

Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle (FDVK)

FA 89.288

Forschungsstelle: Universität Siegen, Institut für Straßenwesen (Prof. Dr.-Ing. U. Zander)

Bearbeiter: Zander, U. / Buch, M. / Birbaum, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Januar 2015

1 Aufgabenstellung

Bisher können während des eigentlichen Asphalteinbaus keine verlässlichen messbaren Indikatoren zur Verdichtungsleistung beziehungsweise zum Verdichtungserfolg ermittelt werden. Eine unzureichende Verdichtung kann deshalb erst nach Beendigung der Baumaßnahme festgestellt werden. Die Möglichkeit einer Nachverdichtung besteht zu diesem Zeitpunkt nicht mehr, eine geringere Lebensdauer der Straßenbefestigung ist oft die Folge. Deshalb werden von den großen Maschinenherstellern seit geraumer Zeit erhebliche Anstrengungen unternommen, um Verfahren zu entwickeln, die die erreichte Verdichtung bereits während des Einbauprozesses flächendeckend kontrollieren. In dem Forschungsprojekt sollte deshalb aufgezeigt werden, wie sich die flächendeckende Verdichtungskontrolle unter Einbeziehung neuer technologischer Möglichkeiten auf die Einbauqualität auswirkt.

2 Untersuchungsmethodik

Zu Beginn des Projekts wurden verschiedene Überlegungen hinsichtlich der aufzunehmenden Daten sowie der baubegleitenden und labortechnischen Untersuchungen angestellt. Eine der wichtigsten Feststellungen war, wie die für Forschungsaufträge dieser Art und damit für eine sinnvolle Beurteilung der Verdichtungsleistung erforderlichen konstanten Einbaubedingungen, gleiche Personalkapazitäten und gleiche örtliche Verhältnisse geschaffen werden können. Zur Koordination der Arbeitsvorgänge vor Ort sowie zur Sicherstellung einheitlicher Randbedingungen wurden im Vorfeld der Maßnahme mehrere Start-up-Gespräche zwischen der Bauverwaltung, den Walzenherstellern und dem Forschungsnehmer durchgeführt, in denen unter anderem detaillierte Arbeitspläne mit verbindlicher Festlegung sowohl der Anzahl und Anordnung der Testfelder und der einzelnen Arbeitsschritte als auch deren zeitlichen Ablauf entworfen wurden.

Vom Forschungsnehmer wurde weiterhin ein Konzept erstellt, wie, welche und in welchem Umfang projektbegleitend Daten erhoben werden. Dies betrifft beispielsweise die auf der Grundlage der Erfahrungen, die bei der Erstellung eines Referenzfelds ohne flächendeckende Verdichtungskontrolle gesammelt werden konnten, festzulegende feste Walzübergangszahl für alle Felder sowie deren Kontrolle. Darüber hinaus wurden die Überprüfung der Einbautemperatur und der Verdichtung mittels Troxler-sonde definiert. Zur Sicherstellung von gleichen örtlichen Gegebenheiten wurde die ca. 5 km lange Baustrecke auf der Bundesstraße B 10 zwischen Pirmasens und Landau in Fahrtrichtung Landau in fünf gleich große Unterabschnitte aufgeteilt, wobei in den jeweiligen Feldern lediglich eine Messstrecke von

700 m zur wissenschaftlichen Auswertung zur Verfügung stand. In allen Feldern wurde der Einbau von der Bauunternehmung unter Verwendung eines Beschickers und eines Straßenfertigers vorgenommen. Die Verdichtung in den einzelnen Feldern erfolgte durchweg durch die Bauunternehmung selbst, zum einen mit eigenen Walzen (Feld 1) zum anderen mit Walzen der verschiedenen Walzenhersteller (Ammann, Bomag, Caterpillar und Hamm) in den Feldern 2 bis 5. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts richtete sich das Hauptaugenmerk auf die Überprüfung der Verdichtungsleistung und die Aufzeichnung der Verdichtungs- und Ortungsdaten der verschiedenen Walzen. Der Verdichtungsverlauf und -erfolg ist aber von verschiedenen Faktoren abhängig, die deshalb als Randbedingungen mit dokumentiert und überprüft werden mussten. Hierzu zählen

- die Anzahl der Überrollungen,
- die Schichtdicken,
- die Mischguttemperatur und
- die Witterungsverhältnisse sowie das Abkühlverhalten der Schicht.

