

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen

**Erweiterte Auswertung zum
vierten Forschungsprojekt FDVK-A auf der Bundesstraße B 10
bei Pirmasens im Zeitraum Juli/August 2013**

Stand: **August 2021**

Arbeitsgruppe 7:	Asphaltbauweisen
Arbeitsausschuss 7.4:	Bautechnologie
Arbeitskreis 7.4.1:	FDVK Asphalt
Bearbeitergruppe:	Erweiterte Auswertung der Untersuchungsergebnisse von der B 10

Leiter:	Hr. Dr.-Ing. Ronald Utterodt	– Lutten
Mitarbeiter:	Hr. Dipl.-Ing. Peter Ackermann	– GEOECO GmbH
	Hr. Dipl.-Ing. Ralf Borde	– Völkel Mikroelektronik
	Hr. Wolfgang Brandl	– Mitterteich
	Hr. Dr. rer. nat. Peter Decker	– Bomag GmbH
	Hr. Dipl.-Ing. (FH) Michael Hennrich	– STRABAG BMTI GmbH & Co.KG
	Hr. Dirk Juchem	– F.L. Juchem & Söhne GmbH & Co.KG
	Hr. Dipl.-Ing. Michael Kaak	– Topcon Positioning Group
	Hr. Dipl.-Ing. Kuno Kaufmann	– Q Point AG
	Hr. Dipl.-Ing. Bernhard Marx	– MOBA Mobile Automation AG
	Hr. Dipl.-Ing. Norbert Mattivi	– Trimble Germany
	Hr. Dr.-Ing. Axel Mühlhausen	– Hamm AG
	Hr. Dipl.-Ing. Winfried Schramm	– Bomag GmbH
	Hr. Andreas Stahl, M.Sc.	– Deutscher Asphaltverband e.V (DAV)

VORBEMERKUNG

Das vorliegende Dokument wurde von der Bearbeitergruppe „Erweiterte Auswertung der Untersuchungsergebnisse von der B 10“ erarbeitet und vom Arbeitsausschuss „Bautechnologie“ (Leiter: Dipl.-Ing. Keller) zur Vorlage bei der BASt bestätigt.

Kurzfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes *FE 89.0288/2013* [3] wurde der Einbau einer Asphaltbinder- und einer Asphaltdeckschicht unter Verwendung flächendeckender Verdichtungskontrollsysteme vom *Institut für Straßenwesen der Universität Siegen* untersucht. Auftragsgemäß lagen die Schwerpunkte der Untersuchung auf der Überprüfung der Verdichtungsleistung nach Niveau und Homogenität sowie der Aufzeichnung der Verdichtungs- und Ortungsdaten der eingesetzten Walzen.

Ergänzend über den an die *Universität Siegen* erteilten Untersuchungsauftrag hinaus wurden von den am Forschungsprojekt mitwirkenden Walzen- und Komponentenherstellern die besonderen Leistungsmerkmale der *Flächendeckenden Verdichtungskontrolle im Asphaltbau (FDVK-A)* auf Basis der aufgezeichneten Daten herausgearbeitet. Die erweiterte Auswertung zielte auf die Analyse des umfangreich gewonnenen Datenmaterials hinsichtlich der Einhaltung der Walzschemata, der Temperatur an der Schichtoberfläche beim Walzen, der Vermeidung der dynamischen Verdichtung im abgekühlten Bereich, des Verdichtens am Schichtrand, der Aussagefähigkeit zu Walzenkennwerten sowie der Möglichkeit einer punktuellen Auswertung. Die Ergebnisse dieser Auswertung zeigen die Möglichkeiten von *FDVK-A-Systemen* auf, für alle am Einbau- und Verdichtungsprozess beteiligten Mitarbeiter nützliche Informationen in detaillierter Form sowohl während als auch nach Abschluss der Baumaßnahme bereitstellen zu können, um die anforderungsgerechte Verdichtung der Asphaltsschichten nicht nur sicher erreichen, sondern auch gezielt überschreiten zu können.

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG DER UNTERSUCHUNG	5
2	ANGABEN ZUR BAUSTELLE UND ZUR EINGESETZTEN TECHNIK	5
3	ERGEBNISSE DER ERWEITERTEN AUSWERTUNG	6
3.1	Einhaltung des Walzschemas	7
3.1.1	Verdichtungsbeginn	7
3.1.2	Länge der Walzbahnen	7
3.1.3	Reihung der Walzbahnen	11
3.1.4	Walzgeschwindigkeit	12
3.1.5	Anzahl der Walzübergänge	13
3.2	Temperatur an der Schichtoberfläche beim Walzen	17
3.3	Erforderliche Änderungen des Walzschemas	20
3.4	Störungen des Walzschemas	20
3.5	Aussagen zu Walzenkennwerten	21
3.6	Punktuelle Auswertemöglichkeit	23
4	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	23
5	LITERATURVERZEICHNIS	25
	ABKÜRZUNGEN	25

1 VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG DER UNTERSUCHUNG

Im Rahmen des Forschungsprojektes *FE 89.0288/2013* [3] wurde der Einbau einer Asphaltbinder- und einer Asphaltdeckschicht unter Verwendung flächendeckender Verdichtungskontrollsysteme vom *Institut für Straßenwesen der Universität Siegen* untersucht. Auftragsgemäß lagen die Schwerpunkte der Untersuchung auf der Überprüfung der Verdichtungsleistung nach Niveau und Homogenität sowie der Aufzeichnung der Verdichtungs- und Ortungsdaten der eingesetzten Walzen.

Zwischen den Verdichtungsgraden aus definierten Probefeldern entnommener Bohrkerne des *Referenzabschnittes* und der mit Unterstützung der flächendeckenden Verdichtungskontrolle bearbeiteten *Testfelder* konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Allerdings zeigte sich, dass die vergleichbaren Verdichtungsgrade beim Einsatz von Verdichtungskontrollsystemen bei geringeren Walzübergangszahlen und einer – auf der Grundlage von Videoaufnahmen eingeschätzten – homogeneren Verteilung der dynamischen Walzübergänge erreicht werden konnten.

Auf Grund des vorgegebenen Ablaufes der Untersuchung herrschte auf der Baustelle kein Leistungsdruck. Zusätzlich begünstigten der gute Ausbildungsstand der Mitarbeiter, der Einbau bekannter Asphaltmischgutsorten, der Einbau bei optimaler Witterung, eine akribische und damit bei weitem nicht den Normalzustand repräsentierende Arbeitsvorbereitung sowie die Eingriffe in den Verdichtungsablauf bei festgestellten Minderverdichtungen oder schwachem Verdichtungszuwachs die sehr guten Ergebnisse aus dem Referenzabschnitt.

Ergänzend über den an die *Universität Siegen* erteilten Untersuchungsauftrag hinaus, wurden von den am Forschungsprojekt mitwirkenden Walzen- und Komponentenherstellern kosten- und zeitintensive Anstrengungen unternommen, die besonderen Leistungsmerkmale der *Flächendeckenden Verdichtungskontrolle im Asphaltbau (FDVK-A)* auf Basis der aufgezeichneten Daten herauszuarbeiten. Die erweiterte Auswertung zielt auf die Analyse des umfangreich gewonnenen Datenmaterials hinsichtlich der Einhaltung der Walzschemata, der Temperatur an der Schichtoberfläche beim Walzen, der Vermeidung der dynamischen Verdichtung im abgekühlten Bereich, des Verdichtens am Schichtrand, der Aussagefähigkeit zu Walzenkennwerten sowie der Möglichkeit einer punktuellen Auswertung.

2 ANGABEN ZUR BAUSTELLE UND ZUR EINGESETZTEN TECHNIK

Im Zeitraum Juli/August 2013 wurden auf der *Bundesstraße B 10* in der Nähe von Pirmasens auf einer Länge von 5.000 m die 8 cm dicke Asphaltbinder- und 4 cm dicke Asphaltdeckschicht mit dem Einbau eines *AC 16 B S, 25/55-55 A* bzw. eines *SMA 11 S, 25/55-55 A* erneuert. Zum Zweck der Untersuchung wurde das Baulos in fünf Abschnitte mit je 1.000 m Länge unterteilt (s. *Abb. 1* und *Tab. 1*).

Zur Registrierung der im *Referenzabschnitt* geleisteten Walzarbeit wurden die Walzen des Auftragnehmers mit einem im Hintergrund arbeitenden *FDVK-A-System* ausgerüstet: Die Bildschirme wurden abgedeckt, um den Walzenfahrern keine Unterstützung bei der Umsetzung des vereinbarten Walzschemas zu gewähren.



Abb. 1: Geographische Lage der Bundesstraße B 10 [1] und Streckenband [3]

Für die Verdichtung der anderen vier Abschnitte wurden seitens der Unternehmen *Ammann*, *Bomag*, *Caterpillar* und *Hamm* jeweils drei Walzen zuzüglich einer Reservewalze zur Verfügung gestellt, die mit eigenen oder Messdatenmanagementsystemen der Unternehmen *Topcon*, *Trimble* oder *Völkel* ausgerüstet waren, s. Tab. 1. Die Walzenfahrer konnten somit anhand visueller Darstellungen in Echtzeit den Verdichtungsfortschritt kontrollieren und beeinflussen. Für die erweiterte Auswertung wurde die in [3] geänderte Zuordnung der Walzenhersteller in die *Testfelder* beibehalten.

Tab. 1: für die Untersuchung eingesetzte Verdichtungstechnik und Messdatenmanagementsysteme

Walzenhersteller	Walzentyp	Anzahl	Messdatenmanagementsystem
<i>Referenzabschnitt</i>			
Referenzwalzen	HD 90 VO	2	MCA2000 (Moba)
	DV 85 VO	1	MCA2000 (Moba)
<i>Testfelder</i>			
Ammann	AV 95-2 ACEpro	3	Ammann Compaction Expert Plus
Bomag	BW 174 AP-4 AM2	3	BCM 05 / BCM Net
Caterpillar	CD 54 B	3	CCS900 (Trimble) VCC Navigator (Völkel)
Hamm	DV 90 VO	1	Hamm Compaction Quality
	DV 85 VO	2	Hamm Compaction Quality

3 ERGEBNISSE DER ERWEITERTEN AUSWERTUNG

Für die Fragestellungen wurden die Messdaten fallweise von technischen Ausreißern, die sich aus Einbauunterbrechungen, erforderlichem Querwalzen und dem Nachtanken von Wasser ergaben, bereinigt.

