

Bedeutung der Bodenverdichtung für Ertrag und Nachhaltigkeit

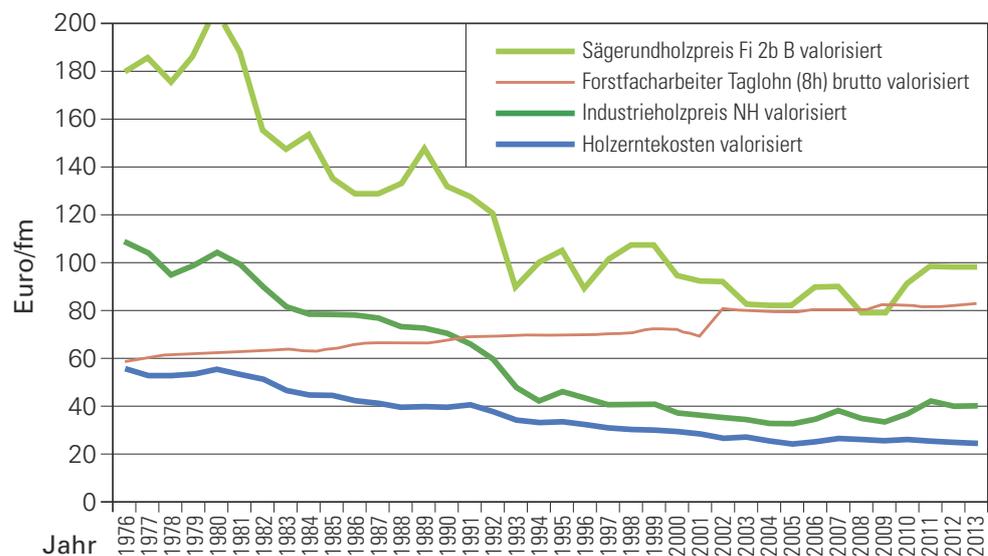
Sichtbare Fahrspuren und Bodenzerstörung nach der Holzernte werden von der Gesellschaft sehr kritisch wahrgenommen. In Wäldern mit erhöhter Erosionsgefährdung können solche Schäden auch tatsächlich Ursache für gravierenden Bodenabtrag sein. Nicht zu sehen sind hingegen die Verdichtungsschäden, die durch das Befahren mit mehr oder weniger schweren Maschinen immer entstehen.

Böden haben ein „Gedächtnis“: Auch wenn die Fahrspuren relativ rasch von der Vegetation überwachsen werden, die Bodenverdichtung bleibt und kann sich nach wissenschaftlichen Erkenntnissen über mehrere Jahrzehnte auf das Baumwachstum auswirken. Da der Boden der wichtigste Produktionsfaktor für die Waldbewirtschaftung ist, sind Waldbesitzerinnen und -besitzer sowie Forstleute auf Bodenschäden sensibilisiert.

Die Rahmenbedingungen für die Bewirtschaftung der Wälder – Halbierung des realen Holzpreises binnen 30 Jahren bei laufend steigenden Kosten – erzeugen einen ständigen Rationalisierungsdruck. Der Sparstift wurde entsprechend der betriebswirtschaftlichen Logik bei den Produktionsfaktoren mit den größten Kostenanteilen, den Verwaltungs- und den Holzerntekosten, angesetzt. Die nötigen Sparziele für die weitere Bewirtschaftung der Wälder sowie Erhaltung der Waldfunktionen (Rohstoffversorgung, Arbeitsplätze, Schutz vor Naturgefahren etc.) konnten durch den technischen Fortschritt und die damit verbundene Produktivitätssteigerung erreicht werden. Bezüglich forstlicher Ideale mussten aber Kompromisse gemacht werden.

Die Kostensenkung in der Holzernte wurde durch zunehmende Mechanisierung erreicht. Mit der Entwicklung leistungsfähiger Schlepper und Mast-

► **Holzpreisentwicklung 1976 bis 2013, nominal und real**
 Quelle: Löhne – Arbeitgeberverband, ProGE, Lohn tafel für Privatforste
 Holzerntekosten – Auswertung der Testbetriebe, Land&Forstbetriebe Österreich
 Holzpreise lt. Statistik Austria, Holzpreisstatistik der Landwirtschaftskammer Österreich



Seilgeräte wurde zunächst die hochmechanisierte Holzernte im Baumverfahren etabliert und damit der erste große Schritt zur Reduktion der manuellen Arbeit in der Holzernte gesetzt. Die Aufarbeitung der Bäume erfolgte nun an der Straße, zunächst mit eigenen Prozessoren, die einen ganzen LKW-Zug füllten.

