Befahrungsversuche mit Kleinraupen

Abb. 1: Forstraupe Moritz Fr50 im Untersuchungsbestand

Fotos: R. Köhler

Das Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften in Finsterwalde und der Landesbetrieb Forst Brandenburg haben untersucht, wie sich der Einsatz der Multifunktionsraupe Moritz Fr50 auf den Boden eines sensiblen Nassstandorts auswirkt. Ihr Ergebnis: Die Forstraupe hinterlässt nicht mehr Spuren als ein Rückepferd.

Ob Walderneuerung, seilunterstütze Holzernte oder Sonderaufgaben: multifunktionale Forstraupen sind im Kommen. Sie ergänzen den Einsatzbereich von Arbeitspferden und schließen Verfahrenslücken zur Schleppertechnik. Aber die meisten Anwendungen erfordern eine flächige Befahrung, abseits von Rückegassen – im Spannungsfeld zwischen Bodenschutz, zeitgemäßer Arbeitssicherheit, Naturschutzanspruch und effektiver Waldbewirtschaftung.

Nicht nur für den Kleinwaldbesitz lohnen sich flexibel einsetzbare Maschinen [17, 18], sei es als günstige Anschaffung oder zur Miete. Auch große Forstbetriebe schätzen mittlerweile ihre Vorteile [1]. Schon heute sind über 30 Kleinraupentypen am Markt verfügbar, und der Entwicklungsfortschritt ist rasant [14].

Befahrungsversuche

Bei allen Vorteilen hinkt jedoch die Folgenabschätzung bezogen auf den Boden hinterher, was der Akzeptanz entgegensteht. Herstellerangaben, Faustzahlen oder abstrakte Simulationen zur Spannungsfortpflanzung reichen für die Bewertung nicht aus und spiegeln kaum die komplexe Geländesituation wider.

Hier können Praxisversuche unter schwierigen Bedingungen eine weitere Orientierung sein: Kommt es in standörtlichen Grenzbereichen zu keinen Befahrungsschäden, erscheint das Risiko auf weniger empfindlichen Substraten und bei günstiger Witterung unbedenklich.

Die Version Moritz Fr50 der Firma Pfanzelt Maschinenbau (Abb. 1) steht hier stellvertretend für seine leistungsstärkeren Folgemodelle Fr70 und Fr75, aber auch andere Forstraupen mit ähnlichem Kontaktflächendruck. Es werden drei typische Anwendungsbeispiele in Hinblick auf ihre Bodenwirkung betrachtet (Tab. 1).

Standort und Bestockung

Die Versuchsfläche „Loben" ist ein grundwasserbeeinflusster, wenig tragfähiger mineralischer Nassstandort im südlichen Brandenburg. Der kartierte Humusgley besteht im Oberboden (0–30 cm) vor allem aus Lehmsanden. Einge-

Abb. 2: Das Rückepferd „Max" im Einsatz

mischte Torfreste weisen auf eine frühere, nicht untypische Bodenbearbeitung bei der Moorkultivierung hin. Im ungestörten Unterboden wechseln sich gesteinsarme Lehmsande mit tonigen Sanden und Reinsanden ab.

Eine Befahrung von Rückegassen ist auf diesem Standort nur eingeschränkt möglich: im Sommer, bei Halblast oder nur mit Traktionsbändern (Befahrbarkeitsklasse T3, [3, 12]). Allein im Land Brandenburg sind rund 60 800 ha Holzbodenfläche nicht bzw. nur stark eingeschränkt befahrbar (Befahrbarkeitsklassen T3 – T5).

Der Maschineneinsatz erfolgt im Spätwinter 2020/2021 bei einem Bodenwassergehalt von 17 – 19 Vol.-%. Aufgrund der niederschlagsarmen Vorjahre ist der Grundwasserstand abgesunken. Nach Zusatzbewässerung im Frühjahr 2021 werden weitere Befahrungsversuche durchgeführt, jetzt bei voller Sättigung des Mineralbodens (31 – 35 Vol.-%), aber mit fast gleichem Ergebnis [9].

Versuchs- und Messprogramm

Für die Abbildung von Befahrungseinflüssen im Wald empfehlen sich verschiedene Messverfahren, neben Standardmethoden der angewandten Bodenkunde genauso moderne, bildgebende Techniken:

- **Nahbereichsphotogrammetrie** [13]: Das leistungsfähige Bildmesssystem dokumentiert die Oberflächenverformung nach jeder Überfahrt und dank Drohnenvermessung über große Distanzen, hier versuchsweise 20 m. Detailangaben zur Methodik finden sich bei [2, 6, 8].