3.1 EINHALTUNG DES WALZSCHEMAS

Ein Walzschema beinhaltet die Anzahl und Reihenfolge der Walzübergänge im statischen oder dynamischen Verdichtungsmodus mit den Parametern Frequenz und Amplitude, die Walzgeschwindigkeit sowie die Reihung der Walzbahnen und deren Länge. Die Länge der Walzbahn ist die Strecke zwischen zwei Reversierpunkten. Ein Walzübergang ist das einmalige Fahren mit der Walze in gleichbleibender Richtung.

3.1.1 Verdichtungsbeginn

Bislang wurde bei ähnlichen Untersuchungen der wichtigen Frage, wie lange die Einlaufphase des Verdichtungsprozesses dauert, keinerlei Bedeutung beigemessen. Der *Abb. 2* ist zu entnehmen, dass im unterbrechungsfreien Einbau der Asphaltbinderschicht die Bahnlängen der führenden Walze zwischen 60 und 80 m betragen. In der 15. Walzbahn wurde nach Beginn der Verdichtung erstmalig eine Länge von 60 m erreicht. Unter Berücksichtigung der im *Testfeld C* ermittelten mittleren Walzgeschwindigkeit von 3,6 km/h (60 m/min) und mittleren Walzbahnlänge von 30 m in den ersten 15 Walzbahnen lässt sich ableiten, dass das Walzschema nach rd. 15 min stabil war. Auf die beiden Tiefpunkte des Bahnlängengraphen wird im *Abschn. 3.4* eingegangen.

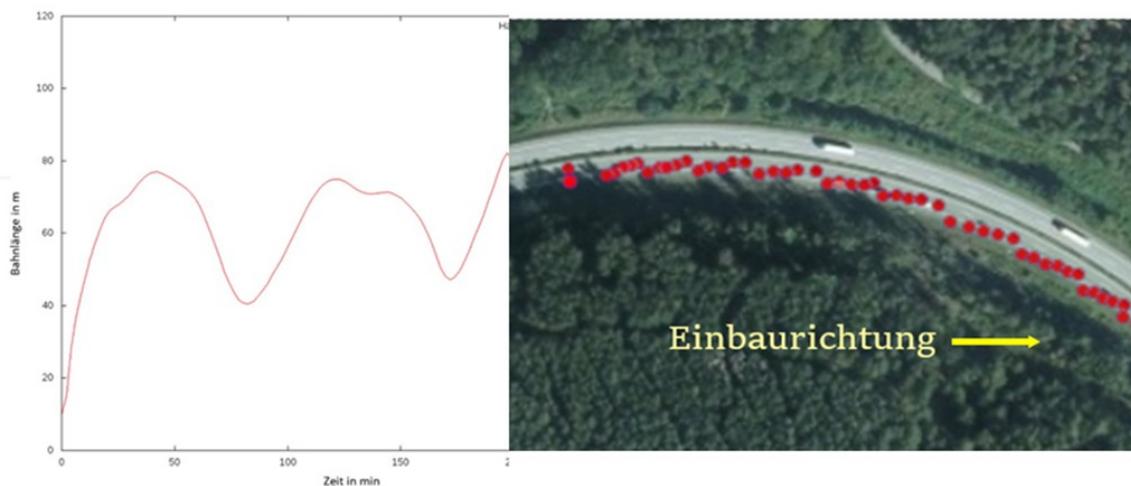


Abb. 2: Verlauf der Bahnlängen der führenden Walze nach der Zeit (links) und Reihung der Walzbahnen (rechts) während der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld C* [1]

3.1.2 Länge der Walzbahnen

Die Auswertung der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Referenzabschnitt* belegt Walzbahnlängen zwischen 54 und 118 m, wobei ausrüstungsbedingt beim Einsatz der auftragnehmereigenen Walzen nicht zwischen statischem und dynamischem Anteil der Verdichtung innerhalb einer Walzbahn unterschieden werden konnte. Die Rückwärtsfahrten sind weiß dargestellt (s. *Abb. 3*).

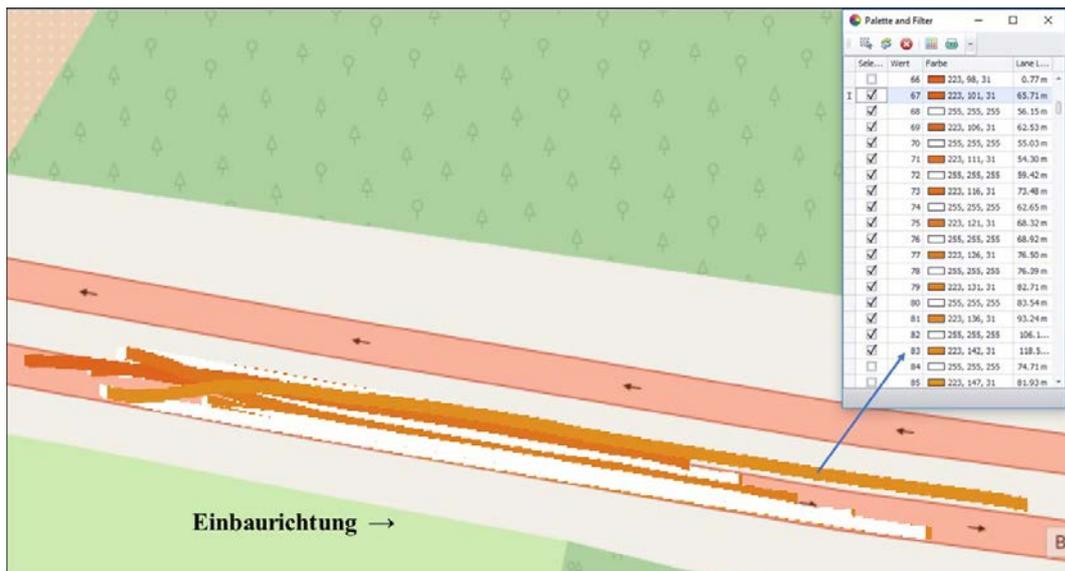


Abb. 3: Längen der Walzbahnen 67 bis 83 der führenden Walze während der Verdichtung des Asphaltbinders im *Referenzabschnitt* [2]

Im *Testfeld B* wurden vergleichbare Bahnlängen erzielt, wobei das Gros der untersuchten 1.441 Walzbahnen im Oszillationsbetrieb in einem Bereich zwischen 70 und 100 m lag, s. *Abb. 4*. Die maximale Walzbahnlänge von 1.850 m wurde durch Wasserholen verursacht.

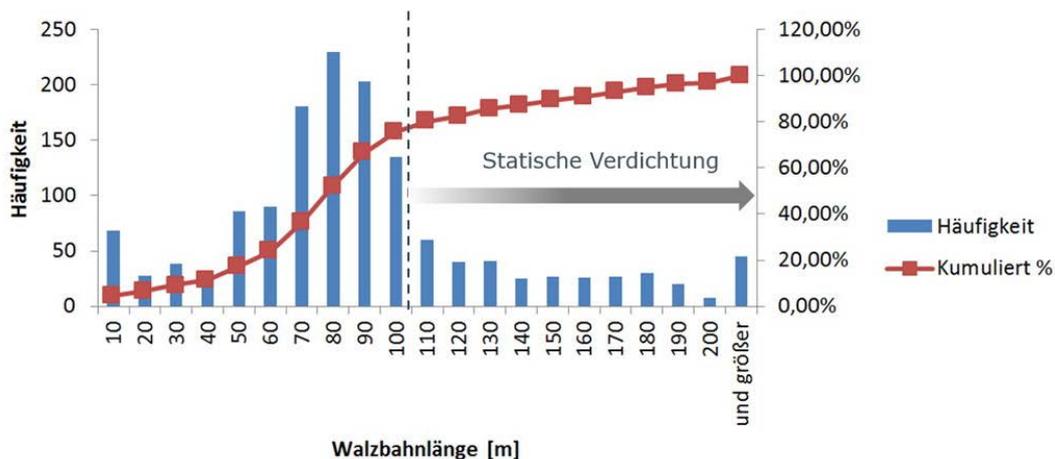


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Walzbahnlängen der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld B*

Bei der Auswertung der Walzschemata im *Testfeld A* wurden die bei der Verdichtung der beiden Asphalt-schichten gewonnenen Messdaten bewusst eingengt und die jeweils erste und letzte Stunde nicht berücksichtigt. Außerdem erfolgte eine zeitliche Unterteilung der Daten in drei Zeitblöcke entsprechend der Stabilität des Einbauprozesses. Das so aufbereitete Datenmaterial wurde hinsichtlich der Verteilung der Walzbahnlängen, der Reihenfolge der Walzbahnen, der Temperaturverteilung, der Walzgeschwindigkeit und der Anzahl der Walzübergänge untersucht. Außerdem wurde der Fragestellung nachgegangen, ob in den temperaturkritischen Bereichen mit Vibration gearbeitet wurde.