Entsprechende Daten wurden während des Einbaus – unter Berücksichtigung des Bauablaufs – kontinuierlich gemessen und dokumentiert.

Weiterhin haben

- die Mischgutzusammensetzung,
- die eingesetzten Verdichtungsgeräte (Walzen),
- die Art der angewendeten Verdichtung (mit/ohne Vibration, Amplitude, Frequenz) sowie
- das eingesetzte System der Verdichtungskontrolle

maßgeblichen Einfluss auf den Verdichtungserfolg und wurden entsprechend über den gesamten Einbauprozess hinweg dokumentiert. Für den Vergleichstest mit wissenschaftlicher Begleitung mussten die vier führenden Walzenhersteller während des Bauablaufs ihre Einbaugeräte zweimal zum Einsatz bringen. Beim ersten Einsatz der Verdichtungsgeräte ging es darum, die bis zu 7,50 m breite Asphaltbinderschicht mit einer Stärke von ca. 8 cm zu verdichten. In einem zweiten Arbeitsschritt wurde die Asphaltdeckschicht durch die Bauunternehmung mit einer Stärke von ca. 4 cm eingebaut und vom jeweiligen Systemanbieter im entsprechenden Feld verdichtet. Der Einbau der Asphalt-schichten erfolgte im Zeitraum vom 29.07. bis zum 09.08.2013 bei durchweg sonnigem Wetter (hohe Temperaturen, kein Niederschlag). Um einen ersten Anhaltspunkt für die Vorverdichtungsleistung der Einbaubohe und der Verdichtungsleistung der jeweiligen Walzen zu erhalten, wurden kontinuierlich der Verdichtungsgrad und die Raumdichte der entsprechenden Asphalt-schicht vom Forschungsnehmer mittels einer Isotopensonde gemessen und dokumentiert.

Über den gesamten Einbauprozess bestand für die Systemanbieter die Möglichkeit, diese mit der Troxler-sonde gemessenen Dichtewerte als Grundlage zur Einstellung ihres Systems – vor allem in der "Einlaufphase" – zu nutzen. Zur Dokumentation der

Mischguttemperaturen wurden nach jeweils 25 bis 50 m Einbaustrecke Temperaturmessungen an der Verteilerschnecke vorgenommen.

Für die Beurteilung der Verdichtungsleistung der gesamten Baumaßnahme beziehungsweise der einzelnen Systemanbieter ist eine Mischgut- und Bohrkernentnahme unabdingbar. Sie wurde durch den Forschungsnehmer an definierten Stationen durchgeführt. Neben der Bewertung des erreichten Dichteniveaus in den einzelnen Untersuchungsfeldern wurden auch der Verformungswiderstand im Druck-Schwellversuch sowie die Homogenität der Dichtewerte über den Streckenverlauf hinweg betrachtet.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Auswertung der Verdichtungsgrade

An allen Entnahmequerschnitten auf der Bundesstraße wurden die Verdichtungsgrade der Bohrkerns bestimmt. Die der Binder- und Deckschicht werden in den nachfolgenden Tabellen für das jeweilige Feld zusammenfassend dargestellt. Dabei wurden die Bohrkerns in der Reihenfolge vom rechten zum linken Fahrbahnrand aufgelistet und in der letzten Spalte anhand des Verdichtungsgrads gerankt, wobei der höchste Verdichtungsgrad den ersten Rangplatz erhielt.

Bild 1 weist zunächst keinen eindeutigen Verlauf der Verdichtung in den Querprofilen auf, das heißt, es kann nicht festgestellt werden, dass einer der Bohrkerns an allen Stationen immer ein bestimmtes Ranking erhält. Im Einzelfall ist aber erkennbar, dass sich der Bohrkern I bei zehn von zwölf Querschnitten auf "Platz 1" befindet, das heißt, bei zehn von zwölf Entnahmestationen konnte an Bohrkern I der höchste Verdichtungsgrad nachgewiesen werden. Dies scheint nachvollziehbar, da das gefahrene Walzschema eine Verdichtung der rechten Bahn als erstes vorsah. Bei den weiteren Bohrkerns II bis VI kann in der Binderschicht kein Schema im Ranking erkannt werden.