Steckbrief Moritz Fr50

- **Technische Daten:** Vier-Zylinder-Dieselmotor von Kubota mit 26 kW, Höchstgeschwindigkeit 6,5 km/h, Dienstgewicht 1,4 t, Fahrwerk 1500 mm Länge, 250 mm Breite, mittlerer statischer Kontaktflächendruck 0,24 kg/cm² ([11], Prüfbericht-Nr. 7718) bzw. 0,29 kg/cm² mit Personenschutzschirm, hydraulische Fahrwerksverbreiterung um 400 mm, Bodenfreiheit 300 mm
- **Neue Modelle:** Seit dem Jahr 2020 wird die Forstraupe Moritz Fr50 nicht mehr produziert, ihr folgen die leistungsstärkeren Versionen Fr70/75 (*www.pfanzelt.com/de*).
- **Brandenburg:** Aktuell verfügt der Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB) über zwölf Kleinraupen, Stand 2023. Ihre Arbeitsfelder sind Holzernte (Vorrücken), UVV-Schlepper, Träger für Personenschutzschirm, Verkehrssicherung, Bodenarbeiten, Waldsaaten sowie Mäh- und Mulcharbeiten. Das Ziel: Bis zum Jahr 2025 soll jeder Forstbetrieb vor Ort im Rahmen der teilautonomen Gruppenarbeit über eine Kleinraupe mit passenden Anbaugeräten verfügen.

Abb. 3: Moritz Fr50 mit angehängter Saatkombination

- **Bodenkundliche Diagnostik**: Vor und nach Befahrung erfolgt an mehreren Messpunkten eine Erfassung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (in-situ), des Eindringwiderstandes und der Scherfestigkeit. Anhand von 100-cm³-Stechringen werden Materialeigenschaften bzw. Funktionszustände in hoher räumlicher Auflösung bestimmt: Trockenrohdichte, Porosität / Porengrößenverteilung mit den daraus abgeleiteten Luft- und Wasserhaushaltsgrößen nach Tiefenstufen.

Oberflächenverformung

Aussagefähig sind die mittlere (1) Bruttospurtiefe und (2) Bodenniveau-Veränderungen der Fahrspuren. Durch den sektionsweisen Vergleich von befahrener und unbeeinflusster Bodenoberfläche ermöglichen diese Kenngrößen auch die Beurteilung eines heterogenen Oberflächenreliefs. Danach bewegen sich die bemessene Oberflächenveränderung zwischen Millimetern bis wenigen Zentimetern (Abb. 5). So hinterlassen alle Technik-Varianten einen geringen, auf den ersten Blick kaum wahrnehmbaren „Fußabdruck".

- Die mittlere Bodenniveau-Änderung ist für die Differenzierung von Varianten besser geeignet, da die Ausgangssituation der Bodenoberfläche in die Berechnung mit einfließt.
- Erwartungsgemäß verursacht Befahrung überwiegend Bodenabsenkungen. Die Fahrspurausprägung korrespondiert hier mit der Zahl an Überfahrten.
- Bei keiner Technik-Variante wird eine mittlere Bodenniveau-Änderung von über 25 mm überschritten, selbst nach zehn Überfahrten an gleicher Stelle.
- Die Oberflächenverformung beim Pferdeeinsatz ist punktuell (Trittsiegel) wesentlich größer, bedingt durch den höheren Kontaktflächendruck des Rückepferdes gegenüber der Forstraupe, im Mittel 0,72 vs. 0,24 kg/cm².

