

Optimierte Raupenharvester

Kunststoffplatten schonen Boden und Bestand

Dass konventionelle Raupenlaufwerke den Boden schonen, ist aus verschiedenen Untersuchungen bekannt. Aber bei den Gassenrandbäumen können sie gravierende Wurzelverletzungen verursachen. Erste Voruntersuchungen mit Laufwerken aus elastischen Kunststoffplatten (Felastec) liessen in dieser Hinsicht auf Vorteile hoffen (UHL et al. 2004). Andererseits war zu befürchten, dass ihre Elastizität und geringeren Auflageflächen die Bodenpfleglichkeit verringern. Eine vergleichende Studie zeigt nun, dass die Laufwerke mit Kunststoffplatten Vorteile für die Wurzelpfleglichkeit haben und unverändert gute Eigenschaften bezüglich des Bodenschutzes aufweisen.

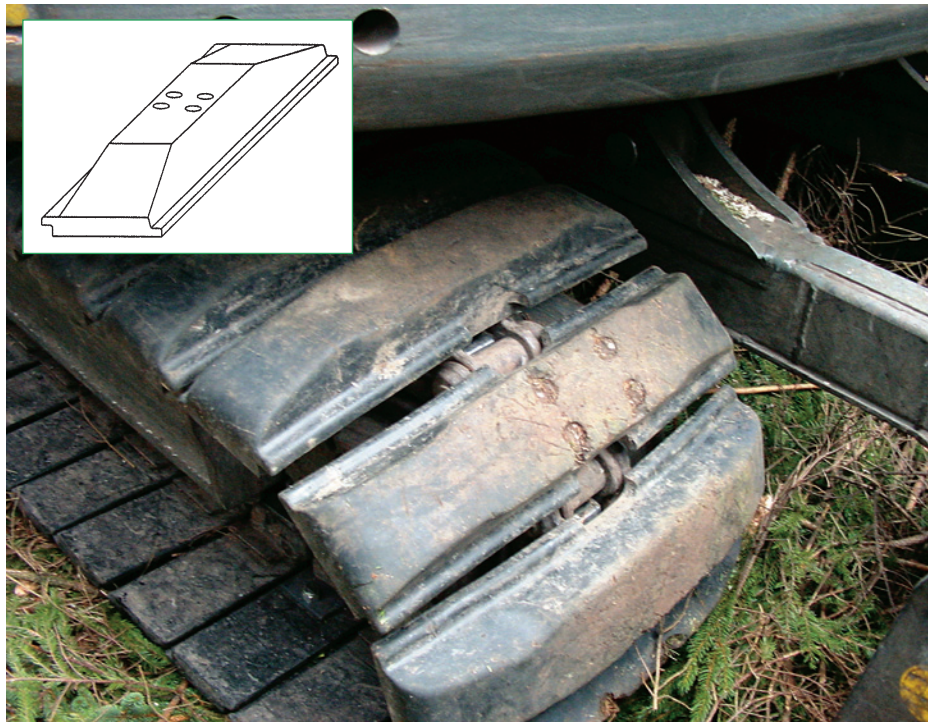


Abbildung 1: Felastec-Bodenplatte – links Modellzeichnung, rechts Einsatzbild.

Immer häufiger werden in der Holzernte aufgrund ihrer hohen Produktivität und Geländegängigkeit Raupenharvester eingesetzt. Die Folgen für Wurzeln und Boden blieben anfangs unberücksichtigt, können

Von Johann Kremer¹, Enno Uhl¹
und Carl Ganter²

jedoch gravierend sein (Ohrner et al. 2003). Verstärkte Beachtung des Bodenschutzes und der Pfléglichkeit in der Holzernte sind aktuelle Forderungen, die an die Forstbetriebe gestellt werden.

An der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) wurde in einem Kooperationsprojekt mit den Firmen MHT, WFW und FELASTOPUR das neue Laufwerk dem konventionellen vergleichend gegenübergestellt und hinsichtlich seiner Auswirkungen bewertet.

Felastec-Bodenplatten werden aus verschleissbeständigem Polyurethan hergestellt und zeichnen sich durch hohe

Tabelle 1: Technische Daten des MHT 9002 HV

Gewicht	11 t
Breite	2,35 m
Länge	3,35 m
Laufwerkbreite	65 cm
mit Stahlkette	50 cm
Kranreichweite	9,30 m
Fälldurchmesser	49 cm

Flexibilität und grosse Widerstandsfähigkeit gegenüber Witterungseinflüssen aus (Abb. 1).

