

Verfestigung von Waldwegen nach dem Zement/Wasser gebundenen Baumischverfahren mit NT Base®-Additiv der corent AG

Hintergrund und Forschungsziel des geförderten Vorhabens

In Vorbereitung für die 18. KWF-Tagung 2024 im hessischen Schwarzenborn wurden auf der geplanten Exkursionsroute des Buspendelverkehrs im Herbst 2023 umfangreiche Wege-Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt. Auf einer 2,5 km langen Teststrecke wurde dabei eine Bodenverfestigung des Weges im sogenannten Baumischverfahren in drei Varianten durchgeführt. Dazu wurde das vorhandene Wegematerial ergänzt und zu Versuchszwecken in einem Arbeitsgang zusätzlich ohne Zement, mit Zement und einem zusätzlichen Zementadditiv eingearbeitet und verdichtet. Zielsetzung waren dabei eine gleichmäßige Wasserabführung im Querprofil und eine erhöhte Stabilisierung des Weges für die Sonderbelastung des Omnibuspendelverkehrs während der KWF-Tagung und die nachfolgende Analyse der drei angewandten, verschiedenen Arbeitsvorgänge.

Die Professur für forstliche Verfahrenstechnik stellte gemeinsam mit HessenForst das Verfahren auf der Fachexkursion der 18. KWF-Tagung vom 19. - 21. Juni 2024 vor im Exkursionspunkt Nr. 4.10 unter dem Titel ‚Bodenverfestigung in Anlehnung an eine hydraulisch gebundene Tragdeckschicht im land- und forstwirtschaftlichen Wegebau‘.

Im geförderten Forschungsvorhaben wurden diese Maßnahmen durch eine wissenschaftliche Begleituntersuchung ergänzt. Zur Durchführung der Untersuchung wurde eine Masterarbeit initiiert und durchgeführt. Folgende Forschungsfragen sollten dabei beantwortet werden:

1. Hat die durchgeführte Maßnahme zu einer messbaren Erhöhung der Wegestabilität beigetragen?
2. Können durch die Verwendung konventioneller LIDAR-Sensoren eine messtechnische Wegecharakterisierung vorgenommen und Veränderungen im zeitlichen Abstand nachgewiesen werden.

Material und Methodisches Vorgehen

Es wurden zwei Messreihen in drei-Teilabschnitten angelegt und eingemessen, die jeweils nach der Baumaßnahme und vor der KWF-Tagung sowie nach Durchführung der KWF-Tagung aufgenommen wurden. Der Versuchsaufbau umfasste verschiedene Teilabschnitte des Fahrweges, der mit drei verschiedenen Wegebauverfahren gebaut wurde: einem klassischen wassergebundenen Sandschotterverfahren, einem Zementbaumischverfahren ohne Zusatzadditiv und einem Zementbaumischverfahren mit dem Zusatzadditiv NT Base®. Durch Einsatz des Zusatzadditiv soll eine erhöhte Flexibilität des zementgebundenen Wegebaugemisches erreicht werden, wodurch eine völlige Aushärtung und Erstarrung des Baumgemisches verhindert werden und daraus eine verlängerte Haltbarkeit, eine verbesserte Frosthärte sowie eine erhöhte Flexibilität und Bearbeitbarkeit erreicht werden soll. Von jedem Wegeabschnitt wurde eine 50-Meter-Strecke ausgewiesen und eingemessen, die vor und nach der KWF-Tagung aufgenommen wurde (siehe Abb. 1).