Die Betrachtung von Bild 2 liefert bezüglich der Verdichtungsverteilung ein anderes Bild. Im Bereich der einzelnen Entnahmestationen in den fünf Feldern kann nicht pauschalisiert werden, dass einer der Bohrkerns durchweg einen höheren Verdichtungsgrad als ein anderer besitzt.

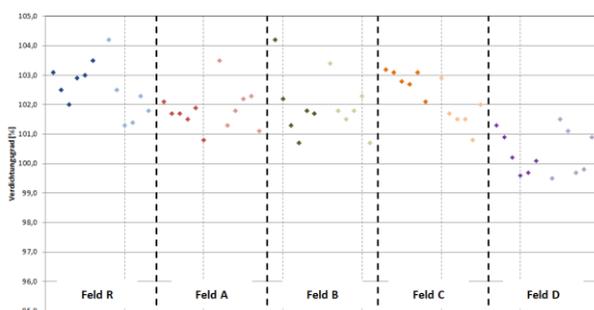


Bild 1: Darstellung aller Verdichtungsgrade der Asphaltbinderschicht (AC 16 BS) in Abhängigkeit von den Feldern

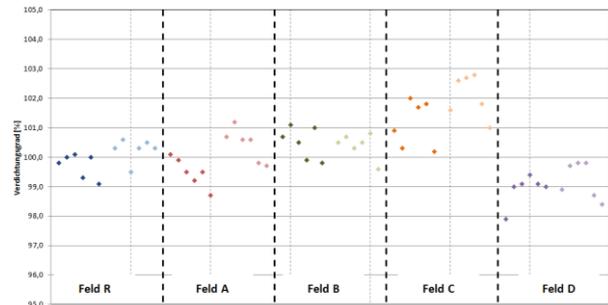


Bild 2: Darstellung aller Verdichtungsgrade der Asphaltdeckschicht (SMA 11 S) in Abhängigkeit von den Feldern

Die beiden Abbildungen offenbaren, was die Mittelwerte der tabellarischen Darstellungen bereits in Zahlen auswiesen: Die Niveaus der Verdichtungsgrade in den einzelnen Querschnitten fallen graduell unterschiedlich aus, liegen insgesamt – auch über Binder- und Deckschicht hinweg – bis auf Einzelwerte in einem Bereich von 98 bis 104 %. Der Verdichtungserfolg ist insgesamt somit als anforderungsgerecht zu bezeichnen. Dabei kann für die Asphaltbinderschicht (Bild 1) – wie üblicherweise erwartet – ein höheres Verdichtungs-niveau als bei der Asphaltdeckschicht (Bild 2) aufgezeigt werden. Weiterhin unterscheiden sich die Schwankungen der Verdichtungs-ergebnisse zwischen der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht bei den einzelnen Systemanbietern. Im Bereich der Asphaltbinderschicht können im Vergleich zur Asphaltdeckschicht größere Schwankungen des Verdichtungserfolgs erkannt werden.

Grundsätzlich liegt das Verdichtungs-niveau des Systemanbieters D gegenüber den anderen Anbietern am niedrigsten. Dies darf jedoch nicht als eine schwächere Verdichtungsleistung der eingesetzten Baumaschinen angesehen werden, denn diese waren auf allen Feldern identisch. Da die Anzahl der Walzüber-gänge auf jedem Feld individuell vom feldspezifischen Verdichtungs-kontrollsystem vorgegeben beziehungsweise vom Walzenführer eingeschätzt wurde, bedeutet der geringere Verdichtungsgrad in diesem Feld, dass das System des Anbieters D früher als die anderen Systeme Signal gab, dass die erforderliche Verdichtungsleistung erbracht wurde, womit eine weitere Walzung als nicht mehr notwendig betrachtet wurde und somit eingestellt wurde. In Feld D wurden somit die Anforderungswerte an den Verdichtungsgrad am effektivsten erreicht.