Bald aber mit der Entwicklung leichter Kranprozessoren kamen die Kombimaschinen (Gebirgs Harvester), bei welchen Seilgerät und Aufarbeitungseinheit auf einer Maschine vereint wurden. Der gravierende Nachteil des Baumverfahrens, der Humus- und Nährstoffabbau durch die Entnahme des nährstoffreichen Astmaterials, führte zu heftigen Diskussionen in Fachkreisen, blieb aber angesichts der wirtschaftlichen, ergonomischen und sicherheitstechnischen Vorteile des neuen Verfahrens von den Holzernteverantwortlichen weitgehend unbeachtet.

Das Bemühen um Rationalisierung der Holzernte gipfelte schließlich in der vollmechanisierten Ernte mit Harvester und Forwarder. 1990 wurde der erste Harvester in Österreich eingesetzt. 2008 waren bereits rund 260 Harvester im Einsatz. Die weitere Entwicklung bis heute zeigt bei gleichbleibender Zahl eine deutliche Tendenz zu immer leistungsfähigeren und schwereren Maschinen, die auch in der Endnutzung und speziell bei Sturmholz eingesetzt werden können. Waren die Maschinen zunächst nur im flacheren Gelände einsetzbar, wird ihr Einsatzspektrum durch die Verwendung von Traktionshilfswinden immer weiter in das steile Gelände (bis 60 Prozent und mehr) ausgeweitet.

Bei diesen leistungsfähigen Maschinen werden durchschnittlich 20 bis 30 Tonnen Einsatzgewicht auf vier bis acht Räder bzw. zwei bis vier Raupenkette verteilt. Durch Gewichtsverlagerung bei der Arbeit mit dem Harvesteraggregat kann aber das Mehrfache des Maschinengewichtes auf einer Seite auf den Waldboden wirken.

Aber nicht nur Harvester und Forwarder, auch die bei der teilmechanisierten Holzernte - häufig ohne Rückegassensystem - eingesetzten, immer schwereren Traktoren mit Rückezange oder Winde drücken ordentlich auf den Boden. Schon ein mittlerer Forstraktor mit Seilwinde oder Rückezange und angehobener Last drückt mit 6 bis 7 Tonnen auf die Hinterachse. Bei land- und forstwirtschaftlichem Mischeinsatz wird diese Last oft über nicht besonders breite Reifen auf den Boden übertragen.

Die Universität Göttingen (Abteilung Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie) hat einen Druck-Kalkulator („PrAllCon“) entwickelt, mit dem man in Form eines einfach zu bedienenden Excel-Files den Druck der Reifen auf den Boden abschätzen kann. Ein Wert > 0,5 bar wird oft als kritisch für den Boden gesehen, manche Experten halten aber auch diesen Wert für zu hoch.

Im nachfolgenden Beispiel wird die Bodenbelastung durch einen Forstraktor mit dem Kalkulator berechnet: Bei einer Belastung mit 7000 kg auf der Hinterachse eines Steyr Forstraktors mit Tigerwinde erreicht der mittlere Druck an der Oberfläche 3,6 bar und der max. Druck unter 20 cm Sand (!) immer noch 3,3 bar!

Druck-Kalkulator
(„PrAllCon“):

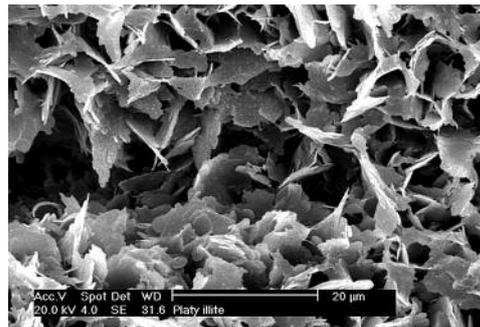
www.uni-forst.gwdg.de/forst/iwvf/prallcon.html

▼
Bodendruck unter Hinterrädern eines Steyr Traktors 4095 mit Tiger 6 t Winde



Sensible Waldböden mit tausendjähriger Geschichte

Ein für Bodeneigenschaften und Pflanzenernährung entscheidendes Produkt der Jahrtausende dauernden Bodenentwicklung sind Tonminerale - plättchenartige, schichtweise aufgebaute Minerale. Bei entsprechendem Wassergehalt sind Tone plastisch und werden unter mechanischer Beanspruchung verdichtet. Die Poren zwischen den 0,002 mm großen Tonplättchen enthalten bis zu 60 % Luft, die für die Durchwurzelung und das Bodenleben entscheidend ist. Im Falle der Verdichtung trifft es stets den Luftanteil. Die Folge: die biologische Aktivität wird beeinträchtigt und der Zuwachs fällt geringer aus.