Im Fokus der Untersuchung standen dabei die *Unterschiede in der Boden- und Wurzelpfleglichkeit*. Ergänzend sollten auch die wirtschaftlichen Aspekte beleuchtet werden. Die Datenerhebung erfolgte während zwei praxisüblichen Einsätzen der Maschine in bisher nicht erschlossenen Fichtenbeständen in Südbayern. Die Untersuchungsflächen lagen im hängigen Gelände und in der Ebene. Bei den Eingriffen stand je Laufwerktyp eine neu angelegte Gasse zur Verfügung. Im Herbst 2004 erfolgten die Aussen-aufnahmen.

Methodik

Für die Bodenuntersuchungen wurden konventionelle Stechzylinderanalytik und bildgebende Verfahren eingesetzt.

Zur Erfassung der Wurzelverletzungen wurde das Freisinger Verfahren³ angewandt. Dieses in Anlehnung an die Methode von MENG (1978) für Schäden am verbleibenden Bestand entwickelte Verfahren berücksichtigt, dass Wurzelverletzungen durch Befahrung in vielen Fällen bis in einige Zentimeter Tiefe unterhalb der Verfahren ermöglicht die einheitliche Klassifikation und Beschreibung von Wurzelarchitektur und Verletzungen bei einschlägigen Untersuchungen. Die ausgewiesenen Schadklassen sowie die erhobenen Wurzel- und Schadenparameter sind aus Abb. 3 ersichtlich.

In vorliegender Studie wurden alle in die Rückegasse streichenden Hauptwurzeln der Gassenrandbäume erfasst. Als solche wurden alle Bäume innerhalb eines 2 m breiten Streifens – gemessen von der Aus-

¹ Sachgebiet für Betriebswirtschaft und Waldarbeit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.

² Institut für Radiologie, Klinikum r. d. Isar, TU München.

³ In Abstimmung mit der FVA Freiburg und der WSL Birmensdorf/CH.

Bestand	Boden	Alter	Oberhöhe	BG	Exposition	Hangneigung
Hang Fi-/Altholz dicht geschlossen	Kalkverwitterungslehm; Jungmoräne; tonig kiesiger Lehm; Bodenwassergehalt: 21–26 m%; Ausrollgrenze: 24 m%	65–80 Jahre	25 m	1,0	West	Ø 27%, max. 33 %
Ebene Fi-/Birkenholz mehrschichtig; dicht geschl., durchbrochen	organischer Weichboden; Jungmoräne; schluffiger Sand; Bodenwassergehalt: über Fließgrenze	55–65 Jahre	22 m	0,9	West	max. 2 %

Tabelle 2: Daten zu Beständen, Standorten und Böden. BG = Bestockungsgrad; Fi = Fichte; m% = Massenprozent.

senkante der Fahrspur in den Bestand – definiert.

Zeitstudien im Fortschrittszeitverfahren auf mobilen Datenerfassungsgeräten (UMT-Software) ermöglichten einen Produktivitätsvergleich. Die jeweils laufwerkbezogenen Aufnahmereihen weisen folgende Teilarbeitsschritte aus:

- Arbeitsfahrt;
- Positionieren;
- Fällén/Aufarbeiten;
- Anlage der Reisigmatte;
- sonstige Kranarbeit.

Die zur Ermittlung der technischen Arbeitsproduktivität notwendigen Holzdaten wurden dem Protokoll des Harvesters entnommen.

Auswirkungen der Laufwerke auf den Boden

Da der Bodenwassergehalt bei dem kiesig-tonigen Lehm im Hang bei der Ausrollgrenze lag, wären als Folge der Belastung deutliche Verdichtungseffekte möglich und zu erwarten gewesen. Tatsächlich konnten bis auf einen Punkt am Oberhang keine nennenswerten Verdichtungen gemessen werden. Dazu führte sicherlich auch der gute Schutz durch die vorbildlich eingebaute Reisigmatte. Die örtlich leichte Auflockerung der obersten Bodenschicht unter dem Stahl-Laufwerk kann dem Schereffekt der Stege zugeschrieben werden.