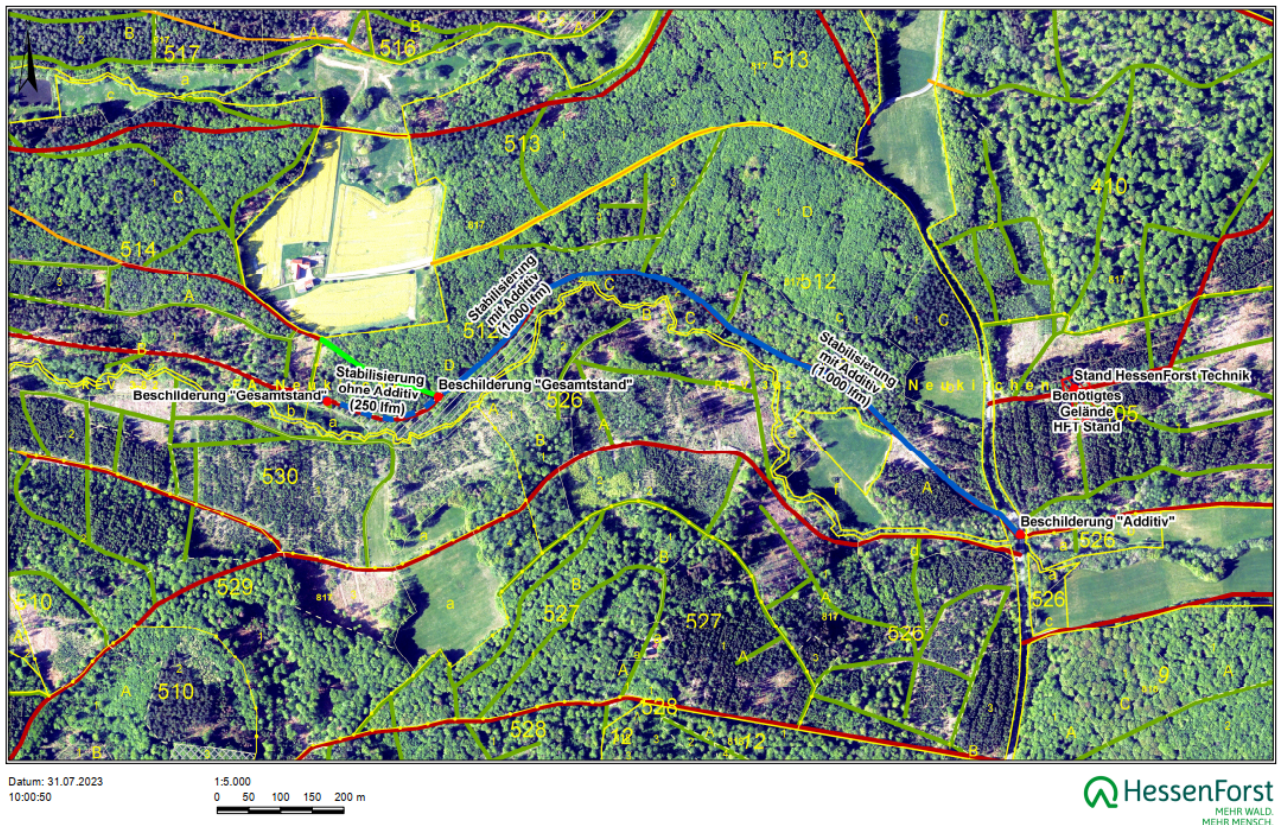


Abbildung 1: Luftbildkarte der Teststrecke zur Bodenstabilisierung im Baumischverfahren

Die Messungen zur Feststellung der Verdichtung in den drei Teilabschnitten wurden mit einem Fallgewichtsgerät Terratest 4000 durchgeführt an Messstellen links, mittig und rechts auf der Wegefahrbahn (siehe Abb. 2).