Tab. 1: Versuchsvarianten auf einem unbefahrenen Bereich zwischen Rückegassen (1) Leerfahrt (betriebsfähig), (2 – 4) Anwendungsbeispiel, (5) Pferdeeinsatz als Vergleich

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Anzahl der Überfahrten/Durchgänge	Kumulierte Auflast*
(1) Fr50-LEER	Leerfahrt, Forstraupe ohne An- oder Aufbauten	5	7,0 t
(2) Fr50-SCHUTZ	Forstraupe mit Personenschutzschirm zur Unfallverhütung bei „Sicherheitsfällung"	5	8,5 t
(3) Fr50-SAE	Forstraupe mit Sä-Streifenfräse-Kombi, vollmechanisierte Direktsaat	1	1,7 t
(4) Fr50-STAMM	Forstraupe mit Stamm (0,3 Fm/250 kg), Vorrücken in die Kranzone	10	14,0 t
(5) ROSS-STAMM	Arbeitspferd „Max" (720 kg) mit Stamm (0,3 Fm/250 kg)	10	8,9 t

* Kumulierte Auflast = Masse × Anzahl der Überfahrten

Am befahrungssensiblen Standort können in Summe und über alle Varianten keine besonders auffälligen Veränderungen der Geländeoberfläche dokumentiert werden. Die nachweisbare Verformung betrifft nur die organische Auflage. Der Mineralboden bleibt formstabil – selbst nach häufiger Belastung, etwa entlang eines bevorzugten Pfades.

Bodenphysikalische Werte

Selbst eine mehrmalige Befahrung mit der Forstraupe an gleicher Stelle verändert den Funktionszustand des oberen Mineralbodens nicht oder nur unwesentlich. Abweichende Bodeneigenschaften in den beprobten Bodenprofilen sind zufallsbedingt. So treten in der unteren Tiefenstufe nach Befahrung leicht erhöhte Trockenrohdich-

Der Versuchsbestand

- **Geologie und Klima:** Die Untersuchungsfläche „Loben" (Waldort: 4170/e/1) gehört zu Naturraumreinheit Spreewald und Lausitzer Becken- und Heideland / Kirchhain-Finsterwalder Becken, Lausitzer Altmoränenlandschaft. Landschaftsprägend ist die glaziale Serie der Saale-II- und Saale-III-Inlandvereisung, vor 304 000 bis 127 000 Jahren. Das Klima ist mäßig trocken bis mäßig feucht.
- **Standort:** Malker Sand-Graugley im Wechsel mit Gritteler Sand-Gleyhumusrostpodsol (MaSU/E45 NA2 – GtSB/E45 NA2 (5:5), Standorteinheit NA2 (dauerfeucht) nach Standorterkundungsanleitung SEA 95: Mächtigkeit der Rohhumus-Auflage < 10 cm, infolge großer Niederschlagsdefizite liegt der Grundwasserflurabstand zum Zeitpunkt der Befahrung atypisch 120 cm unter Geländeoberkante
- **Bestockung:** 56-jährige Gemeine Kiefer (95 %) und beigemischte Gemeine Birke (5 %), Bestandesmittelhöhe (Gemeine Kiefer): 22,4 m, mittlerer Durchmesser 24 cm, Bonität 32

Abb. 4: Bodenprofil in der Fahrspur

Die Autoren dieses Beitrages sprechen sich für mehr Pragmatismus und Flexibilität beim Einsatz von Kleintechnik im Wald aus

ten auf, was wie bei den anderen Prüfgliedern mit kleinstandörtlichen Unterschieden zusammenhängt (Tab. 2).

- Nach fünf Überfahrten ohne Last (Fr50-LEER) und mit Schutzschirm (Fr50-SCHUTZ) lässt sich in den oberen 20 cm Profiltiefe keine Verdichtung nachweisen. Gleiches gilt für die Sä-Variante (Fr50-SAE).
- Selbst bei zehn Lastfahrten mit angehängtem Stamm (Fr50-STAMM) entsprechen die Trockenrohdichten und anderen Kenngrößen dem Ausgangszustand.
- Die aufgenommenen Bodenparameter nach Pferdeeinsatz (ROSS-STAMM) sind mit denen der Technikvarianten vergleichbar.

Im Regelfall werden die für das Feinwurzelwachstum von Waldbaumarten häufig genannten Schwellenwerte unter- bzw. überschritten [10], weder zur Luftkapazität (< 6 Vol.-%) noch Trockenrohdichte (> 1,70 g cm^{-3}). Dabei korrespondieren die bodenphysikalischen Kennwerte mit den Oberflächenmessungen. Es ist anzunehmen, dass eine elastische Humusauflage nach Lasteinwirkung wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückkehren kann.