Entsprechend den äusserst geringen Verdichtungseffekten waren auch keine grösseren Porenraumveränderungen festzustellen. Als Einzelfall ist im Unterhang unter der Stahlkette in der Tiefenstufe 8–13 cm der Gesamtporenraum um 16% (bzw. der Grobporenraum um 20%) zurückgegangen. In der Folge gingen an diesem Punkt die Leitfähigkeitsbeiwerte (2 bzw. 3 Klassen) für Wasser und Luft deutlich zurück. Insgesamt betrachtet, sanken die verbleibenden Werte jedoch nie unter die Klasse «mittlere» Bewegungsgeschwindigkeiten ab, was die geringe

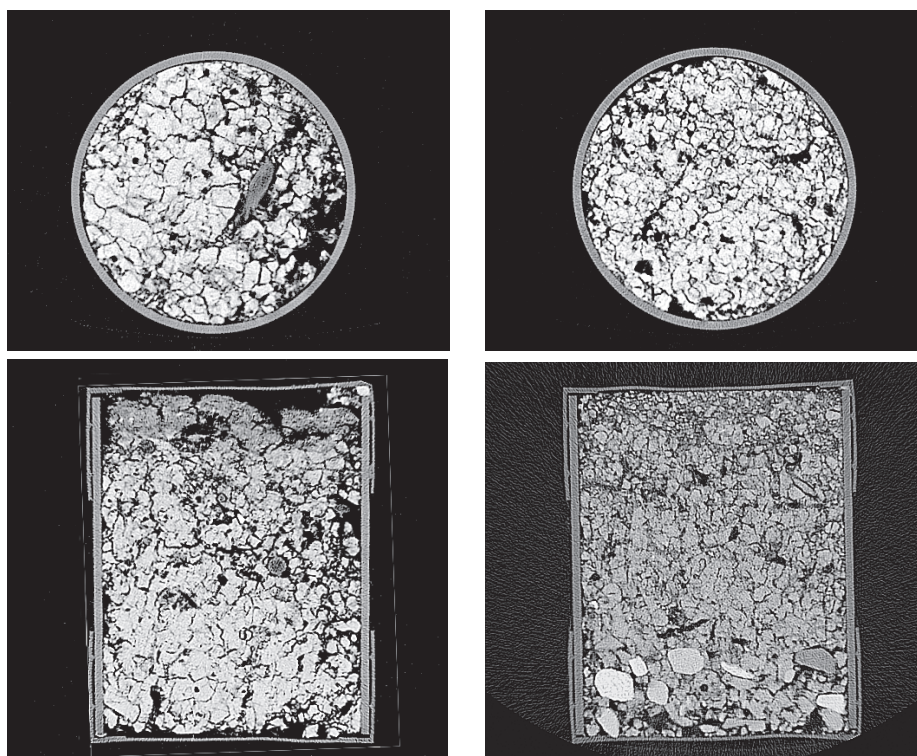


Abbildung 2: Computertomografisch erzeugte Schnittbilder durch grossvolumige Bodensäulen. Geringe Strukturveränderungen am Standort «Hang»; links Referenzboden, rechts befahrener Boden.

Beeinträchtigung des Bodens durch die Maschine verdeutlicht.

Unter gleich bleibenden äusseren Einsatzbedingungen hat sich das Felastec-Laufwerk insgesamt als geringfügig bodenpfleglicher erwiesen als das Stahlsteg-Laufwerk.

Auf dem nassen, schluffig-sandigen organischen Weichboden wäre keine Verdichtung, sondern allenfalls plastisches Fließen zu erwarten gewesen. Eine vollkommene Umorientierung des Porenraums und eine Versiegelung des Bodens hätten eintreten müssen. Nach der Befahrung konnten jedoch keine Merkmale für plastisches Fließen (wie Randaufwölbungen und durchkneten des Oberbodens) festgestellt werden. Die Verdichtungen fielen sehr moderat aus und der

Gesamtporenraum blieb konstant. Lediglich in der obersten Bodenschicht liess sich unter der Stahlraupe eine Minderung des Grobporenraums nachweisen. Die reduzierten Wasser- und Luftleitfähigkeitsbeiwerte waren vermutlich auf unterbrochene Poren zurückzuführen. CT-Strukturbilder zeigten jedoch, dass ein gewisser Anteil an leitendem Porenraum erhalten blieb. Das erklärt die verbleibenden Wasserleitfähigkeiten, die noch auf dem Niveau «mittel bis schnell» angesiedelt sind. Auch in diesem Fall hat sich das Felastec-Fahrwerk geringfügig bodenpfleglicher als das Stahlsteg-Laufwerk erwiesen.