Bleibt bei der Auswertung der Verdichtung der Asphaltbinderschicht der statische Anteil an den Walzübergängen unberücksichtigt, so zeigt sich kaum eine Veränderung in den Walzbahnlängen: rd. 62 % liegen bei reinem Vibrationsbetrieb in einem Bereich zwischen 60 und 90 m. Die weitere Unterteilung der Daten in die drei Zeitblöcke offenbart deutliche Unterschiede zwischen den Walzbahnlängen der zweiten und dritten Stunde und allen nachfolgenden Stunden. In den beiden ersten Stunden der für die Untersuchung berücksichtigten Daten lagen rd. 78 % der Walzbahnlängen zwischen 75 und 100 m, in den mittleren und letzten zwei Stunden wiesen ca. 65 % der Walzbahnen einer Länge zwischen 55 und 85 bzw. 80 m auf (s. Abb. 5). Das Walzschema wurde von der Mischgutlogistik beeinflusst. Aus dem Lieferscheinjournal des bauausführenden Unternehmens wird deutlich, dass an diesem Tag im ersten Drittel des gesamten Beladungszeitraumes der zeitliche Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden Lkw zunächst sehr gleichmäßig war, sich aber mit dem Einbaufortschritt immer diskontinuierlicher gestaltete.

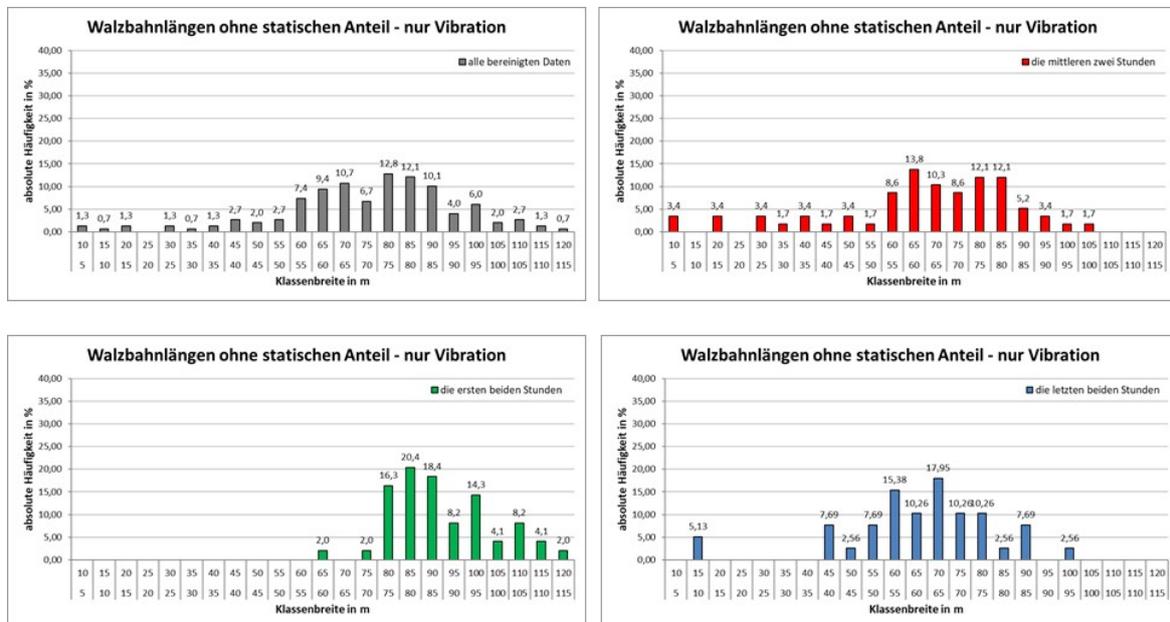


Abb. 5: Walzbahnlängen der führenden Walze ohne statischen Anteil während der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld A*

- oben links: Längen aller Walzbahnen zwischen der zweiten und siebenten Stunde des Einbauprozesses
- unten links: Längen der Walzbahnen in der zweiten und dritten Stunde
- oben rechts: Längen der Walzbahnen in der vierten und fünften Stunde
- unten rechts: Längen der Walzbahnen in der sechsten und siebenten Stunde

Bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht bewegten sich die Walzbahnlängen im *Referenzfeld* zwischen 36 und 91 m (s. Abb. 6).

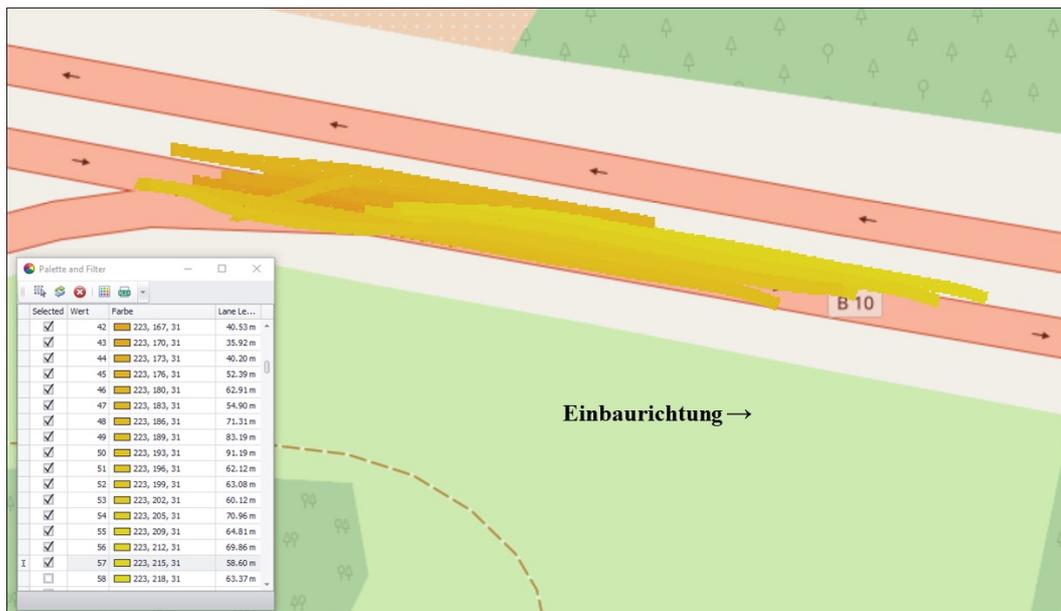


Abb. 6: Längen der Walzbahnen 36 bis 57 der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Referenzabschnitt* [2]

Im *Testfeld A* lagen bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht rd. 78 % der Walzbahnlängen in einem Bereich zwischen 50 und 70 m. Auch wenn mit der zeitlichen Einengung der erfassten Messdaten die 10-%-Quantile unberücksichtigt bleiben, so darf berechtigterweise davon ausgegangen werden, dass es mit Hilfe des betreffenden Messdatenmanagementsystems deutlich besser gelang, die mit dem Walzschema vorgegebenen Bahnlängen einzuhalten. Der Hauptgrund der Streuung liegt in den geringeren Walzgeschwindigkeiten in den beiden Randbereichen, s. dazu *Abb. 9*. Bei gleicher Einbaugeschwindigkeit wurde der Abstand zwischen Fertiger und Walze im Bereich der zweiten und dritten sowie nach dem Umsetzen von der fünften auf die erste Walzbahn größer. Der Walzenfahrer hat teilweise mit einer etwas höheren Walzgeschwindigkeit in den mittleren Walzbahnen gegengesteuert, um den Zeitverlust wieder wettmachen zu können. Es wäre besser gewesen, entweder die Einbaugeschwindigkeit etwas zu reduzieren oder die zum statischen Nachverdichten eingesetzte zweite Walze die Randbereiche separat bearbeiten zu lassen.

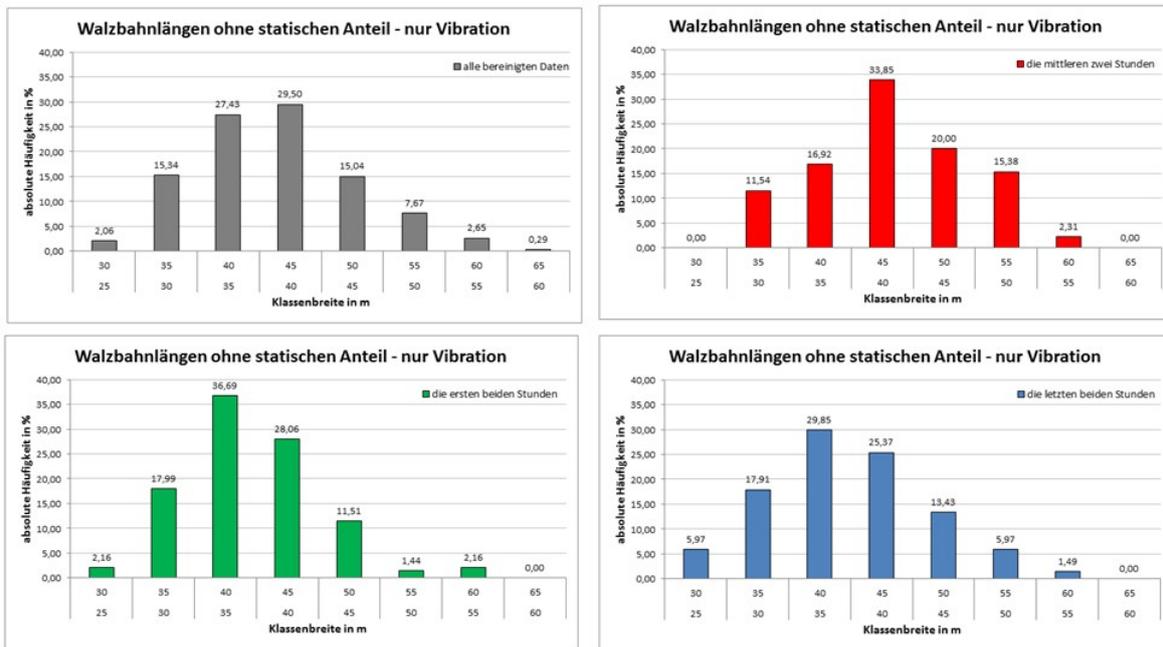


Abb. 7: Walzbahnlängen der führenden Walze ohne statischen Anteil während der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld A*