Forstliche Kleintechnik

Nicht nur in der breiten Öffentlichkeit werden Großmaschinen trotz aller technologischen Entwicklungen zur Schonung des Gassensystems zunehmend hinterfragt [7]. Herkömmliche Bewirtschaftungsverfahren verlieren neben der gesellschaftlichen Akzeptanz auch Eignung und Wirtschaftlichkeit. Gleichzeitig gibt es viele Argumente für Rückepferde im Wald [5, 16, 19]. Aber trotz Förderprogrammen, Erlassen oder Richtlinien nimmt ihre Zahl ab. Allgemeiner Kostendruck, Anforderungen des Arbeitsschutzes und immer weniger Arbeitskräfte für motormanuelle Tätigkeiten fordern hier ihrenTribut.

- Unter ökologischen Vorzeichen stehen jetzt alle Arbeitsverfahren auf dem Prüfstand. Auch die „Waldprämie" des Bundes fordert größere Gassen-

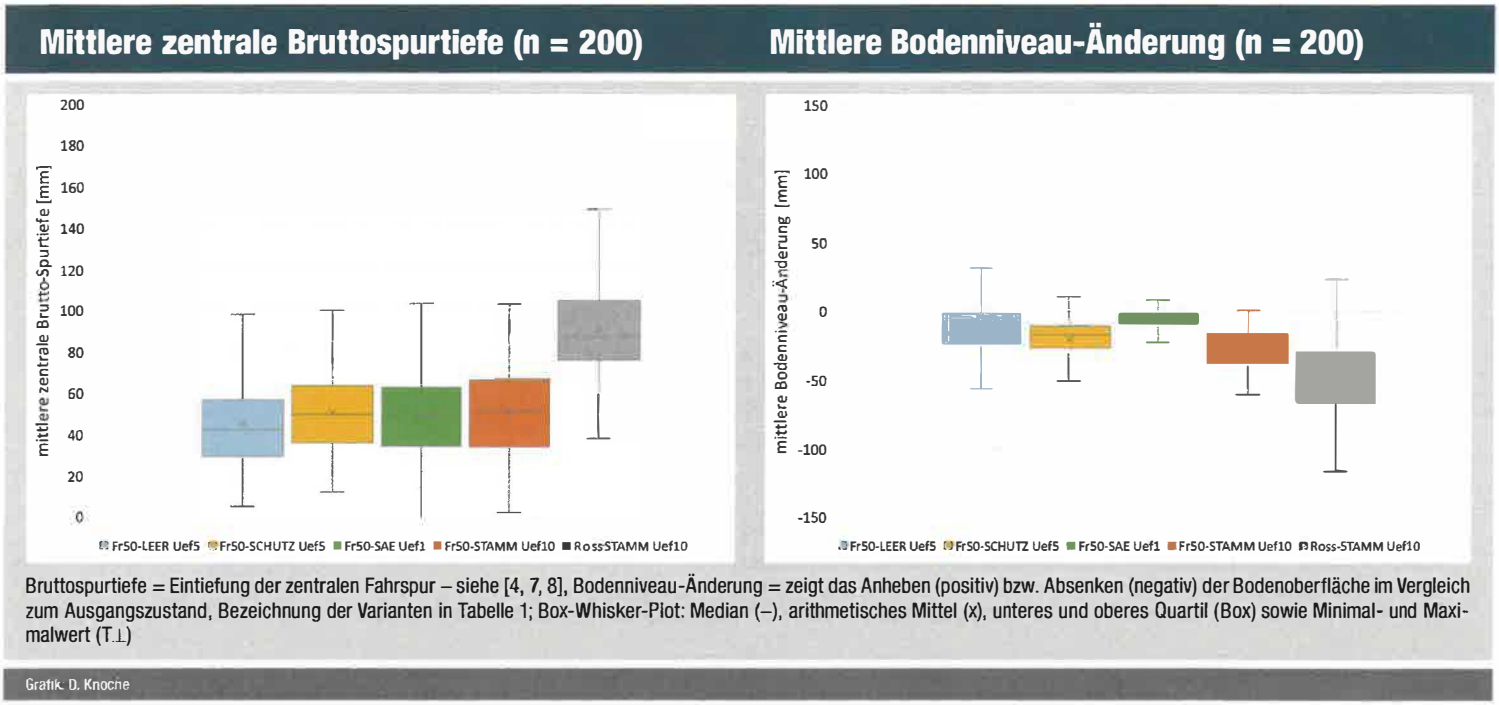

Abb. 5: Mittlere zentrale Bruttospurtiefe (l.) und mittlere Bodenniveau-Änderung (r.) nach einer, fünf und zehn Überfahrten, im Vergleich dazu das Pferd mit angehängtem Stamm und zehn Durchgängen

abstände von mindestens 30 m bei der Neuanlage. Es ist anzunehmen, dass sich viele Anforderungen bei der Waldpflege und Walderneuerung kaum mehr ohne kleine Forstraupen bewältigen lassen, die Vorliefern und seilunterstütztes Arbeiten im Wald ermöglichen.