Das Referenzfeld weist für die Asphaltbinderschicht im ersten Querschnitt eine Standardabweichung von 0,5 bei einem Mittelwert des Verdichtungsgrads von 102,8 % auf. Im zweiten Querschnitt des Referenzfelds ist für die Schicht ein durchschnittlicher Verdichtungsgrad von 102,3 % bei einer Standardabweichung von 1,0 erreicht worden. Definiert man damit eine Standardabweichung von 0,5 bis 1,0 für diese Baumaßnahme an der Asphaltbinderschicht als typische Kennwerte für die Homogenität einer herkömmlichen Verdichtung, lassen sich daran die übrigen Felder mit Einsatz eines Verdichtungs-kontrollsystems messen. Bei einer Betrachtung der Streuungen über beide Querschnitte eines Felds hinweg erreichen die Felder A und D mit einer Standardabweichung von 0,7 eine etwas höhere Homogenität als das Referenzfeld, das eine von 0,8 aufweist. Insgesamt liegen die Mittelwerte aller Standardabweichungen der Querschnitte der Felder mit Kontrollsystemeinsatz auf dem gleichen Niveau wie bei denen mit herkömmlicher

Einbautechnik, sodass sich aus diesen Werten pauschal keine Verbesserung der Homogenität der Dichteverteilung durch den Einsatz einer flächendeckenden Verdichtungskontrolle ableiten lässt.

Eine gleiche Auswertung erbringt für die Asphaltdeckschicht eine eher inhomogenere Dichteverteilung beim Einsatz von Verdichtungskontrollsystemen. Hier zeigt sich in keinem der untersuchten Querschnitte mit Verdichtungskontrolle eine geringere Standardabweichung als im Referenzfeld. Eine feldweise Betrachtung offenbart sogar nicht unerhebliche Unterschiede in der Standardabweichung von bis zu 0,3 (Feld R: 0,5, Feld C: 0,8).

Insgesamt muss jedoch festgehalten werden, dass sowohl die Werte des Referenzfelds als auch die der übrigen Felder eine geringe Streuung aufweisen und sich somit Aussagen zur Homogenität nur schwer ableiten lassen. Zudem bestehen im Verlauf einer Baumaßnahme diverse Einflüsse auf die Verdichtung, die einen unmittelbaren Vergleich erschweren.

3.2 Visuelle Auswertung mittels Herstellersoftware

Eine weitere Auswertung zur Beurteilung des Verdichtungserfolgs erfolgte mithilfe der herstellereigenen Softwarelösungen. In einem ersten Schritt werden die aufgezeichneten Messdaten mittels einer Auswertesoftware der einzelnen Systemanbieter ausgelesen und visuell wiedergegeben. Aus diesen einzelnen Darstellungen ist es möglich, einen ersten Rückschluss auf die Homogenität der Verdichtungsleistung zu ziehen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die gewählten Einstellungen seitens des Forschungsnehmers lediglich die Überfahrten der einzelnen eingesetzten Walzen grafisch darstellen. Eine weitere Darstellungsmöglichkeit besteht darin, sich die Verdichtungszunahme oder einen Verdichtungskennwert der jeweiligen Systemanbieter darstellen zu lassen.

Grundlage für die vom Forschungsnehmer gewählte Herangehensweise bildet die Überlegung, dass zunächst überprüft werden soll, ob durch die Nutzung solcher Systeme (FDVK) eine Verbesserung der Einbauqualität beziehungsweise eine homogenere Verdichtung der einzelnen Schichten nachvollzogen werden kann. Gleichzeitig lässt die Betrachtung eine Beurteilung zu, ob sogar eine wirtschaftlichere beziehungsweise effizientere Arbeitsweise während der Verdichtung möglich ist.

Einerseits ist es möglich, sich innerhalb der Systeme nur einzelne Verdichtungsgeräte anzeigen zu lassen, um zu prüfen, ob durch diese für jeden Bereich eine konstante und homogene Verdichtung verrichtet wurde. Dies ist besonders für die führende Walze, also diejenige, die die erste Walzverdichtung nach dem Einbau durch den Fertiger vollzieht, interessant. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass jede Walze irgendwann ihre Arbeit unterbrechen muss, beispielsweise, um mit Betriebsstoffen wie Treibstoff befüllt zu werden. Während dieser Ausfallzeiten wird eine andere Walze zur führenden, die jedoch auf der gewählten Darstellung nicht mit angezeigt wird.