- oben links: Längen aller Walzbahnen zwischen der zweiten und siebenten Stunde des Einbauprozesses
- unten links: Längen der Walzbahnen in der zweiten und dritten Stunde
- oben rechts: Längen der Walzbahnen in der vierten und fünften Stunde
- unten rechts: Längen der Walzbahnen in der sechsten und siebenten Stunde

Berücksichtigt man den statischen Anteil an den Walzübergängen nicht, verringern sich die Walzbahnlängen durchschnittlich um rd. 10 m. Bei reinem Vibrationsbetrieb lagen rd. 87 % der Walzbahnlängen in einem Bereich zwischen 30 und 50 m: die Arbeit mit Vibration war hinsichtlich der Walzbahnlängen genauer. Auch hier offenbart die Unterteilung der Daten in die drei Zeitblöcke wiederum deutliche Unterschiede. Die Walzbahnlängen der zweiten und dritten sowie der sechsten und siebenten Stunde des Einbauprozesses bewegten sich mit einem Anteil von ca. 83 resp. 87 % zwischen 30 und 45 bzw. 30 und 50 m. Um die Mittagszeit geriet der Materialzulauf ins Stocken. Das Lieferscheinjournal weist für diesen Einbautag für drei Lkw 234, 265 und 268 min zwischen der Erst- und Zweitbeladung aus, während das arithmetische Mittel für die Lkw mit wiederholter Beladung bei 204 min liegt. Dadurch verschoben sich die Walzbahnlängen nach oben: rd. 86 % aller Walzbahnlängen der mittleren zwei Stunden lagen in einem Bereich zwischen 35 und 55 m, vgl. *Abb. 7*.

3.1.3 Reihung der Walzbahnen

Der *Abb. 3* ist die Reihenfolge der Walzübergänge in einem Teil des *Referenzabschnittes* bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht zu entnehmen. Dem einseitigen Quergefälle entsprechend, wurden die Walzbahnen aufsteigend angeordnet und parallel zueinander ausgeführt. Der Längsversatz der vorderen Reversierpunkte war gleichmäßig. Mit dem Walzübergang 83 erfolgte der Wechsel zum nächsten Verdichtungsabschnitt.

Auch im *Testfeld C* wurden die Walzbahnen entsprechend des Quergefälles aufsteigend angeordnet. Nach der Stabilisierung des Walzschemas war der Längsversatz der vorderen Reversierpunkte ebenfalls gleichmäßig, s. *Abb. 2*.

3.1.4 Walzgeschwindigkeit

Die Verteilung der Walzgeschwindigkeit der führenden Walze bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Referenzabschnitt* ist der *Abb. 8* zu entnehmen. Die mittlere Geschwindigkeit betrug 3,5 km/h resp. 0,97 m/s. Bemerkenswert ist, dass im Vergleich zum *Testfeld A* (s. *Abb. 9*) bei der Verdichtung der beiden Randbereiche die Walzgeschwindigkeit kaum geändert wurde.

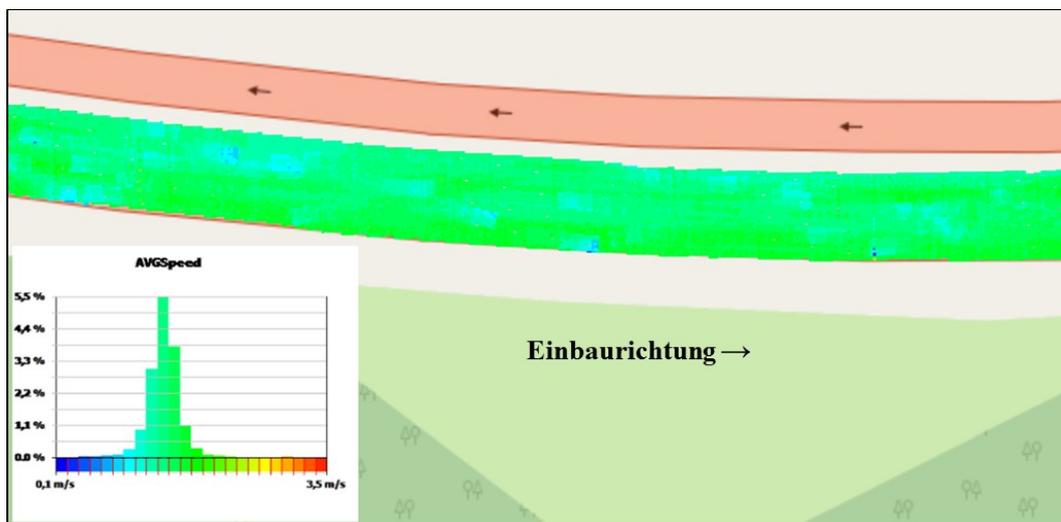


Abb. 8: Walzgeschwindigkeiten der führenden Walze während der ersten Überfahrt bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Referenzabschnitt* [2]

Die die Ansprache der Verdichtung beeinflussenden Parameter Anzahl der Walzübergänge, Walzgeschwindigkeit, Vibrationsfrequenz und -amplitude sowie die Temperatur an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphaltdeckschicht, lassen sich auch mit der Software *VETA* des *Minnesota Department of Transportation* auswerten. Die *Abb. 9* zeigt beispielhaft die Walzgeschwindigkeiten der führenden Walze während der ersten Überfahrt bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld A*. Es ist deutlich zu erkennen, dass im Bereich der Ränder langsamer gefahren wurde. Auch wenn damit der Eintrag der Verdichtungsenergie in die Asphaltdeckschicht intensiviert wurde, muss die Frage offenbleiben, ob die geringere Anzahl an Walzübergängen ausgereicht hat, um die geforderte Mindestverdichtung gewährleisten zu können. In den Randbereichen wurde keine Bestimmung der Raumdicke resp. des Verdichtungsgrades vorgenommen.



Abb. 9: Walzgeschwindigkeiten der führenden Walze während der ersten Überfahrt bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld A* [2]

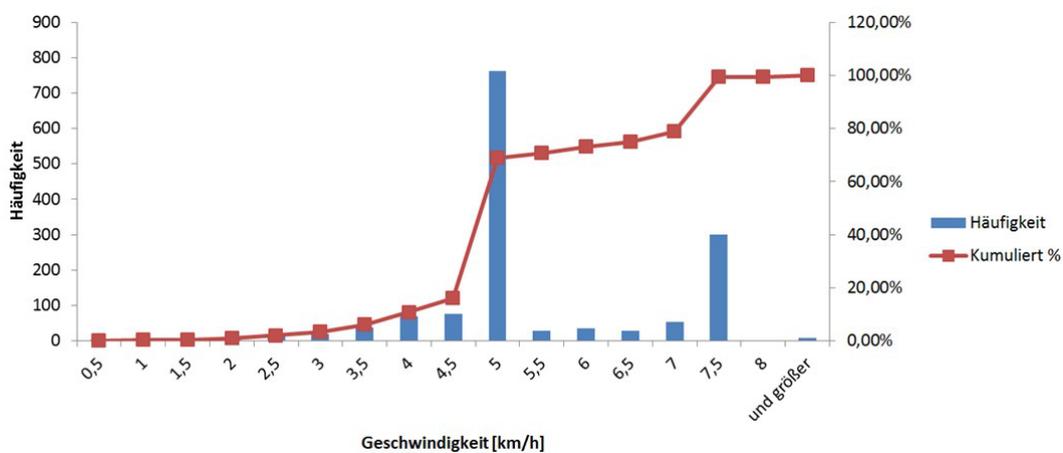


Abb. 10: Histogramm der Geschwindigkeitsverteilung aller Walzen während der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld B*

Die mit der herstellereigenen Software ermittelte Häufigkeitsverteilung der im *Testfeld B* erfassten 1.441 Geschwindigkeitsdaten enthält sowohl die statischen als auch die Übergänge mit Oszillation und spiegelt das Ergebnis aller eingesetzten Walzen wider. Eindeutig zu erkennen ist, dass beim Einsatz der Oszillation eine Geschwindigkeit von 5 km/h (83 m/min) gewählt und in etwa 50 % aller Walzbahnen umgesetzt wurde. Die zweite dominierende Geschwindigkeit liegt bei 7,5 km/h (125 m/min), die den Großteil der statisch ausgeführten Walzübergänge inklusive der Fahrten zum Nachtanken des Walzwassers repräsentiert (s. *Abb. 10*).

3.1.5 Anzahl der Walzübergänge

Einen Ausschnitt aller Walzübergänge der führenden Walze bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Referenzabschnitt* zeigt die *Abb. 11*. Eine Trennung zwischen statischen und dynamischen Walzübergängen ist nicht möglich, weil in diesem Untersuchungsabschnitt die dafür erforderlichen Maschinendaten nicht erfasst wurden. In der linksschiefen, steilgipfeligen Verteilung lag das Gros der Anzahl der Walzübergänge zwischen vier bis sieben. Gut zu erken-

nen ist die deutlich geringere Anzahl an Walzübergängen zu Beginn des Verdichtungsprozesses und fortlaufend im Bereich der Ränder.