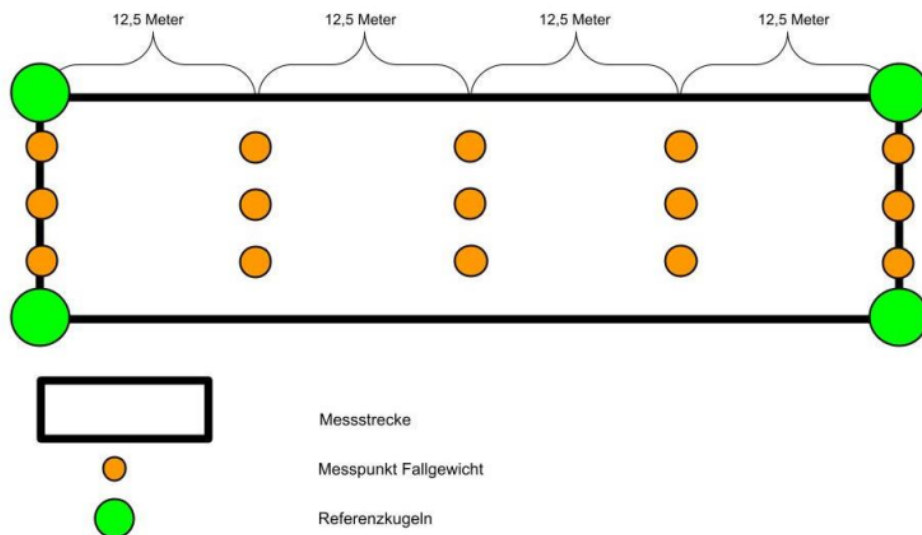


Abbildung 2: Schematischer Messaufbau in den 3 Teilabschnitten

Zusätzlich zum genannten dynamischen Plattendruckversuch mit dem Fallgewichtsgerät wurden auch verschiedene LIDAR-basierte Messverfahren zur Feststellung der Oberflächenveränderung geprüft. Hierzu wurden Daten mit einem iPad Pro, einem Leica Laserscanner BLK2Go und einem drohnenbasierten DJI L2 Sensor aufgenommen. Bei der Oberflächenaufnahme mit LIDAR-Sensoren wurden die Teilabschnitte ebenfalls vor und nach der Belastungsperiode erfasst, und die daraus entstandenen Daten wurden in der CloudCompare Software zur Verarbeitung von

3D-Punktwolken ausgewertet. Dabei wurden die Höhendifferenzen der aufgenommenen Punktwolken zueinander berechnet sowie die Wiederholgenauigkeit der Daten bestimmt, um eine Aussage über die Genauigkeit der verwendeten Messsensoren treffen zu können. Zur eindeutigen Überlagerung der Messabschnitte sowie der aufgezeichneten Punktwolken wurden Edelstahl Referenzkugeln installiert und GPS gestützt eingemessen. Während der KWF-Tagung wurden die Überfahrten auf der Messstrecke mit einer Wildkamera Bushnell Prime L20 fotografisch erfasst und die Verkehre gezählt.

Ergebnisse

Bei der Überfahrungs-zählung wurden über eine Zeitspanne von fünf Tagen insgesamt 323 Überfahrten gezählt, davon 282 Überfahrten von Bussen, 33 Überfahrten von PKW und 8 Überfahrten von Traktoren. Über eine qualifizierte Schätzung der Einzelmassen der Fahrzeuge wurde eine Gesamtgewichtsmasse von 4.659 t ermittelt.

Die Berechnung des Verformungsmoduls E_{Vd} mit dem Fallgewichtgerät ergab für den Vergleich über alle Aufnahmespuren beim wassergebundenen Teilabschnitt erwartungsgemäß eine Verformung und Verdichtung der Fahrspuren sowie eine Aufwölbung des Mittelstreifens aufgrund einer Materialverlagerung durch die Befahrung in die Mitte (siehe Abb. 3).