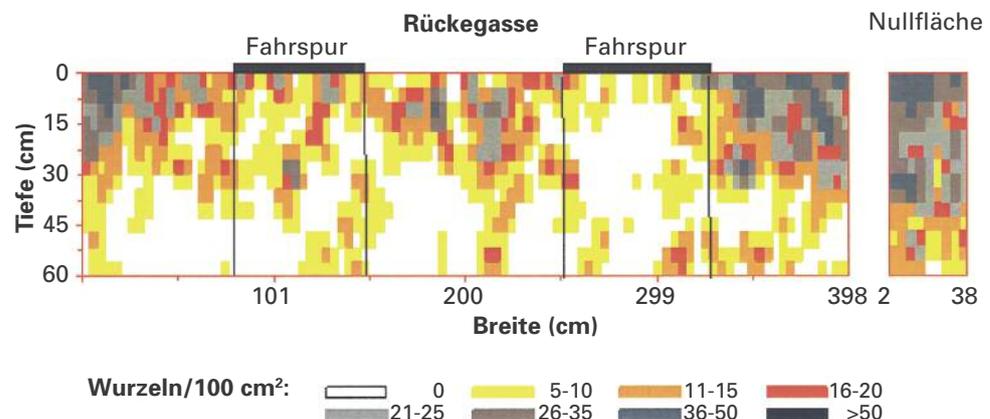
fahrt der Boden so verdichtet wird, dass bei Wiederholung der Befahrung auf der gleichen Fahrspur nicht weiter verdichtet wird. Es ist alles bereits passiert! (Schäffer, J. 2002). Die Untersuchung einer Waldfläche, mehr als 25 Jahre nach unregelmäßiger Befahrung im Zuge einer Windwurfaufarbeitung, hat unter den Fahrspuren immer noch eine deutliche Beeinträchtigung des Wurzelwachstums ergeben. (Schäffer, 2003).

Ertragsrückgang durch Bodenverdichtung zu erwarten

Mehrere Untersuchungen aus den Jahren 1970 bis 1990 in Douglasien- und *Pinus Ponderosa*-Beständen belegen, dass Zuwachsverluste je nach Verdichtungsgrad von 13 bis 69 % des Volumenzuwachses zu erwarten sind, wenn mehr als 10 % des Durchwurzelungsbereiches Verdichtungseffekte aufweisen. (MARGANNE, M.A., 1997). Besonders beachtenswert ist, dass bei allen publizierten Untersuchungen bereits ab einer geringfügigen Verdichtung des Bodens - Zunahme der Bodendichte um ca. 10 % - ein signifikanter Rückgang des Zuwachses feststellbar war. Es ist anzunehmen, dass unsere flach wurzelnde Hauptbaumart Fichte ähnlich reagiert. Untersuchungen zum Zusammenhang Bodenverdichtung/Zuwachs an mitteleuropäischen Hauptbaumarten bzw. Untersuchungen jüngerer Datums fehlen.