Andererseits besteht die Möglichkeit, dass bei der visuellen Auswertung alle an der Verdichtung beteiligten Verdichtungsgeräte dargestellt werden, was jedoch bedeutet, dass die Daten

der führenden mit denen der zweiten und nachkommenden Walzen komplett überlagert werden.

Für die Auswertung im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde bei der Projektplanung vorgesehen, dass die Verdichtungsgeräte einzeln dargestellt und begutachtet werden, um eine Vergleichbarkeit zwischen allen gesammelten Daten (Systemanbieter und Forschungsnehmer) zu gewährleisten. Durch diese Betrachtungsweise ist eine Häufung beziehungsweise Summation eines Fehlers bei der Auswertung ausgeschlossen. Grundsätzlich können alle einzelnen Verdichtungsgeräte durch die Software der Systemanbieter isoliert werden, sodass eine sehr detaillierte Auswertung erfolgen kann. Im Laufe der Bearbeitung des Forschungsprojekts wurden lediglich die "ersten" Walzen eines jeden Herstellers ausgewertet, da diese die maßgebliche Verdichtungsleistung einbringen.

Als Grundlage für die Überprüfung der Homogenität beziehungsweise der Homogenitätsverbesserung der einzelnen Felder wird – wie bereits bei der Projektplanung vorgesehen – das erste der fünf Felder, also das Referenzfeld, als Grundlage des Vergleichs gewählt. Für die Auswertung des ersten Streckenabschnitts, also des Referenzfelds, erfolgte bereits bei der Datenaufbereitung des Systemanbieters eine Unterteilung des Kartenausschnitts, auf dem die Messstrecke dargestellt wurde, in 44 Quadranten mit einer Rastergröße von ca. 100 x 100 m². Um dieses Vorgehen für die übrigen Versuchsfelder in vergleichbarer Art und Weise durchführen zu können, obwohl die hier zur Anwendung gekommenen Softwaremodule eine solche Auswertung nicht anbieten, wurde jeweils das gesamte Feld in Fahrtrichtung zunächst in 100-m-Abschnitte unterteilt und anschließend parallel zur Mittelachse in zwei Abschnitte getrennt, sodass die einzelnen Fahrstreifen der Bundesstraße einzeln hinsichtlich der Homogenität ausgewertet werden konnten. Über die gesamte Messstrecke eines Anbieters von ca. 1 000 m hinweg wurden dann sowohl in der linken als auch der rechten Fahrspur alle zehn Meter ein Messpunkt definiert, an dem die Übergangszahl an dynamischen Überfahrten ermittelt wurde. Für jedes 100 m lange Feld liegen somit 20 ausgewertete Übergangszahlen vor, aus denen wie im Referenzfeld der durchschnittliche, maximale und minimale Wert bestimmt wurde. Mit den so gewonnenen Erkenntnissen kann – zusätzlich zu den Verdichtungsgraden – abschließend eine Homogenitätsbetrachtung bezogen auf das Referenzfeld auf Grundlage der vollzogenen Überfahrten durchgeführt werden.

Der Auswerteansatz unterscheidet sich von dem einer Bohrkernauswertung dadurch, dass nur die Verteilung der Walzübergänge über die Fläche betrachtet wird. Werden die Walzübergänge bei stark unterschiedlichen Temperaturen erbracht, ist es denkbar, dass eine gleiche Walzübergangszahl über die Fläche hinweg eine geringere Homogenität der Dichteverteilung erbringt als eine variierte, das heißt an die Verhältnisse angepasste, Walzübergangszahl. Dieser Aspekt wird bei der hier durchgeführten Auswertung ignoriert, was jedoch bei den guten Wetterverhältnissen während der Bauphase ohne große Auswirkungen bleiben dürfte.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass es in den einzelnen Abschnitten zu Systemstörungen durch Brücken oder ähnliches gekommen ist, diese "Lücken" aber in der Auswertung nicht

berücksichtigt wurden, um eine realitätsnahe Auswertung freier Strecken zu betrachten.

Die zusammengetragenen Walzübergangszahlen im Referenzfeld zeigen für die Asphaltbinderschicht einen Schwankungsbereich von minimal ein bis vier und maximal von acht bis zwölf Überfahrten. Demgegenüber weisen die Walzübergangszahlen der Systemanbieter A bis C

- höhere Minimalwerte
- geringere Maximalwerte
- geringere Streuungen bei den Minimal- und Maximalwerten sowie bei deren Differenzen

aus.