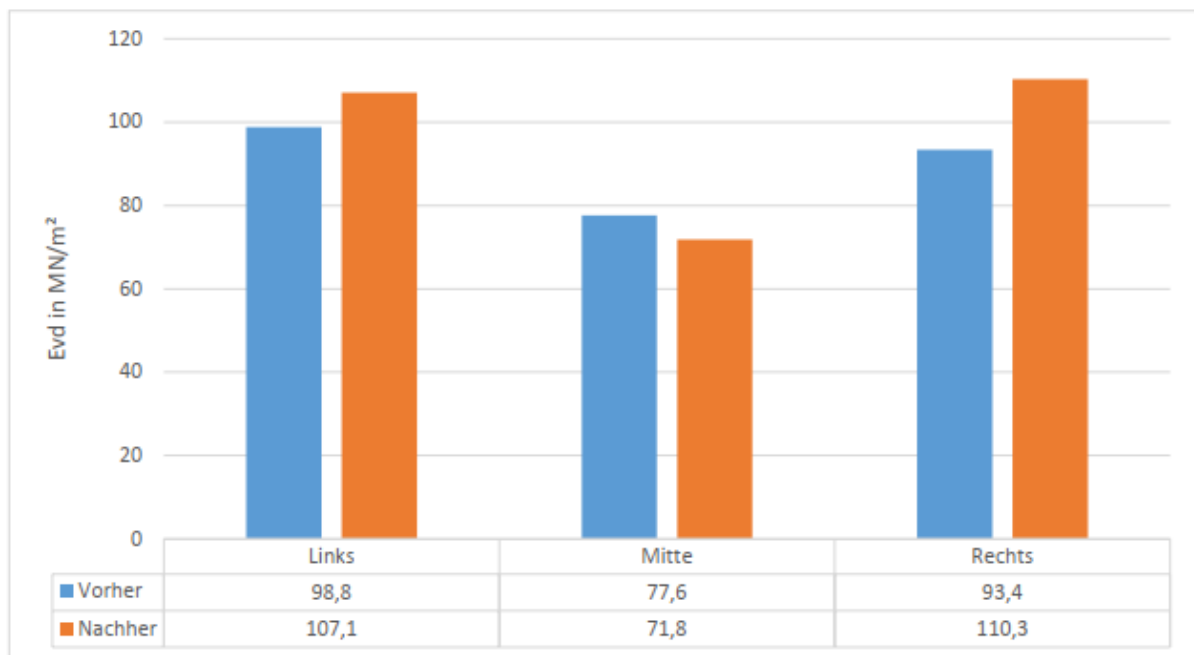


Abbildung 3: Verhältnis der durchschnittlichen E_{Vd}-Werte des wassergebundenen Teilabschnitts

Bedeutung

Der E_{Vd}-Wert beschreibt die **Steifigkeit und Tragfähigkeit** (dynamischer Verformungsmodul nach dem Leichten Fallgewichtgerät LFG).

Bei den zementgebundenen mit und ohne Zusatzadditiv befestigten Teilabschnitten sind keine messbar signifikanten Veränderungen der E_{Vd}-Werte festzustellen durch die Befahrungsbelastung (siehe Abb. 4)