- Damit schließt die forstliche Kleintechnik bestehende und neue Verfahrenslücken, speziell bei frühen Durchforstungsmaßnahmen in Mischbeständen aus Naturverjüngung und Sukzession. In anderen Anwendungsfällen ist sie eine brauchbare Alternative, etwa zur Direktsaat.
- In ihrem jeweiligen Arbeitsfeld leisten kleine Forstraupen einen substanziellen Beitrag zum Boden- und Arbeitsschutz, unabhängig davon, ob Wälder zertifiziert sind oder nicht – und zwar gerade dann, wenn bisher eine ungeregelte Befahrung mit veralteten Maschinen erfolgt.

Plädoyer für Pragmatismus

Befahrungssituationen im Wald hängen von zahlreichen Einflussfaktoren ab: Witterung, Relief, Bodenzustand, Bestockung und einwirkende Kräfte. Es ist kaum möglich allgemein gültige Schadensschwellen anzugeben [8, 15]. Ein starres Gassensystem mit rigorosem Technikverbot außerhalb der Feinerschließung ist gut begründbar und leicht zu fordern. Es entspricht dem vorsorgenden Bodenschutz, kommt aber auch an Grenzen, insbesondere bei der Walderneuerung. Denn nicht immer lassen sich Befahrungs- und Produktionsflächen strikt trennen. So erfolgt bei der vollmechanisierten Direktsaat oder Pflanzung eine flächig-streifenweise, wenngleich zumeist nur einmalige Befahrung, und wird dann allgemein akzeptiert.

Tab. 2: Bodenphysikalische Kennwerte (arithmetisches Mittel), ohne / mit Befahrung

Variante	Tiefenstufe	SFK [kPa]	TRD [g/cm³]	LK [Vol.%]	FK [Vol.%]	nFK [Vol.%]	kf [cm/d]
(1) Fr50-LEER	0–10 cm	51/49	1,52/1,51	26,8/22,0	17,8/23,4	7,3/11,7	65/65
5 Überfahrten	10–20 cm	54/63	0,49/0,28	33,6/45,5	44,3/43,5	33,1/24,1	33/5
	20–40 cm	139/151	1,49/1,74	12,0/23,4	32,0/11,2	19,8/7,7	65/230
(2) Fr50-SCHUTZ	0–10 cm	33/61	1,52/1,39	26,8/24,6	17,8/22,9	7,3/11,5	65/98
5 Überfahrten	10–20 cm	55/71	0,49/0,31	33,6/42,5	44,3/44,7	33,1/26,9	33/5
	20–40 cm	124/164	1,49/1,74	12,0/21,7	32,0/12,5	19,8/5,8	65/68
(3) Fr50-SAE	0–10 cm	53/55	1,54/1,39	18,6/24,3	22,0/21,7	6,9/10,3	65/106
1 Überfahrt	10–20 cm	71/71	1,13/1,28	21,4/23,3	35,9/28,4	12,6/13,8	106/98
	20–40 cm	100/106	1,66/1,61	13,7/17,1	21,7/21,7	5,0/14,1	29/52
(4) Fr50-STAMM	0–10 cm	55/63	1,54/1,55	18,6/13,1	22,0/28,1	6,9/8,9	65/65
10 Überfahrten	10–20 cm	58/65	1,13/0,92	21,4/23,9	35,9/41,3	12,6/18,0	106/68
	20–40 cm	91/124	1,66/1,78	13,7/16,5	21,7/16,2	5,0/7,0	29/68
(5) ROSS-STAMM	0–10 cm	47/47	1,43/1,59	28,2/18,2	18,7/23,8	8,6/8,9	98/65
10 Durchgänge	10–20 cm	46/59	1,01/0,95	27,8/35,3	33,3/29,3	17,5/6,9	161/5
	20–40 cm	103/113	1,63/1,66	22,4/23,5	17,7/14,5	8,4/7,2	68/230