Die äusserst gering ausfallenden Strukturveränderungen werden in **Abbildung 2** durch einen Bildvergleich zwischen unbelastetem Boden (linke Bildreihe) und be-

fahrenen Proben aus dem Spurbereich (rechte Bildreihe) unter Felastec-Laufwerk dargestellt. Die Bilder des belasteten Bodens (rechts) zeigen eine geringe Verdichtung auf. Aggregate sind näher zusammengerückt und die Anteile der Hohlräume (schwarz) über die Fläche fallen im Vergleich zu den Bildern links etwas geringer aus. In beiden Schnittebenen ist deutlich zu erkennen, dass sowohl Grobporen als auch Aggregate erhalten bleiben. Dies erklärt die geringen Minderungen der Leitfähigkeitsbeiwerte infolge der Befahrung.

Die ökologische Funktionalität der belasteten Böden blieb in beiden Fällen weitestgehend erhalten. Obschon das Kunststofflaufwerk gelegentlich eine geringere Aufstandsfläche aufweist (bedingt durch unterschiedliche Geometrie und zusätzliche Freiheitsgrade), blieben die befürchteten schädlichen Auswirkungen auf den befahrenen Boden aus.

Auswirkungen der Laufwerke auf die Wurzeln

Konventionelle Kettenlaufwerke sind im Vergleich zu Radfahrzeugen zwar bodenschonender, bergen jedoch ein hohes Verletzungsrisiko mit schwerwiegenden Folgen für Fichtenwurzeln. Durch zum Teil erhebliche Holzkörperverletzungen entsteht dabei ein gravierendes Infektionspotenzial für Holzfäulen (Ohrner et al., 2003).

Drei charakteristische Kenngrößen reichen zur Beurteilung der Wurzelschäden aus:

- Das Schadprozent hinsichtlich der beschädigten Gassenrandbäume und Wurzeln liefert Aussagen zum Verletzungspotenzial eines Fahrwerks.
- Die Qualität einer Verletzung ergibt sich aus der Zuordnung zu einer Schadklasse (Schadklassenverteilung) sowie aus der Schadflächengröße.

In dieser Studie stellte sich das Kettenlaufwerk aus Polyurethan deutlich wurzelpfleglicher dar als die konventionelle Stahlkette. Unter dem Felastec-Laufwerk war die Anzahl der geschädigten Randbäume und der geschädigten Wurzeln sowohl im Hang als auch in ebenen Lagen und auf Weichböden wesentlich niedriger. Die Schadflächen waren wesentlich kleiner und eine deutlich günstigere Schadklassenverteilung ergänzen das Bild (Abb. 3). Zum überwiegenden Teil wurden lediglich Rindenverletzungen verursacht, die im Vergleich zu Holzkörperverletzungen ein geringeres Infektionspotenzial nach sich ziehen. Damit konn-

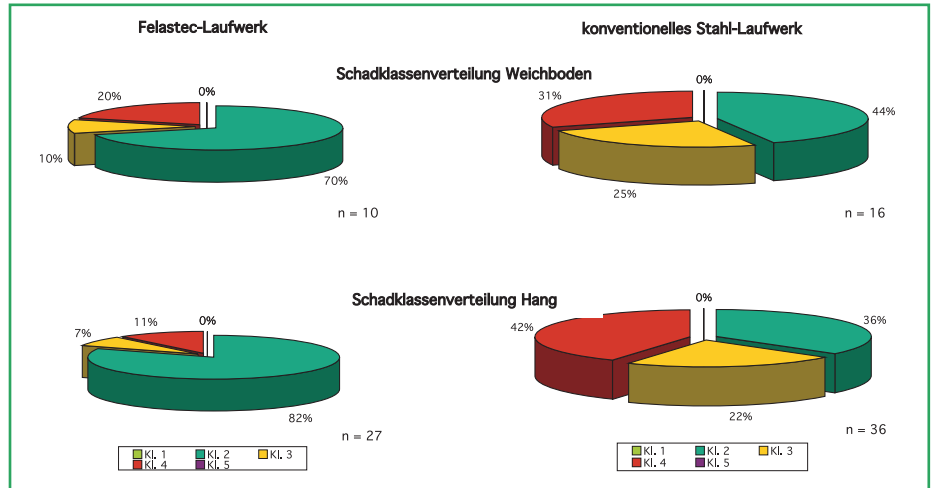


Abbildung 3: Die Verteilung der aufgetretenen Wurzelverletzungen in den Gassen der Untersuchungsbestände am Hang und auf dem Weichboden nach Schadklassen.