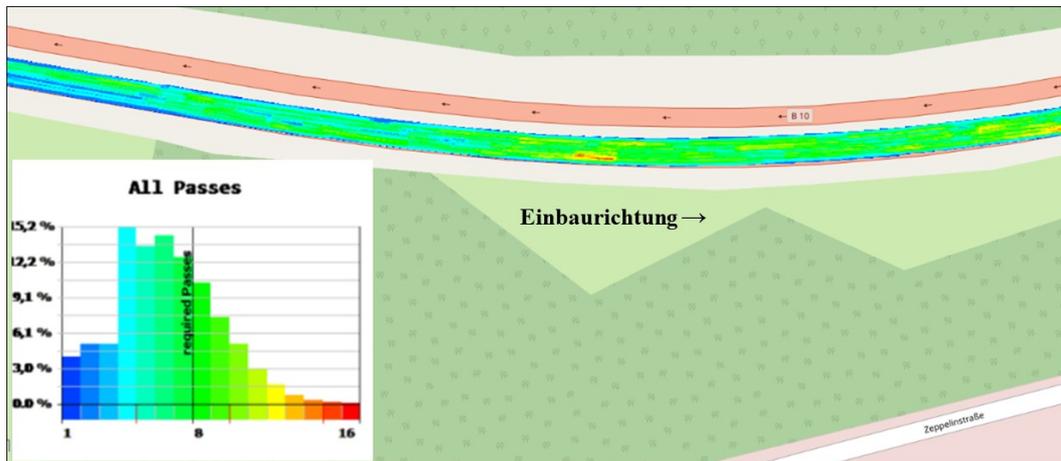


Abb. 11: Verteilung der statischen und dynamischen Walzübergänge der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Referenzabschnitt* [2]

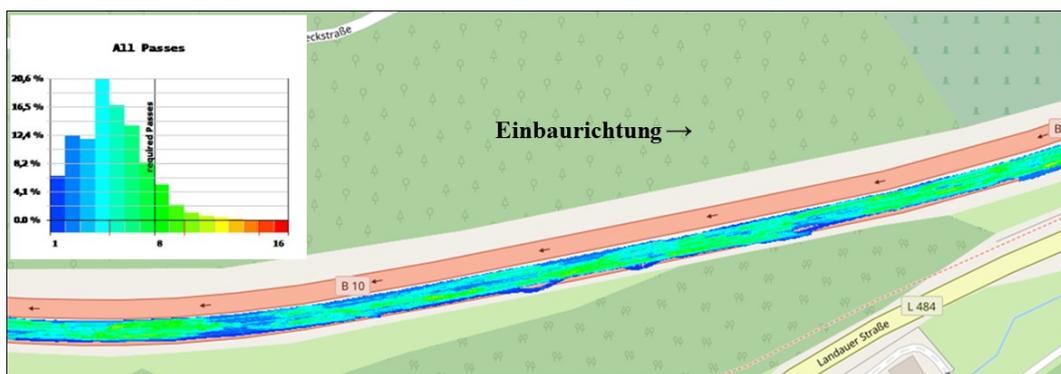


Abb. 12: Verteilung der statischen und dynamischen Walzübergänge der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Referenzabschnitt* [2]

Bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Referenzabschnitt* lag der Schwerpunkt der linksschiefen, steilgipfeligen Verteilung bei vier Walzübergängen. Auch hier ist eine deutlich geringere Anzahl an Walzübergängen im Bereich der Ränder zu erkennen, s. *Abb. 12*.

Zur Auswertung der Walzübergangszahlen bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht mit der führenden Walze im *Testfeld C* wurden 211 Walzbahnen in Einbaurichtung berücksichtigt (s. *Abb. 13*).

In der Abbildung werden ebenfalls geringere Walzübergangszahlen im Bereich der Ränder ausgewiesen, was durchaus auf die in diesem Testfeld verwendete *GNSS*-Genauigkeit (dm) sowie die *GNSS*-Stabilität und die daraus resultierenden Einflüsse auf die Rasterung im Randbereich zurückgeführt werden kann. Die Analyse der Daten zeigt aber, dass die Randbereiche mit derselben Anzahl an Walzübergängen bearbeitet wurden. Deshalb ist auf ein stabiles und möglichst genaues *GNSS*-Positioniersystem besonderes Augenmerk zu legen.

Im Rahmen der hier vorgenommenen Darstellung der Ergebnisse wurde von allen am Forschungsprojekt beteiligten Herstellern zur besseren Vergleichbarkeit einzelner Auswertungen versuchsweise die Software *VETA* verwendet. Dabei wurde nach dem Import der Daten in die US-amerikanische Software festgestellt, dass zum Zeitpunkt der Auswertung Fragen offenblieben, was zu falschen Interpretationen führen könnte.

Bei der Datenübertragung von der Auswertesoftware eines Walzenherstellers nach *VETA* konnte keine Neu-Rasterisierung (Meter nach Fuß o.ä.) beobachtet werden, die Darstellung war pixelgenau identisch (20 cm * 20 cm). Allerdings liefert der *VETA-Filter* andere Ergebnisse als die Filter der firmeneigenen Software. Die Darstellung der Anzahl der Überfahrten stimmt in den Systemen überein.

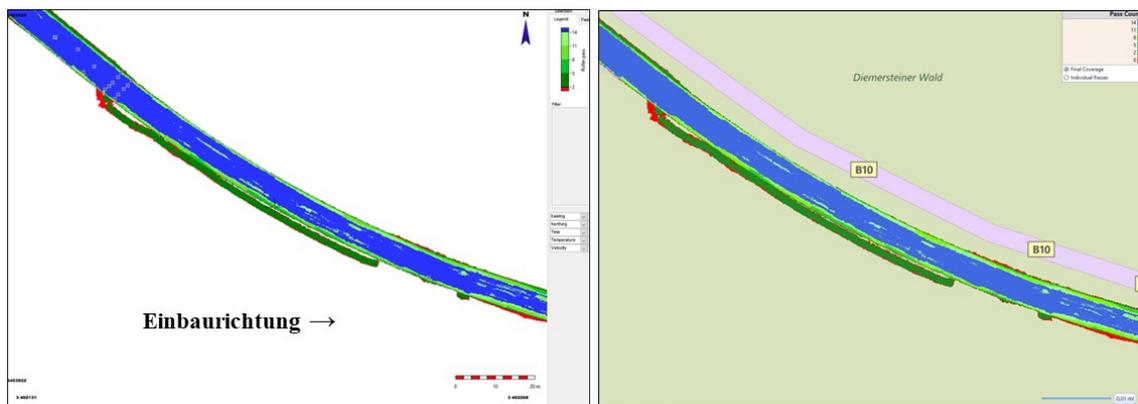


Abb. 13: Darstellung der statischen und dynamischen Walzübergänge der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld C* mit der herstellereigenen Software (links) und mit dem Programm *VETA 5.0.51* (rechts [2])

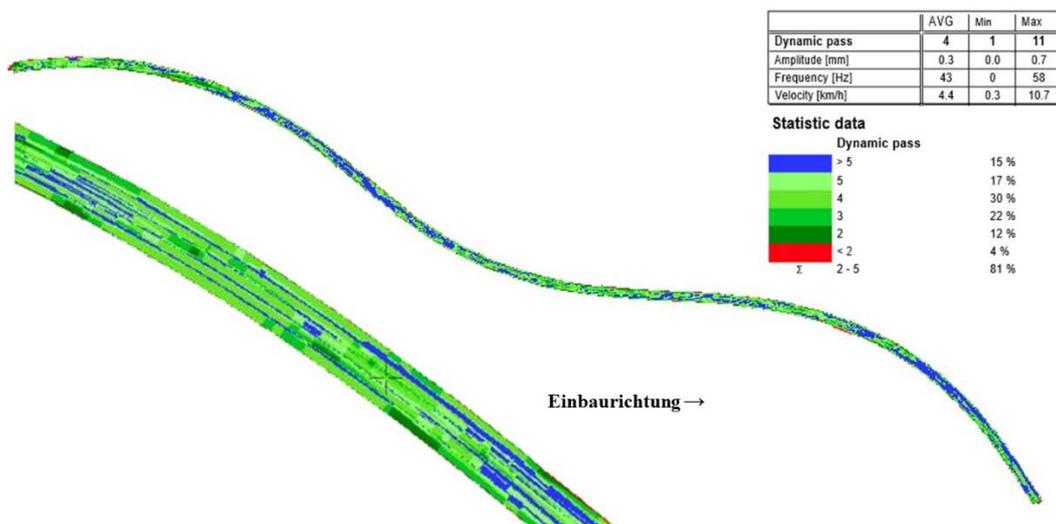


Abb. 14: Darstellung der dynamischen Walzübergänge der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld C*

In der *Abb. 14* sind die mit der firmeneigenen Software ermittelten Walzübergänge mit Vibration bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld C* dargestellt. Der Anteil der

zwei- bis fünffach ausgeführten dynamischen Walzübergänge liegt bei 81 %. Ein Abschnitt im oberen und zwei Abschnitte im unteren Randbereich wurden mit nur jeweils zwei Vibrationsübergängen bearbeitet.

Die *Abb. 15* zeigt das Ergebnis der mit *VETA* durchgeführten Analyse bez. der mit Vibration ausgeführten Anzahl an Überfahrten der führenden Walze bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld A*. Gefordert waren vier dynamische Walzübergänge. Der leicht rechtschiefen, steilgipfligen Verteilung ist zu entnehmen, dass in nur rd. 50 % der untersuchten Fälle tatsächlich vier Vibrationsübergänge erfolgten. Auch die Randbereiche wurden unterschiedlich gewalzt: mit zwei bis fünf dynamischen Übergängen.