Anzahl der Messpunkte für Scherfestigkeit: n = 9, Anzahl der Stechringe je Tiefenstufe: n = 5
1 Doppel-Bodenprofil je Variante mit den Tiefenstufen: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm – ohne und mit Befahrungseinfluss
SFK – Scherfestigkeit, TRD – Trockenrohdichte, LK – Luftkapazität, (n)FK – (nutzbare) Feldkapazität, kf – gesättigte Wasserleitfähigkeit

An den großen waldbaulichen Aufgaben sollten sich auch die Zertifizierungsstandards messen lassen, erscheinen sie doch in puncto zeitgemäßer Kleintechnik als zu kategorisch. Vielmehr sind pragmatische Regeln gefragt: Hier müssen Waldbesitzende künftig in der Lage sein, angepasste Bodenschutzkonzepte umzusetzen, welche regionale Standortverhältnisse und geeignete Verfahren berücksichtigen. Was spricht gegen kleine Forstraupen, wenn doch die Beeinflussung des Bodens derer von Arbeitspferden gleicht, selbst auf einem so empfindlichen Nassstandort im Winter? Noch fehlen aber weitere Befahrungsserien in anderen Grenzbereichen, z.B. auf empfindlichen Lössböden, um etwa die Befahrung mit kleinen Forstraupen an einen maximal zulässigen Kontaktflächendruck zu knüpfen.

Literatur

[1] Duhr, M.; Rakel, T. (2020): Zeitgemäße Waldarbeit im Spannungsfeld von Boden-, Arten- und Arbeitsschutz – der Einsatz von Kleinraupen, ein notwendiger Abwägungs- und Verfahrensentwicklungsprozess im Forstbetrieb. Forsttechnische Informationen 3/2020, 7–9.

[2] Erickson, M.S.; Bauer, J.J.; Hayes, W.C. (2013): The Accuracy of Photo-Based Three-Dimensional Scanning for Collision Reconstruction Using 123D Catch. SAE International 2013-01-0784.

[3] Grüll, M. (2011): Den Waldboden schonen – Vorsorgender Bodenschutz beim Einsatz von Holzerntetechnik. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 47, 37–44.

[4] Haas, J.; Ellhöft, K.H.; Schack-Kirchner, H.; Lang, F. (2016): Using photogrammetry to assess rutting caused by a forwarder – A comparison of different tires and bogie tracks. Soil and Tillage Research 163, 14–20.

[5] Hoffmann, V. (1992): Untersuchungen physischer Beanspruchung des Pferdes bei Rückearbeiten. Diplomarbeit Fachbereich Forstwirtschaft der FH Hildesheim/Holzminden, Göttingen, 1–68.

[6] Kersten, T.P.; Lindstaedt, M. (2012): Generierung von 3D-Punktwolken, durch kamera-basierte low-cost Systeme – Workflow und praktische Beispiele. Terrestrisches Laserscanning 2012 (TLS2012), Band 69, 25–46.

Nahbereichsphotogrammetrie

Bei der Nahbereichsphotogrammetrie handelt es sich um eine Oberflächenrekonstruktion durch Bestimmung von Punktpositionen im 3D-Raum.

- **Eingabe:** mehrere Fotos aus unterschiedlichen Blickwinkeln, Kamera-Parameter (z. B. Objektivverzeichnung, Brennweite), Lage der Punkte auf den einzelnen Bildern, sowie relative Position und Orientierung der Kamera
- **Ausgabe:** 3D-Punktwolke mit optimierten Punktpositionen des einzelnen Spurprofils, maßstabsgenaue Rekonstruktion der Spurgleise mittels Photomodeler Scanner 2016/2017 von EOS-Systems
- **Verarbeitung:** sektionsweise Auswertung zur Ableitung von Kenngrößen der Oberflächenverformung, Genauigkeit und räumliche Auflösung liegen bei dieser Anwendung im mm-Bereich

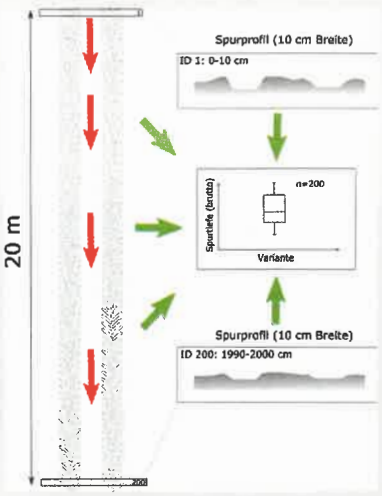

Abb. 6: Photogrammetrische Aufnahme zur Oberflächenverformung: sektionsweise Auswertung von 200 Spurprofilen (ID 1-200) mit 10 cm Zeilenbreite, bezogen auf eine Teststrecke von 20 m