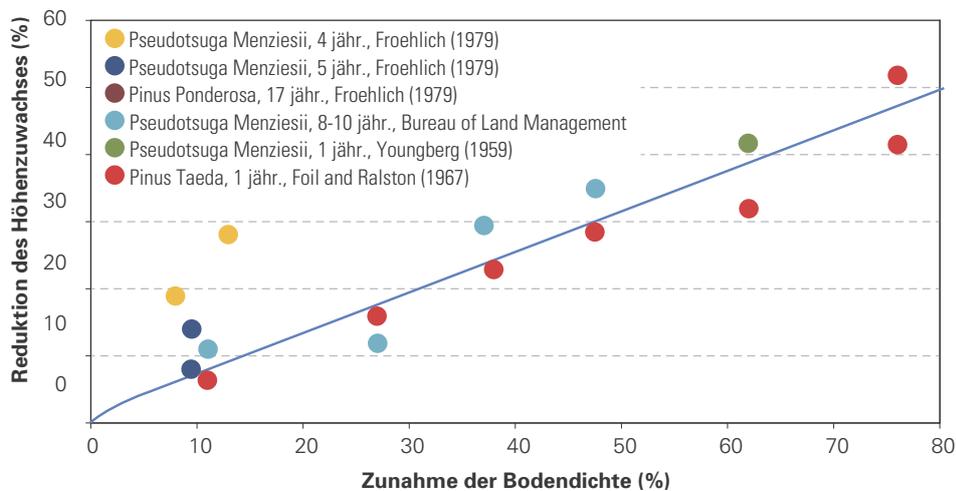
„Einmal ist keinmal“

Dies gilt nicht für die Befahrung von Waldböden. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei tiefgründigen Böden (also guten Standorten) bei der ersten Über-



► Mikroskopische Darstellung von Tonmineralen

► Rückgang der Bewurzelungsintensität in der Fahrspur (SCHÄFFER, 2003)



◀ Zuwachsverlust in Relation zum Grad der Bodenverdichtung nach Marganne (1997) aus Froehlich und McNabb 1983 (Quellen: Foil and Ralston (1967), Youngberg (1959), Bureau of Land Management, Froehlich (1979))

Maschinengewicht entscheidend für Bodenverdichtung

Für die Eignung einer Maschine für einen bestimmten Einsatz sind Steigfähigkeit, Reichweite, Hubmoment sowie Fäll- und Aufarbeitungsdurchmesser von Bedeutung. Für die Beeinträchtigung des Bodens hingegen sind Breite, Gewicht und Art des Fahrwerkes bestimmend. Geringes Gewicht, auf möglichst große Kontaktfläche verteilt, wäre für den Boden ideal. Für hohe Leistung und Reichweite braucht die Maschine aber ein Gewicht, um das entstehende Hubmoment bei der Bearbeitung eines schweren Baumes ausgleichen zu können. Durch die Gewichtsverlagerung beim Heben beträgt der Druck auf einer Seite der Maschine oft das Mehrfache des Maschinengewichtes.

Die Übertragung dieses Druckes auf den Boden erfolgt über Räder bzw. Kettenlaufwerke. Je größer die Kontaktfläche, desto geringer der Druck/cm². Die Druckspitze in der Mitte der Kontaktfläche nimmt hingegen mit dem Reifeninnendruck und der Auflast zu (Jacke, Ebel, 2006).

Wie kann man Bodenverdichtung vermeiden?

Anlässlich eines Workshops des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) zum Thema Bodenschutz wurde

festgehalten:

- Der Einsatz von Rad- und Raupenmaschinen ist wirtschaftlich notwendig – Bodenbelastungen durch Forstmaschinen sind daher unvermeidbar.
- Flächiges Befahren ist eine potenzielle Gefahr für die nachhaltige Gewährleistung der Waldfunktionen – auch und vor allem der Ertragsfunktion.
- Befahrung muss daher strikt auf Feinerschließungslinien beschränkt bleiben – auch bei Kahlschlag oder Windwurfaufarbeitung.
- Feuchtstandorte, zur Verdichtung neigende Böden und steilere Lagen (Gefahr des Bodenabtrages) sollten mit Seilgeräten bodenschonend beerntet werden.

Feinerschließung

Die vordringlichste Maßnahme zum Bodenschutz ist die Festlegung der Befahrung auf Rückelinien.

Für die vollmechanisierte Holzernte werden Fahrgassen im Abstand von 20 m mit einer Gassenbreite von 4 m empfohlen. Größere Gassenabstände machen die Holzernte teurer und steigern durch das erforderliche Vorrücken das Risiko der Bestandsschäden. 4 m-Gassen im Abstand von 20 m bedeuten einen Flächeneinsatz von 20 %. Bei kon-

sequenter Einhaltung der Gassen – auch bei Windwurfaufarbeitung und Kahlhieb – bleiben auf diese Weise aber 80 % der Fläche frei von jeglicher Bodenverdichtung. Zudem wird ein Teil der Gassen von den Randbäumen auch noch als Wurzel- und Kronenraum genutzt. Die Befahrbarkeit der Gassen muss aufrecht erhalten werden, um zusätzliche Flächenverluste (durch Ausweichen) zu vermeiden.

kundliche Ansprachen vor Ort, wie zum Beispiel die Bestimmung der Bodenart („Fingerprobe“), der Gründigkeit und des Skelettanteils sind wichtige Planungsgrundlagen. Der Oberboden kann mit Hilfe eines Spatens („Spatenprobe“) relativ einfach beurteilt werden. Auch Hanganschnitte bei Forststraßen oder Zeigerpflanzen (Verdichtungszeiger) geben oft gute Einblicke in die Bodenverhältnisse.