Die Schadklassen:

- 1 = Rinde gequetscht (Verletzungen mit Harzaustritt).
- 2 = Holz freigelegt, Rindenablösung ohne Beschädigung der Holzfaser.
- 3 = Holz freigelegt, gequetscht und gesprungen.
- 4 = Holz freigelegt, gequetscht und zerfasert.
- 5 = Wurzelriss und/loder -bruch.

tendieErgebnisseausdenUntersuchungen zu Raupenlaufwerken (Kremer et al., 2003) und der Vorstudie zum Felastec-Laufwerk (Uhl et al., 2004) bestätigt werden. Das Felastec-Laufwerk verfügt insgesamt über wurzelpflegliche Eigenschaften, das Schadbild ist dem eines Radfahrzeugs vergleichbar.

Reisigmatte und Gassenverlauf sind wichtig

Sowohl bei der Befahrung im Hang als auch auf dem Weichboden waren dank einer gezielt eingebrachten und sehr gut angepassten Reisigmatte (Tab. 3) keine gravierenden Bodenstrukturveränderungen festzustellen.

Auch für den effektiven Wurzelschutz spielt die Reisigmatte eine erhebliche Rolle. Dort, wo keine Reisigmatte vorhanden war, entstanden auch unter dem Felastec-Laufwerk auf dem Weichboden zwei Schäden der Klasse 4. Im Hang traten zwei weitere Schäden der Klasse 4 an Punkten auf, wo aufgrund des Gassenverlaufs Lenkbewegungen nötig waren. Dies zeigt, wie wichtig geradlinige Rückegassen für die Pfléglichkeit sind.

Der Zeitaufwand für die Anlage der Reisigmatte hängt entscheidend von der Struktur des aufstockenden Bestandes ab. Insbesondere das Bestandesalter, der Überschutzgrad sowie der Anteil abgestorbener Bäume sind hier massgebliche Einflussfaktoren. Für mittlere Verhältnisse erscheint ein Zeitbedarf von etwa 15 bis

20% der reinen Arbeitszeit für die sorgfältige Anlage einer Reisigmatte plausibel.

Wirksamer Wurzelschutz erfordert auch eine bestimmte Breite der Gasse. Bei grösserem Abstand der Randbäume von der Spuraussenkante sind die Wurzeln eher in Bereiche abgetaucht, in denen sie ausreichend vor Verletzungen geschützt sind. Das gilt allerdings nicht für Böden mit ganzjährig hohem Wassergehalt. Hier verlaufen die Wurzeln der Fichte auch in grossen Abständen zum Baum noch oberflächennah. Auf dem untersuchten Weichboden traten viele Wurzeln sogar wieder über die Bodenoberfläche.

Der Abstand zwischen Fahrspur und Gassenrandbäumen sollte mindestens 1 m betragen. In der Hangvariante entstanden über drei Viertel der Wurzelschäden an Bäumen, die innerhalb dieser Bandbreite standen; auf dem Weichboden waren es immerhin noch 50 %.

Produktivität und Holzerntekosten

Gegenüber dem Stahllaufwerk bewirkt das Kunststoff-Laufwerk keinen Unterschied in der Produktivität (Tab. 4). Die erreichten Kennziffern liegen im Rahmen des Leistungsspektrums eines Raupenharvesters der unteren Gewichtsklasse. Obschon es keine Stege zur Traktionsunterstützung aufweist, kann das Felastec-Laufwerk auch in Hangneigungen bis 30% in der Leistung mithalten.

Als reeller Aufwand sollte in der Kalku-

Hang	Felastec			Stahl-Steg		
	links	rechts	gesamt	links	rechts	gesamt
n	30	30	30	28	28	28
Mittel (cm)	11,5	11,2	11,4	12,9	13,0	13,0

Tabelle 3: Mächtigkeit der Reisigmatten in den Gassen der Aufnahmeorte Hang und Ebene nach der Befahrung (in komprimiertem Zustand).