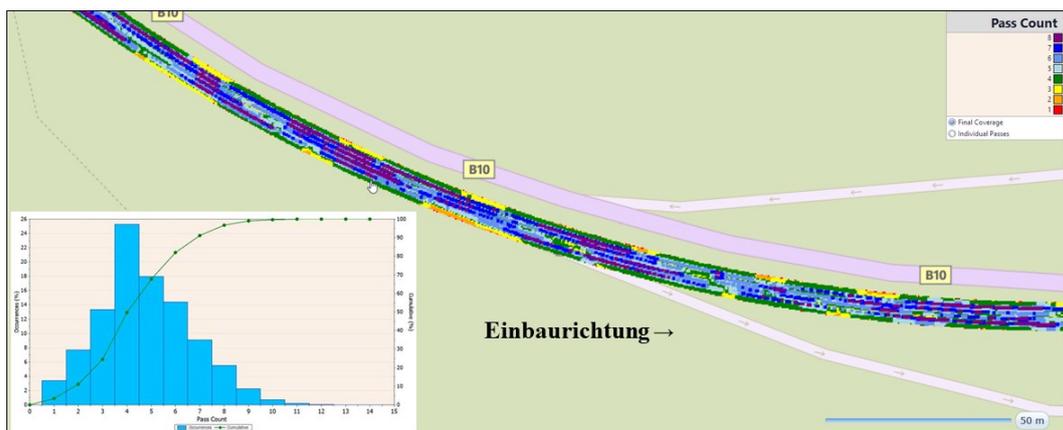


Abb. 15: Verteilung der mit Vibration ausgeführten Anzahl an Walzübergängen der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld A* [2]

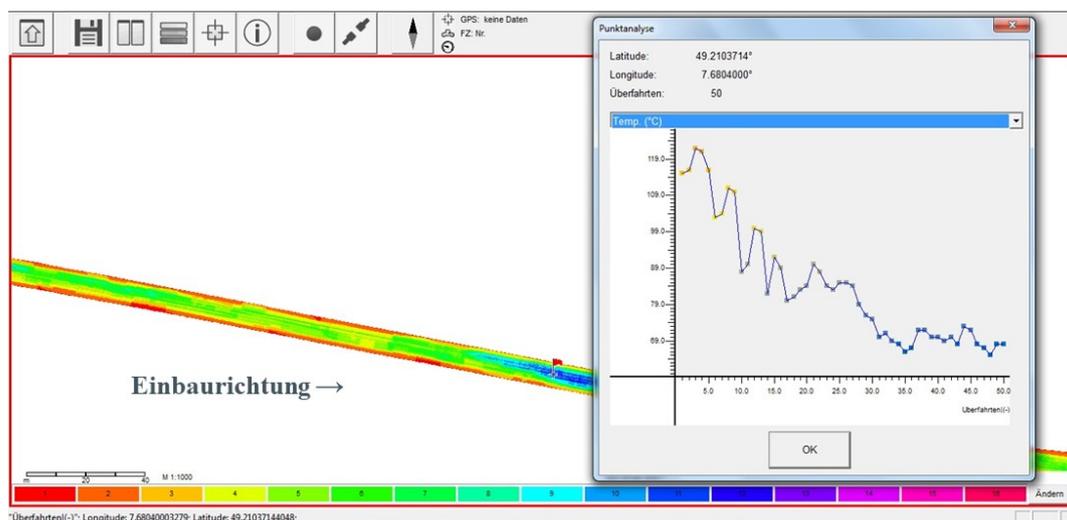


Abb. 16: Darstellung der statischen und dynamischen Walzübergänge der führenden Walze während der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld B*

Mit der firmeneigenen Software wird in der *Abb. 16* die Anzahl der Überfahrten der führenden Walze bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld B* auszugsweise dargestellt. Der Screenshot zeigt im Hintergrund die Anzahl der Überfahrten. In diesem Abschnitt wurden die

Randbereiche ebenfalls weniger verdichtet als der mittlere Bereich. Auf die Punktanalyse wird im *Abschn. 3.2* eingegangen.

3.2 TEMPERATUR AN DER SCHICHTOBERFLÄCHE BEIM WALZEN

Weil davon auszugehen ist, dass das Walzwasser die Messung der Temperatur an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphaltschichten mehr oder weniger beeinflusst hat, wurde jeweils nur der erste Walzübergang bewertet.

Zu Beginn der Verdichtung der Asphaltbinderschicht betrug die mittlere Temperatur an der Belagsoberfläche im *Referenzfeld* rd. 122 °C bei einer Spannweite von rd. 50 °C (s. *Abb. 17*). Bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht lagen bei der gleichen Spannweite die zwischen den beiden Bandagen gemessenen, mittleren Temperaturen mit rd. 131 °C etwas höher (s. *Abb. 18*).

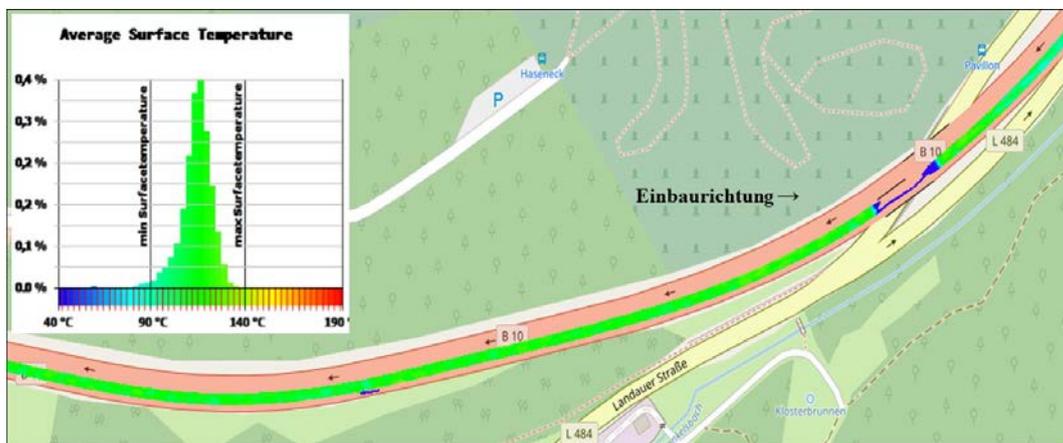


Abb. 17: Temperatur an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphaltbinderschicht während des ersten Übergangs der führenden Walze im *Referenzabschnitt* [2]



Abb. 18: Temperatur an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphaltdeckschicht während des ersten Übergangs der führenden Walze im *Referenzabschnitt* [2]

Die Auswertung der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld C* lässt auf eine sehr gleichmäßige Temperatur bei der ersten Überfahrt schließen. Auch hier wurden die fortlaufen-

den Messungen zwischen den beiden Bandagen durchgeführt. Über 90 % der Messwerte liegen in einem Bereich zwischen 110 und 140 °C. An einem Messpunkt lag die Temperatur unter 95 °C. Die beiden äußeren Fenster in der *Abb. 19* liegen außerhalb des Bauabschnittes und belegen Temperaturen unter 80 °C. Das mittlere Fenster markiert eine längere Einbauunterbrechung (vgl. *Abb. 23*). Über eine Strecke von 5 m fielen die Temperaturen an der Belagsoberfläche bis zum ersten Kontakt mit der Walzbandage auf 80 bis 90 °C ab.

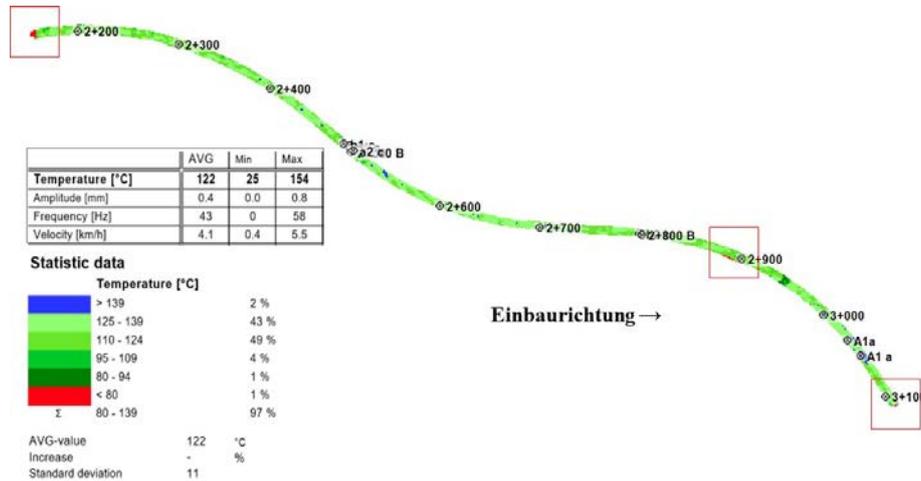


Abb. 19: Verteilung der Temperatur an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphaltbinderschicht während des ersten Übergangs der führenden Walze im *Testfeld C*



Abb. 20: Temperatur an der Oberfläche der Asphaltbinderschicht im *Testfeld A* während der ersten Fahrt der führenden Walze zum Fertiger hin (oben) und zurück (unten) [2]

In der *Abb. 20* sind im Abstand von rd. 20 m periodisch auftretende Temperaturunterschiede bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht erkennbar, die auf die Beschickungsvorgänge zurückzuführen sind. Trotz des dem Fertiger vorgeschalteten Beschickers schlagen die Ungleichmäßigkeiten in der Temperatur des angelieferten Asphaltmischgutes bis zum Ende der Prozesskette durch. Die Erfassung der Oberflächentemperatur wurde vor der jeweils führenden Bandage durchgeführt. Deutlich zu erkennen ist der Einfluss des Walzwassers nach dem ersten Walzübergang (Fahrt zum Fertiger) auf die an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphalt schicht erfasste Temperatur während der Rückwärtsfahrt der Walze (zweiter Walzübergang).

Im Bereich des Asphaltbinders wurden im *Testfeld A* über eine Dauer von rd. 5 Std. (304 min) 149 Walzbahnen mit hoher Präzision ausgeführt. Nur ein Mal wurde die Vibration nach dem Erreichen einer Temperatur an der Belagsoberfläche von 80 °C nicht sofort abgeschaltet. Dieses Ereignis betrifft nur 0,7 % aller untersuchten Zellen.

Die Verdichtung der Asphaltdeckschicht wurde in 344 Walzbahnen untersucht. In diesen Teilabschnitten wurde die Vibration nach dem Erreichen einer Temperatur an der Belagsoberfläche von 80 °C lediglich 15 Mal nicht sofort abgeschaltet und ein Mal wurde bei der Vorwärtsfahrt zum Fertiger in einem Temperaturbereich > 145 °C bereits dynamisch verdichtet. Diese 16 Ereignisse betreffen lediglich 0,6 % aller untersuchten Zellen.

Es darf deshalb zu Recht unterstellt werden, dass mit der Verwendung der *FDVK-A-Systeme* eine Schädigung der bereits verdichteten und abgekühlten Asphalt schichten durch den weiteren Eintrag nicht mehr erforderlicher Vibrationsenergie so gut wie ausgeschlossen werden kann.