Generell sinkt mit zunehmender Bodenfeuchtigkeit und abnehmendem Grobskelettanteil die Haltekraft des Bodens. Die Differenz zwischen Antriebskraft und Haltevermögen des Bodens erzeugt den Schlupf der Antriebsräder oder Raupen beim Vortrieb. Je größer der Schlupf, desto deutlicher graben sich die Räder in den Oberboden. Damit beginnt die Gleisbildung und in der Folge kann die Gasse unbefahrbar werden.

Zur Vermeidung solcher Gleisbildung empfiehlt die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) unmittelbar vor dem Befahren einen einfachen Test durchzuführen, indem ein aus dem zu befahrenden Bodenmaterial geformtes Kügelchen mit mäßigem Schwung an eine glatte Oberfläche geworfen wird. Das Erscheinungsbild des Kügelchens nach dem Wurf gibt einen Hinweis auf die Befahrbarkeit des Bodens.

Wo liegt die Grenze der Hangneigung für die Befahrbarkeit?

Grundsätzlich begrenzt der Schlupf der Antriebsräder die Befahrbarkeit. HITTENBECK (2010) definierte für eine Untersuchung mit Radmaschinen die ökologische Grenze der Befahrbarkeit bei maximal 25 % Schlupf. Radmaschinen ohne Traktionshilfe (Bänder, Ketten) erreichten diesen Wert bei mittleren Bodenverhältnissen bei 25 bis 35 % Hangneigung (Streuung 17 bis 46 %). Mit Bändern oder Ketten konnten bei mittleren Bodenverhältnissen Hangneigungen von 40 bis 50 % (Streuung 31 bis 60 %) mit vertretbarem Schlupf bewältigt werden.

Merkblatt zur Beurteilung des Bodens:

www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-22-bodenschutz.pdf

Nützliche Reisigauflage

Eine Reisigauflage in der Rückegasse verringert zwar nur gering die Druckbelastung, kann aber einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Befahrbarkeit der Rückegassen leisten und Wurzelverletzungen sowie unschöne Bodenverwundungen verhindern.

Traktionshilfen richtig einsetzen

Die Verwendung von Traktionshilfen bei ungünstigen Gelände- oder Wetterbedingungen führt oft zu schweren Bodenschäden. Davon sind auch Bogiebänder nicht auszunehmen, die nur bei guter Bodentragfähigkeit die ihnen nachgesagte positive Wirkung durch Vergrößerung der Auflagefläche entfalten können.

Kenntnis der Waldstandorte

Sensible Standorte, auf die bei der Planung der Holzernte besonderes zu achten ist, können aus der Standortskarte abgelesen werden. Auch einfache boden-

▼
Typische Gleisbildung bei zu geringer Tragfähigkeit des Bodens



Durch den Einsatz von Traktionswinden werden Maschinen zunehmend auch in „nicht befahrbaren“ Hängen eingesetzt. In der Praxis wird dabei leider sehr häufig die Grundregel missachtet, dass das Fahrzeug auch ohne Traktionswinde noch sicher manövrierbar sein muss. Die Grenzen für die Manövrierfähigkeit von Forwardern mit Traktionsbändern gibt HITTENBECK (2010) für die sehr seltene Situation mit trockenen, skelettreichen Böden bei etwa 79 % an. Dieser Wert sinkt aber mit steigender Bodenfeuchtigkeit und sinkendem Skelettanteil sehr schnell auf realistische Werte deutlich unter 60 %.

Zusammenfassung

Zunehmendes Maschinengewicht führt trotz technischer Vorkehrungen wie Breitreifen, Bogiebänder etc. zu großen Druckbelastungen für den Waldboden und damit zu irreversiblen Verdichtungsschäden. Zuwachsverluste und nachhaltige Schäden am Wald können die Folge sein.