Ein vergleichbares Bild offenbart sich im Bereich der Asphaltdeckschicht: Hier schwankt die Anzahl an dynamischen Walzübergängen im Referenzfeld zwischen 1 und 10. Für die jeweiligen Felder der Systemanbieter konnten die gleichen Veränderungen der Übergangszahl wie bei der Binderschicht ermittelt werden.

Aufgrund der Auswertung der Einzelwerte kann festgehalten werden, dass eine Verbesserung der Homogenität hinsichtlich der Anzahl an dynamischen Walzübergängen durch die Verwendung von Verdichtungskontrollsystemen beobachtet werden konnte.

Diese Erkenntnis wird ebenfalls durch die Mittelwerte der einzelnen 100-m-Abschnitte beziehungsweise über das gesamte Feld hinweg gestützt. Die Mittelwerte im Referenzfeld, welches ohne flächendeckendes Verdichtungskontrollsystem eingebaut wurde, weisen für die Asphaltbinderschicht Werte von vier bis acht Überfahrten und die Asphaltdeckschicht Werte von vier bis sieben Überfahrten auf, während in den Feldern der Systemanbieter die Mittelwerte nur maximal um zwei Walzübergänge schwanken.

Bei der Überlagerung der dynamischen Überfahrten mit den Verdichtungsgraden der Bohrkerne kann festgestellt werden, dass bei der Verdichtung der Asphaltbinderschicht im Referenzfeld vergleichsweise viele Walzübergänge erbracht wurden, dass diese aber auch zu einem hohen Verdichtungsgrad der Schicht führten. Tatsächlich ergibt sich sogar ein plausibler Zusammenhang zwischen Walzübergangszahl und Verdichtungsgrad. Aufgrund der nur geringen Anzahl an Verdichtungsgraden sollte diesem Sachverhalt aber keine strenge Gültigkeit unterstellt werden.

Bei der Verdichtung der Asphaltdeckschicht zeigt sich dieser Effekt nicht erkennbar, da die Verdichtungsgrade im Referenzfeld und in den Feldern A und B praktisch auf einem Niveau liegen und der des Feldes C sich von diesem nur unwesentlich abhebt. Zudem wurden zur Erreichung des höchsten Verdichtungsgrads in Feld C die geringste Anzahl an dynamischen Walzübergängen benötigt.

Tabelle 1: Vergleich von erfasster Übergangszahl dynamischer Walzungen und erreichtem Verdichtungsgrad

Asphaltbinderschicht		
Feld	Verdichtungsgrad	Übergänge
R	102,5 %	4-8
A	101,8 %	3-4
B	102,0 %	5-6
C	102,3 %	3-5
Asphaltdeckschicht		
Feld	Verdichtungsgrad	Übergänge
R	100,0 %	4-5
A	100,0 %	3-4
B	100,5 %	3-4
C	101,6 %	2-3

Es finden sich aufgrund der in allen Fällen geringeren Übergangszahlen dynamischer Walzübergänge zumindest Anhaltspunkte für die These, dass die Systeme zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle eine effizientere und damit wirtschaftlichere Verdichtung gegenüber der konventionellen Verdichtung erbringen können. Als Ursache hierfür kann die visuelle Unterstützung des Fahrers durch die flächendeckenden Verdichtungskontrollsysteme vermutet werden. Durch die Darstellung der Walzübergänge und damit die Vermittlung der Sicherheit, Bereiche der Schicht ausreichend verdichtet zu haben, kann der Walzenführer früher als sonst – das heißt auch nach weniger Walzübergängen – seine Arbeit abschließen. Dies bedeutet gleichzeitig, dass er grundsätzlich bei höheren Asphalttemperaturen walzt und damit einen größeren Verdichtungsenergieerfolg erzielen kann.

Als ein weiterer positiver Effekt, der sich auf die Effektivität des Walzens auswirkt, kann die automatische Regelung der Frequenz und der Amplitude herangezogen werden. Zwei der Systeme hatten diese aktiviert, eine detaillierte Auswertung ist an dieser Stelle jedoch nicht möglich.