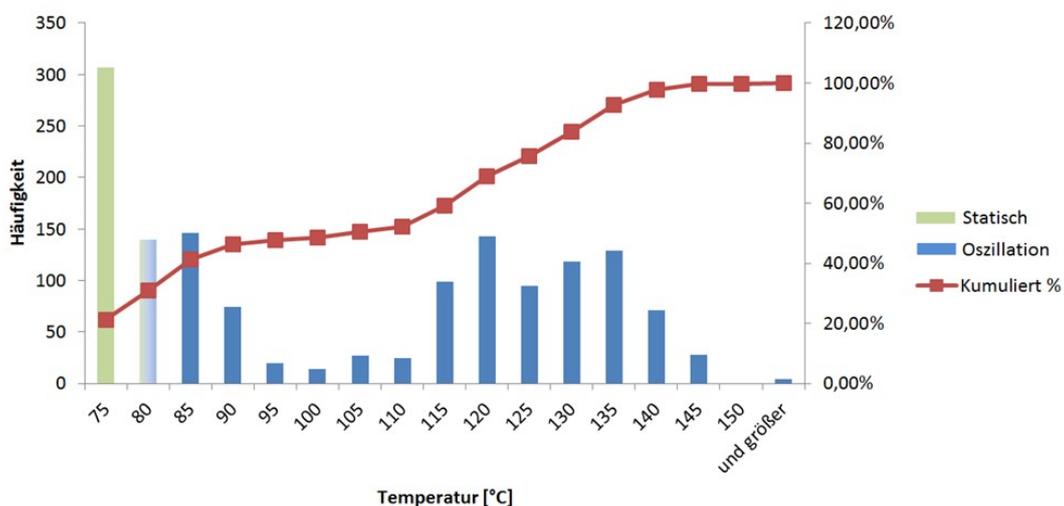


Abb. 21: Verteilung der Temperatur an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphaltdeckschicht während der Walzarbeit im *Testfeld B*

Im *Testfeld B* wurde die Temperatur an 1.441 Messpunkten erfasst. Die Oszillation wurde in einem Temperaturbereich von 80 bis 145 °C verwendet, einige Ausreißer lagen bei ca. 75 °C. Das Glätten der Asphaltdeckschicht wurde bis zu einer Temperatur von 75 bis max. 80 °C durchgeführt, s. *Abb. 21*. Die in der *Abb. 16* dargestellte „Punktanalyse“ stellt die Temperatur der Anzahl der Überfahrten gegenüber. Die Oszillation (gelbe Punkte) wurde in diesem Ab-

schnitt bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht bis zu einer Temperatur von 90 °C eingesetzt.

3.3 ERFORDERLICHE ÄNDERUNGEN DES WALZSCHEMAS

Im Bereich des *Referenzabschnittes* war kein Wechsel der Querneigung gegeben.

Dafür bieten sich Untersuchungen im *Testfeld C* an. So wird aus der *Abb. 22* eine querneigungsbedingte Änderung des Walzschemas deutlich. Nach der Änderung der Reihenfolge der Walzbahnen zeichnet sich am rechten Bildrand eine Einbauunterbrechung ab (s. dazu auch *Abb. 23* im *Abschn. 3.4*).



Abb. 22: querneigungsbedingte Änderung des Walzschemas bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld C* [1]

3.4 STÖRUNGEN DES WALZSCHEMAS

Die Auswirkungen von Einbauunterbrechungen können mit der Auswertung des *Testfeldes C* beim Einbau der Asphaltbinderschicht deutlich gemacht werden.



Abb. 23: logistisch bedingte Beeinflussungen des Walzschemas während der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im *Testfeld C* [1]

In der *Abb. 23* wurden 210 Walzbahnen zeitlich hintereinander angeordnet. Man erkennt zwei am Temperatur- und Zeit-stempel festgemachte Einbauunterbrechungen mit der Folge verkürzter Walzbahnen vor und nach dem Einbaustopp und dem damit zwangsläufig verbundenen Verlust der Gleichmäßigkeit der Walzarbeit und somit der Verdichtung.

Vor den Einbauunterbrechungen wurde mit Walzbahnlängen zwischen 60 und 80 m gearbeitet. Beeindruckend ist vor allem, zu sehen, wie viele Walzbahnen ausgeführt werden müssen, bis das Walzschema wieder stabil ist. Das verdeutlicht auch die Darstellung der Bahnlänge über die Zeit. Die aus der *Abb. 2* ersichtlichen zwei Tiefpunkte des Bahnlängengraphen wurden durch die beiden Einbauunterbrechungen verursacht.

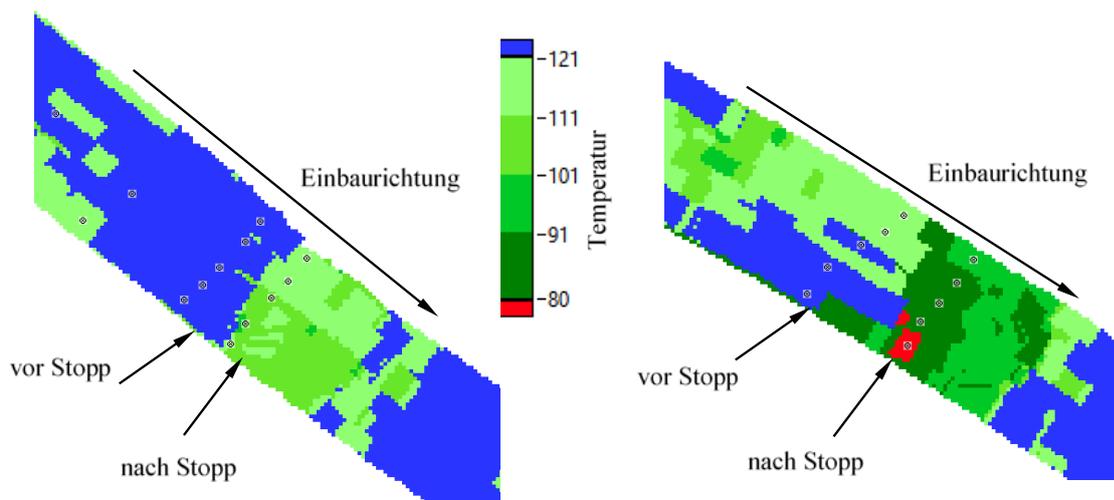


Abb. 24: Temperaturen an der Oberfläche der zu verdichtenden Asphaltbinderschicht vor und nach der ersten (links) und zweiten Einbauunterbrechung (rechts) im *Testfeld C*

Die Oberflächentemperatur der Asphaltbinderschicht betrug vor der ersten, kürzeren Einbauunterbrechung bei der ersten Überfahrt mit der Walze mehr als 120 °C, nach der Wiederaufnahme der Verdichtung schwankte sie zwischen 100 und 120 °C. Der deutlich längere zweite Einbaustopp wirkte sich auf die Temperaturen wesentlich gravierender aus: Vor der Einbauunterbrechung wurden Temperaturen an der Oberfläche der Asphaltenschicht von mehr als 110 °C registriert, zu Beginn der Fortsetzung der Walzarbeit lagen sie zwischen 80 und 90 °C oder sogar darunter, s. *Abb. 24*.

3.5 AUSSAGEN ZU WALZENKENNWERTEN

Die Entwicklung der arithmetisch gemittelten E_{VIB} -Werte und deren Standardabweichungen bei dynamischen Überfahrten auf der Asphaltbinderschicht in dem bei der Durchführung des Projektes hauptsächlich abgedeckten Temperaturbereich zwischen 140 und 110 °C ist in der *Abb. 25* dargestellt. E_{VIB} -Werte, die beim Hochlaufen der Vibration gemessen wurden und demzufolge als technische Ausreißer zu betrachten sind, wurden ignoriert. Man erkennt, dass die Steifigkeit der Asphaltbinderschicht mit der Anzahl der Überfahrten zunimmt. Gleichzeitig

deutet die Abnahme der Standardabweichung auf eine zunehmende Homogenisierung der Steifigkeit durch die Überfahrten mit dem geregelten System hin.

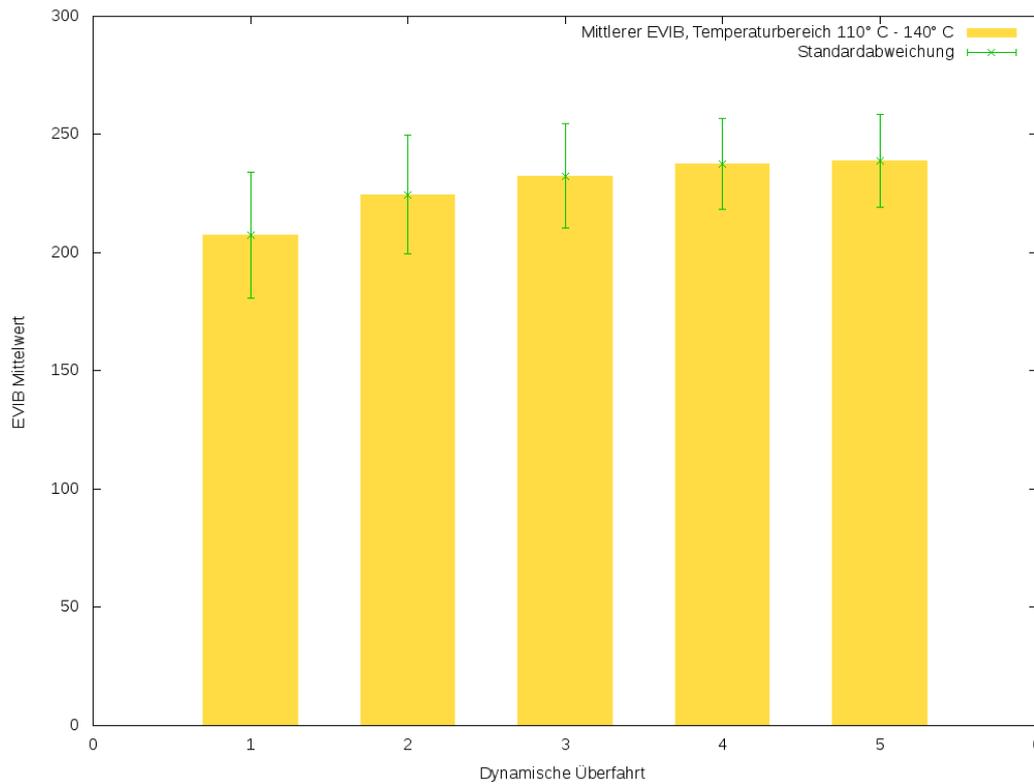


Abb. 25: Entwicklung der arithmetisch gemittelten E_{VIB} -Werte und deren Standardabweichungen bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im Temperaturbereich zwischen 140 und 110 °C

3.6 PUNKTUELLE AUSWERTEMÖGLICHKEIT

Alle erfassten Daten lassen sich mit den herstellereigenen Auswertemöglichkeiten auch punktbezogen darstellen, wie das aus dem in der *Abb. 26* gezeigten Beispiel ersichtlich wird.