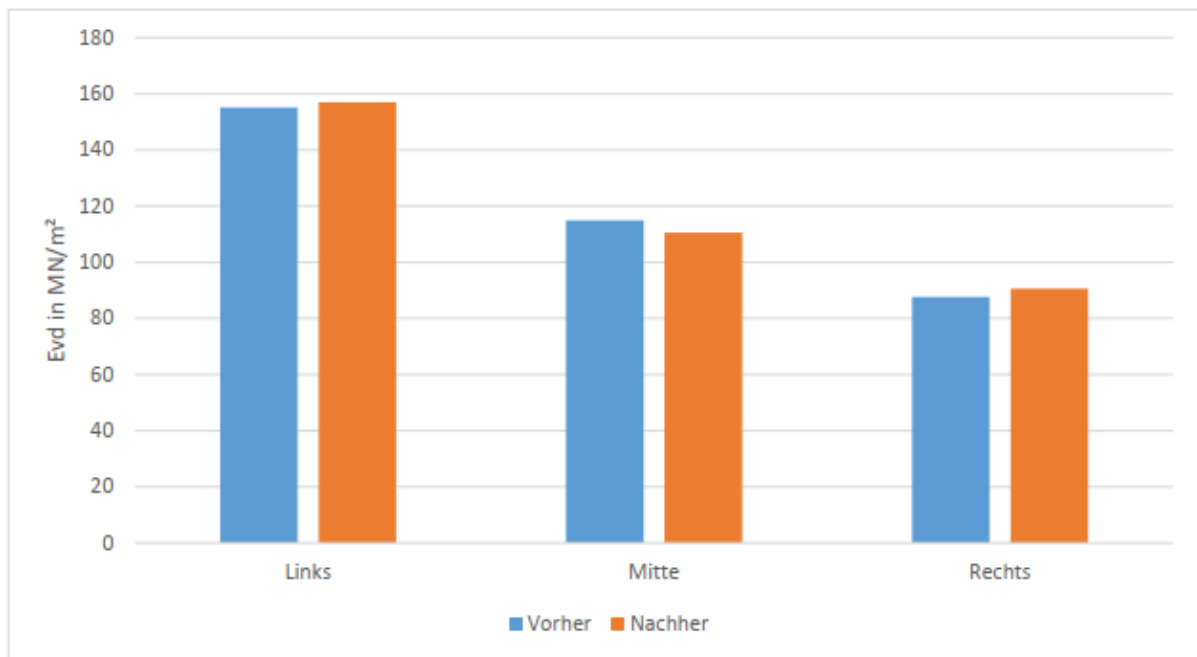


Abbildung 4: Verhältnis der durchschnittlichen EVd-Werte des zementmischgebundenen Teilabschnitts mit Zusatzadditiv

Zunächst kann festgestellt werden, dass der Einbau unsymmetrisch erfolgte, die linke Fahrspur eine deutlich größere Verdichtung aufweist als die rechte Fahrspur. Dies wurde mit einer ungleichmäßigen Bauausführung und deshalb unplanmässig erforderlich gewordenen Nachbearbeitung zur Herstellung des konkaven Profils der Teststrecke verursacht. Insgesamt sind die EVd-Werte im Vergleich zum wassergebundenen Teilabschnitt erfreulicherweise deutlich höher, die Veränderungen vor und nach Befahrungsperiode sind nicht signifikant. Daraus kann geschlossen werden, dass die Wegepräparation im additivtem Zementbaumischverfahren eine Erhöhung der Verfestigung bewirkt und damit auch zu einer möglichen Auflastung des Fahrwegs beiträgt.



Abbildung 5: Aufnahmen des sand-wasser-gebundenen Teilabschnitts vor (links) und nach (rechts) des Belastungszeitraums



Abbildung 6: Aufnahmen des im Zementbaumischverfahren mit Zusatzadditiv gebauten Teilabschnitts vor (links) und nach (rechts) des Belastungszeitraums

Die festgestellten Ergebnisse werden weiterhin in einer Langzeitstudie nachgeführt und analysiert.

Die Datenaufnahme mit den LIDAR-Sensoren (Abb. 7) und deren Analyse durch Auswertung der erzeugten Punktwolke vor und nach dem Belastungszeitraum führte zu ähnlichen Ergebnissen (Abb. 8).