Hang	Felastec			Stahl		
	Masse (fm/h o. NH)	reine Arbeitszeit (h)	techn. Arbeitsprod. (fm/h o. NH)	Masse (fm/ha o. NH)	reine Arbeitszeit (h)	techn. Arbeitsprod. (fm/h o. NH)
Hang	30,47	1,98	15,39	34,11	2,46	13,87
Weichboden	32,99	2,8	11,78	18,33	1,66	11,06

Tabelle 4: Übersicht der leistungsrelevanten Kenndaten.

lation der Holzerntekosten auch der Kettenwechsel erscheinen. Befestigter Untergrund und ausreichend Manipulationsraum sind Voraussetzung, da sonst mit erheblichen Schäden an der Deckschicht der Wege gerechnet werden muss. Fehlt eine solche Fläche in unmittelbarer Nähe, muss der Harvester auf einem Tieflader transportiert werden.

Der Arbeitsaufwand für den Wechsel eines Laufwerks betrug in dieser Studie etwa eine Stunde. Der eingesetzte Unternehmer verfügt allerdings über mehrere tausend Betriebsstunden Erfahrung mit dem Felastec-Laufwerk. Bei anderen (ungeübten) Unternehmern kann der Zeitbedarf in der Praxis wesentlich höher liegen.

Einsatzempfehlung

Viele Durchforstungsbestände können mit Harvestern der unteren Gewichtsklasse bearbeitet werden, wenn diese mit entsprechenden Aggregaten ausgestattet sind. Das Kunststoff-Laufwerk arbeitet wurzelschonend und steht der konventionellen Stahlraupe hinsichtlich der Bodenpfleglichkeit nicht nach. Sowohl Ergonomie als auch Manövrierbarkeit bleiben erhalten und die Produktivität der Maschine ändert sich mit dem Felastec-Laufwerk nicht. Das Felastec-Laufwerk lässt sich auf Ebenen und bis zu hängigen Lagen mit maximal 35% Hangneigung einsetzen, ebenso auf organischen Weichböden. Auf solchen Standorten sollte das Kunststofflaufwerk aus Gründen des Boden- und Wurzelschutzes wo immer möglich dem Stahllaufwerk vorgezogen werden. Hänge an der oberen Neigungsgrenze sollten sicherheitshalber nur nach längeren Trockenperioden befahren werden. Der Einsatz ist hier auch nur dann sinnvoll, wenn im Hang keine Brüche und Kanten vor-

handen sind. Solche Hindernisse sind mit dem Felastec-Laufwerk nicht zu überwinden. Die Stahlkette sollte demzufolge nur in extremen Hanglagen, bei sehr feuchtem Wetter auch in Hanglagen unter 35% Neigung sowie bei Schneelage eingesetzt werden.

Unabhängig vom Laufwerktyp spielt die Anlage der Rückegasse eine eminente Rolle für den Wurzelschutz. Die Breite der Gasse sollte so ausgestaltet werden, dass ein Abstand von mindestens 1 m von der Fahrspur bis zu den Randbäumen eingehalten werden kann. Der Verlauf sollte nach Möglichkeit immer geradlinig sein, um die Maschine nicht zu Lenkbewegungen zu zwingen. Eine Reisigmatte fördert immer den Boden- und Wurzelschutz und sollte daher in jedem Fall angelegt werden, auch wenn dies nur in geringer Stärke möglich ist.

Literatur

Uhl, E., Kremer, J., Ohrner, G. (2004): Wurzelschonende Holzernte durch Raupenharvester. In: AFZ/Der Wald Nr. 8; S. 426–428.
 Meng, W. (1978): Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte: Ausmass und Verteilung; Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. Diss. Freiburg i. Breisgau, 159 S.
 Ohrner, G., Matthies, D., Kremer, J., Wolf, B., Uhl, E. & Blaschke M. (2003): Rad- oder Raupenfahrwerke bei Forstmaschinen? In: Wald und Holz, Nr. 9, S. 40–42.
 Kremer, J., Matthies, D., Wolf, B., Ohrner, G., Uhl, E., (2003): Bodenstrukturveränderungen und Wurzelverletzungen. AFZ/Der Wald Nr. 17; S. 847– 850.