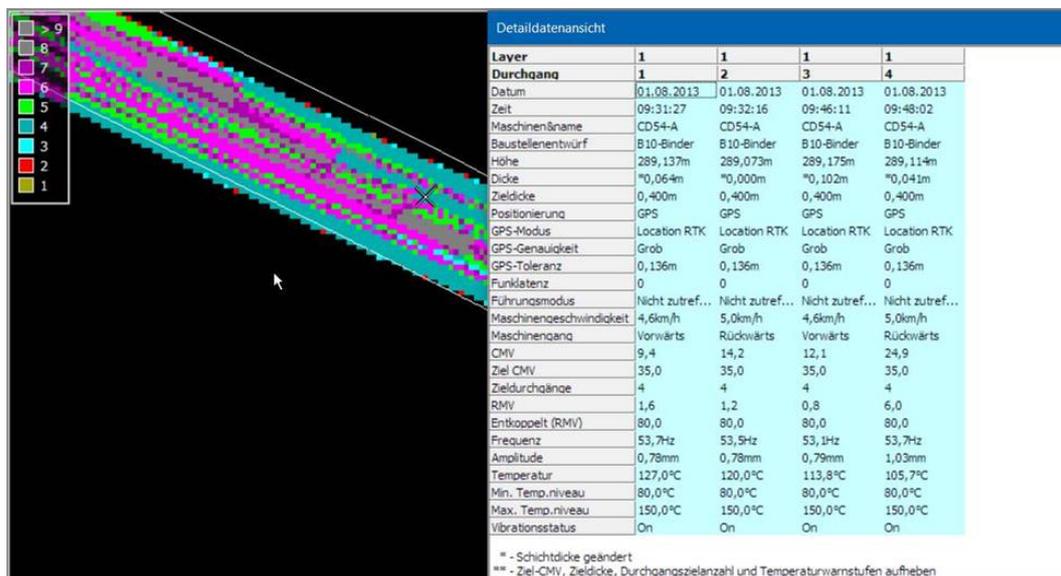


Abb. 26: Beispiel zur punktuellen Auswertemöglichkeit anhand der Verdichtung der Asphaltdeckschicht im *Testfeld A*

Um ein Überangebot an Informationen zu vermeiden, werden vom *Arbeitskreis 7.4.1 „Flächendeckende Verdichtungskontrolle Asphalt“* entsprechende Vorgaben erarbeitet, welche Messwerte zur Bewertung der Walzverdichtung unbedingt erforderlich sind.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die erweiterte Auswertung der beim Einbau der Asphaltbinder- und -deckschicht auf der *Bundesstraße B 10* gewonnenen Daten belegt die Möglichkeiten von *FDVK-A-Systemen*, für alle am Einbau- und Verdichtungsprozess beteiligten Mitarbeiter nützliche Informationen in detaillierter Form sowohl während als auch nach Abschluss der Baumaßnahme bereitstellen zu können.

Der Walzenfahrer kann in situ nachverfolgen, wo er bereits verdichtet hat und an welchen Stellen noch Verdichtungsbedarf besteht. Da fortlaufend die Oberflächentemperatur der Asphaltsschicht visualisiert wird, kann er selbständig entscheiden, wann die Vibration temperaturbedingt abgeschaltet werden muss. Beim Einsatz nichtregelnder Systeme wird er stärker gefordert, anhand der Einzelparameter Anzahl der Walzübergänge, Oberflächentemperatur, Walzgeschwindigkeit, Steifigkeit der zu verdichtenden Asphaltsschicht und der Warnung vor einem Sprungbetrieb die richtige Entscheidung zu treffen, ob noch Verdichtungsbedarf besteht oder nicht. Bei der Verwendung von Vibrationswalzen kann dem Walzenfahrer zur besseren Orientierung herstellerabhängig ein Kennwert der dynamischen Verdichtung angezeigt werden. Mit dem Einsatz selbstregelnder Walzen kann dem

Walzenfahrer diese Entscheidung weitgehend abgenommen werden. Aussagen zu Walzenkennwerten können bei der Einschätzung der geleisteten Verdichtungsarbeit hilfreich sein.

Derzeit noch ungenutztes Potential liegt in der Möglichkeit, die Einlaufphase der Verdichtung zu visualisieren, um Startzeitpunkte für die zunehmenden Walzbahnlängen vorzugeben und damit den temperaturabhängigen Eintrag der Verdichtungsenergie gleichmäßiger gestalten zu können.

Der Walzenfahrer muss auf die Gegebenheiten im Feld reagieren, was ein bewusstes Abweichen vom Walzschema in bestimmten Situationen erfordert, weshalb sich die Gleichmäßigkeit des Einbauprozesses deutlich auf die Stabilität des Walzschemas und damit auf die Qualität der Walzarbeit auswirkt. Aus den Informationen zur Einhaltung der Anzahl der Walzübergänge, zur Reihung und Länge der Walzbahnen sowie zur Gleichmäßigkeit der Walzgeschwindigkeit kann der Einbauverantwortliche wichtige Schlussfolgerungen zu einer notwendigen Anpassung des Einbauprozesses an den Verdichtungsfortschritt ziehen.

Bei *RTK*-gestützten *GNSS*-Systemen mit Internet-Korrekturen (*VRS*) liegt die Genauigkeit unterhalb von 3 cm. Die Koordinaten beziehen sich dabei auf Festpunkte des Landessystems entlang der Strecke. Dies kann allerdings nicht für alle Testfelder sichergestellt werden, da kein übergeordneter Abgleich stattgefunden hat.

In [3] wird explizit darauf hingewiesen, dass die Positionsdaten der verschiedenen Hersteller teilweise in unterschiedlichen Formaten aufgezeichnet werden, wodurch es bei der Konvertierung zum von der *Universität Siegen* gewählten Format fallweise zu erheblichen Abweichungen kam. Für die Bearbeitung und Auswertung der einzelnen Datenpakete der jeweiligen Hersteller gibt es in Deutschland derzeit kein einheitliches System, das es ermöglicht, alle Datensätze einzulesen und „online“ während der Verdichtung oder auch nachträglich im Rahmen der Auswertung zu verarbeiten. Der momentan einzig mögliche Kompromiss besteht in der Anwendung der US-amerikanischen Software *VETA*.

Das erreichte Verdichtungslevel wurde beim Einsatz von *FDVK-A-Systemen* mit einer geringeren Walzübergangszahl erreicht, weshalb im Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben [3] mit Blick auf die bauausführenden Unternehmen darauf verwiesen wird, dass derartige Systeme einen Beitrag für eine effizientere und damit wirtschaftlichere Verdichtung liefern können.

Die Ergebnisse der erweiterten Auswertung des Forschungsprojektes [3] konnten die Möglichkeiten von *FDVK-A-Systemen* aufzeigen. Alle am Einbau- und Verdichtungsprozess beteiligten Mitarbeiter erhalten nützliche Informationen in detaillierter Form sowohl während als auch nach Abschluss der Baumaßnahme, um die anforderungsgerechte Verdichtung der Asphaltdecken nicht nur sicher zu erreichen, sondern auch gezielt überschreiten zu können. Die hier gewonnenen Erkenntnisse werden in das vom *Arbeitskreis 7.4.1 „Flächendeckende Verdichtungskontrolle Asphalt“* zu erarbeitende „*Merkblatt über flächendeckende dynamische Verfahren zur Prüfung der Verdichtung im Asphaltbau*“ einfließen.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Geobasisdaten: © GeoBasis-DE / BKG (2021)
- [2] OpenStreetMap: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA
- [3] ZANDER, U., BUCH, M., BIRBAUM, J.: Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle (FDVK) von Asphalt. Abschlußbericht zum FGSV-Forschungsvorhaben FE 89.0288/2013, Universität Siegen, ifs Institut für Straßenwesen, Siegen, 2014, 83 S.

ABKÜRZUNGEN

AC B S	Asphaltbeton für Asphaltbinderschichten zur Verwendung von Verkehrsflächen mit besonderer Beanspruchung
Ammann	Ammann Group, Langenthal, CH
Bomag	Bomag GmbH, Boppard
Caterpillar	Caterpillar Global Paving, Inc., Minneapolis, MN
E _{VIB}	Vibrationsmodul
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
Hamm	Hamm AG, Tirschenreuth
MOBA	Mobile Automation AG, Limburg
RTK	Real Time Kinematic
SMA S	Splittmastixasphalt zur Verwendung von Verkehrsflächen mit besonderer Beanspruchung
Tab.	Tabelle
Topcon	Topcon Positioning Group, Livermore, CA
Trimble	Trimble Inc., Sunnyvale, CA
Völkel	Völkel Mikroelektronik, Münster
VRS	Virtual Reference Stations