwerke mit neuen Ansätzen der Automatisierungs-, Informations- und Maschinenteknik für den Bauprozess wesentlich verbessert. Insgesamt wurden 15 Demonstratoren zur Beseitigung der bekannten Schwachstellen im Asphaltstraßenbau entwickelt.		
19. Schlagwörter Straßenbau, Straßenfertiger, Einbaubohle, Asphalteinbau, Verdichtung		
20. Verlag	21. Preis	

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN intended	2. type of document (e.g. report, publication) report
3. title Process Capable Automated Road Construction	
4. author(s) (family name, first name(s)) Prof. Dr. Ulrich, Alfred	5. end of project 31.07.2012
	6. publication date January 2013
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Cologne University of Applied Sciences Betzdorfer Straße 2 D - 50679 Cologne	9. originator's report no.
	10. reference no. 19S8003C
	11. no. of pages 56
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) D - 53107 Bonn	13. no. of references 5
	14. no. of tables 8
	15. no. of figures 44
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract High standards of road quality, process safety and environmental safety require improvements throughout the road construction process chain – from material production within the mixer to compaction with the roller. Despite constant material improvements, quality-reducing weaknesses in the durability of pavement continue to arise in ever increasing frequency. In this research project, weak points in the construction of asphalt coatings for traffic ways will be eliminated by using new approaches to automation, information technology and mechanical engineering within the construction process. This will ultimately lead to an improvement in roadway features, such as noise, road safety (grip) and durability.	
19. keywords Paver, Road Construction, Asphalt, Screed	
20. publisher	21. price