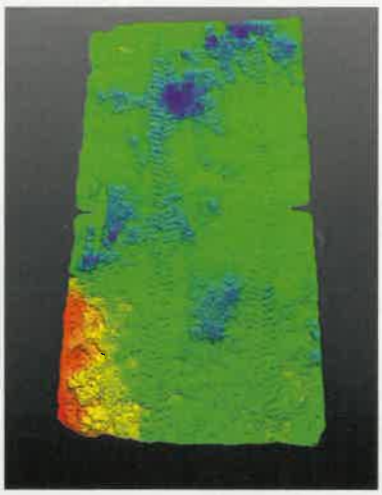

Abb. 7: Photogrammetrische Signatur entlang einer Fahrspur

[7] Köhler, R.; Ertle, C.; Heinkele, T.; Knoche, D. (2018): Forsttechnische Befahrbarkeit in Wäldern Brandenburgs – Bereifungsvarianten bei der Holzrückung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 65, 75–80.

[8] Köhler, R.; Ertle, C.; Knoche, D.; Rakel, T. (2017): Nahbereichs-Photogrammetrie zur Bewertung der forsttechnischen Befahrbarkeit von Rückegassen – Ein Vergleich unterschiedlicher Bereifungsvarianten bei der Holzrückung. Forsttechnische Informationen – 3. Sonderausgabe 11/2017, 33–35.

[9] Köhler, R.; Lange, C.A. (2022): Auswirkungen forstlicher Kleintechnik (Moritz Fr50) auf sensible Waldböden – Smart Scale Forestry in Brandenburg (SSF-BB). Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V. (FIB), Abschlussbericht, 1–56.

[10] Korotaev, A.A. (1992): Bodenverdichtung und Wurzelwachstum der Bäume. Forstarchiv 63, 116–119.

[11] KWF – Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (2018): Prüfbericht – Fäll- und Rückeraupe Pfanzelt Moritz Fr50 mit Eintrommelwinde. *http://www.kwf-online.de.*

[12] LFB – Landesbetrieb Forst Brandenburg (2013): Betriebliche Anweisung Praxisleitfaden „Vorsorglicher Bodenschutz bei der Holzernte". BA 35/2013 „Holzerntetechnik".

[13] Luhmann, T. (2023): Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen – Methoden – Beispiele, 5. neu bearbeitete Auflage. Wichmann Verlag, Berlin, Offenbach am Main.

[14] Rauschmayr, F.; Welschof, B. (2022): Forstraupen – die cleveren Waldmeister. mein wald mein holz 1/2022, 26–27.

[15] Schäfer, J. (2002): Befahren von Waldböden – ein Kavaliersdelikt? Der Waldwirt 29, 12, 21–23.

[16] Voßbrink, J. (2005): Bodenspannungen und Deformationen in Waldböden durch Ernteverfahren. Dissertation Universität Kiel, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel 65, 1–107.

[17] Waas, S.; Wolf, M.; Schuster, S. (2016): KWF-Tagung überzeugt mit innovativer Technik – Weltgrößte Forstdemo-Messe bietet Einblicke in die Praxis. LWF aktuell, 52–55.

[18] Willenbücher, M.; Welschof, B. (2022): Ist die kleine Forstraupe der Minibagger im Wald? mein wald mein holz 3/2022, 32–34.

[19] Wirth, J.; Wolff, D. (2008): Vergleich von Pferde- und Seilschleppereinsatz beim Vorliefern von Vollbäumen. AFZ-Der Wald 18/2008, 968–971.

Dirk Knoche, Raul Köhler, Christian A. Lange und Torsten Rakel

Dr. Dirk Knoche ist stellvertretender Leiter des Forschungsinstituts für Bergbaufolgelandschaften e. V. (FIB) in Finsterwalde. Dr. Raul Köhler und Dr. Christian A. Lange sind wissenschaftliche Mitarbeiter des FIB. Torsten Rakel leitet beim Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB) den Maschinenhof Doberlug-Kirchhain.