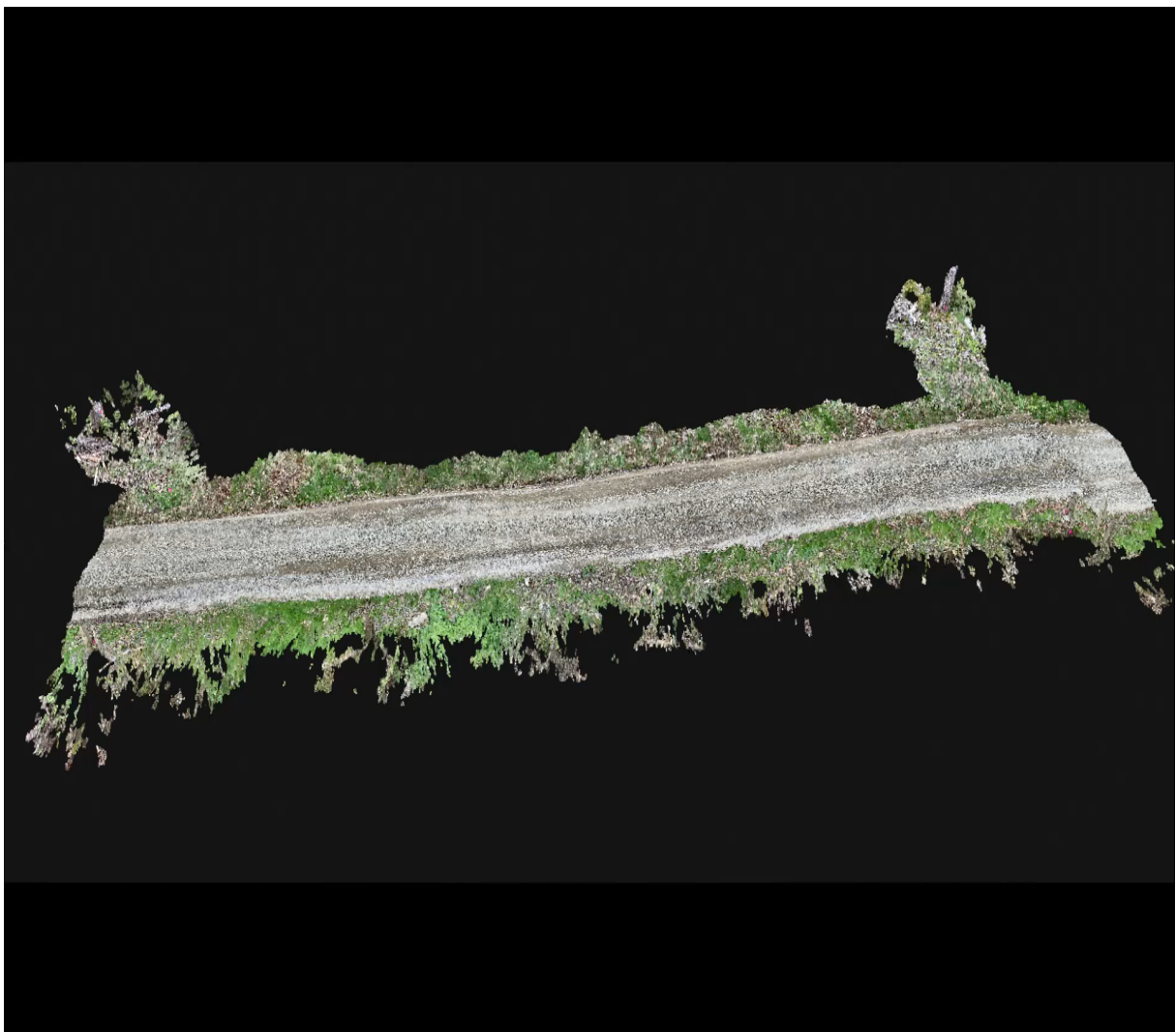


Abbildung 7: Punktwolke eines Teilabschnitts aufgezeichnet mit dem iPad Pro

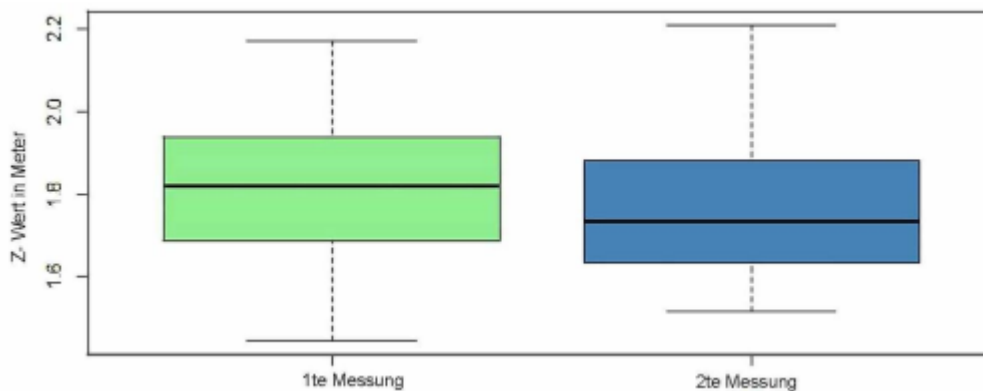


Abbildung 8: Boxplot Diagramme der Höhenwerte (Z-Werte) des wassergebundenen Teilabschnitts vor und nach dem Belastungszeitraum, aufgenommen mit dem iPad Pro