Die einzige Möglichkeit, diese zu vermeiden, liegt in der Konzentration der Fahrbewegungen auf festgelegte Fahrlinien. Da die Verdichtung über Baum-

Dies entspricht der in der Literatur üblichen Unterscheidung von drei Hangneigungsklassen nach ihrer Befahrbarkeit:

Hangneigung <30 %	befahrbar	(ÖWI 1.362.000 ha, 40%)
Hangneigung 30–60%	eingeschränkt befahrbar	(ÖWI 1.276.000 ha, 38%)
Hangneigung >60 %	nicht befahrbar	(ÖWI 729.000 ha, 22%)

generationen wirkt, dürfen zur Vermeidung von Produktionsflächenverlusten einmal angelegte Fahrlinien nicht mehr verlassen werden.

Technische Vorkehrungen, wie Reisigauflagen können zur Erhaltung der Befahrbarkeit der Gassen beitragen, nicht jedoch Bodenverdichtungsschäden verhindern. Im steilen Gelände hat Sicherheit Vorrang. Harvester und Forwarder mit Traktionswinden müssen bei Seilriss sicher manövrierbar bleiben. Bei Anwendung des Baumverfahrens sollten der Bodenzustand und die Nährstoffversorgung des Standortes berücksichtigt werden. Im Zweifel wird eine Teilentastung bzw. das Abzopfen der Bäume empfohlen. Dabei spielen lokale standortkundliche Kenntnisse eine entscheidende Rolle bei der Planung der Holzernte.



Dipl.-Ing. Nikolaus Nemerstoth, Fachbereich Forsttechnik, Forstliche Ausbildungsstätte Ort des BFW, Johann Orth-Allee 16, 4810 Gmunden, nikolaus.nemerstoth@bfw.gv.at

Literatur

Borchert, H.; Blaschke, M.; Metan, M. (2008): Wurzelverletzungen unter Raupe und Rad, LWF aktuell 67/2008

Borchert, H.; Metan, M. (2008): Kein Luftdruck für alle Fälle, LWF aktuell 67/2008

Ebel, A. (2006): Druckverteilung auf Kontaktflächen unter Forstreifen, Dissertationsschrift an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg August-Universität Göttingen

Erler, J.; Güldner, O. (2002): Technologisch differenzierte Standorte - der Weg zu einem Vertragsbodenschutz?, AFZ-DerWald 2002

Froehlich, H.A. (1978): Soil compaction from low ground-pressure, torsion-suspension logging vehicles on three forest soils. Res.Pap. 36, For.Res.Lab. Oregon State University, Corvallis, 13 p.

Froehlich, H.A. (1979): Soil compaction from logging equipment: Effects on growth of young ponderosa Pine, Journal of Soil and Water Conservation, Vol 34, Number 6

Hittenbeck, J. (2010): Inclination Limits for high mechanized Harvesting, Department of Forest Work Science and Engineering (ifa) - Georg August University, Göttingen

Jacke, H. (2008): Radlos – wie viel Druck vertragen Mensch und Boden?, Forst & Technik 11/2008

Jacke, H.; Ebel, A. (2006): PrAllCon: Neues über Reifen im Forst, Teil 1 bis 3, Forst & Technik 1/2/3/2006

Jacke, H.; Sengpiel, A.; Brokmeier, H. (2008): Zur Druckverteilung unter Reisigmatten, Forst & Technik 10/2008

Kremer, J.; Wolf, B.; Matthies, D.; Borchert, H. (2007): Bodenschutz beim Forstmaschineneinsatz, LWF-Merkblatt 22

Schack-Kirchner, H.; Hildebrand, E.E. (1994): Bodenschäden beim Harvester- und Forwardereinsatz, Forst & Technik 2/1994

Marganne M.A. (1997): Soil Compaction and Disturbance Following a Thinning of Second-Growth Douglas-fir with a Cut-to-Length and a Skyline System in the Oregon Cascades, Professional Paper submitted to the Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis

Schäffer, J. (2002): Befahren von Waldböden – ein Kavaliersdelikt? Der Waldwirt 29 (12), 21-23

Weise, G. (2008): Entwicklung und Einsatz von Forstreifen, LWF aktuell 67/2008

Weiterführende, teilweise zitierte Literatur:
www.waldwissen.net