Bei der Datenaufnahme mit den LIDAR-Sensoren ist erkennbar, dass die handgehaltenen Systeme, iPad Pro und Leica BLK2Go, eine höhere Genauigkeit aufweisen als eine drohnenbasierte Aufnahme mit dem DJI L2 Sensor. Durch Bäume und andere Vegetation ist nur eine lückenhafte Aufnahme aus der Luft möglich, und die Genauigkeit der aufgenommenen Daten reicht nicht für eine präzise Interpretation aus. Die iPad Pro- und Leica BLK2Go-Daten stimmten in großen Teilen überein, wobei jedoch die Aufnahme mit dem iPad Pro detaillierter war, aber auch deutlich zeitaufwendiger. Setzt man diese Ergebnisse in den Kontext des bisherigen wissenschaftlichen Standes, bestätigen sie vor allem die höhere Genauigkeit handgehaltener LIDAR-Sensoren im Vergleich zu Drohnen bzw. fahrzeugbasierten Systemen

Diskussion

Die Auswertung der aufgenommenen Daten belegt, dass es grundsätzlich möglich ist Veränderungen des Oberflächenprofils eines Fahrweges durch Verdichtungserscheinungen und Materialverlagerung, welche durch Überfahrten entstehen, an Fahrwegen mit handelsüblichen LIDAR Scannern festzustellen. Die Fehlerquote der LIDAR-Sensoren liegt allerdings im Zentimeterbereich, während die Belastungszeitraum gemessenen Wegprofiländerungen im Millimeterbereich liegen. Die Daten sind aufgrund der Messungenauigkeit der Messgeräte daher auch nicht als absolute Werte zu betrachten, sondern zeigen vielmehr eine qualitative als eine messbare Veränderung des Fahrweges vor und nach dem Belastungszeitraum.

Fazit

Die Bodenverfestigung des Fahrweges durch die Instandsetzungsmaßnahme in Anlehnung an das Zementbaumischverfahren konnte messtechnisch nachgewiesen werden. Der Untersuchungsbericht der Fraunhofer Gesellschaft (Institut für Bauphysik) zur Umweltfreundlichkeit des eingesetzten Additives NT Base® wurde dabei berücksichtigt. Im Vergleich zur traditionellen wassergebundenen Bauweise ist eine deutliche Erhöhung des EVd-Wertes erfolgt. Das Verfahren erscheint geeignet, zu einer Stabilisierung und Verfestigung besonders sensibler und erosionsgefährdeter Wegeabschnitte beizutragen. Es handelt sich dabei allerdings um eine Kurzzeitstudie. Inwieweit dies auch durch eine längere Standzeit des Weges bestätigt werden kann, soll zukünftig in fortgesetzter Beobachtung der KWF-Strecke

weiterverfolgt werden. Eine durchgeführte Akzeptanzumfrage während der KWF-Tagung für das vorgestellte Verfahren fällt überwiegend positiv aus.

Die Ergebnisse Datenerfassung durch handelsüblich LIDAR-Sensoren sind, vielversprechend. Allerdings sind Anpassungen erforderlich, um eine benutzerfreundliche Anwendung zur Linienfassung zu ermöglichen. Der Aufnahmearbeit ist bisher hoch und nur für Forschungszwecke akzeptabel. Eine Überprüfung der prototypisch entwickelten Wegemesslanzen, die eine teilautomatisierte Erfassung ermöglichen sollen, konnte im zeitlich begrenzten Untersuchungsrahmen aus organisatorischen Gründen nicht geleistet werden. Die ausgegebene Masterarbeit wurde planmäßig erstellt und abgeschlossen. Eine weitere Veröffentlichung in einer forstlichen Fachzeitschrift wird vorbereitet.

Veröffentlichung

Wagner, T.; Dietz, H.-U. (2024): Bodenverfestigung in Anlehnung an eine hydraulisch gebundene Tragdeckschicht im land- und forstwirtschaftlichen Wegebau. In: Schwerpunktheft zur 18. KWF-Tagung in Schwarzenborn. Forsttechnische Informationen Nr. 3/2024. Groß-Umstadt.