

BODENSCHUTZ IM WALD



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IMPRESSUM

Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

OT Gülzow, Hofplatz 1

18276 Gülzow-Prüzen

Tel.: 03843/6930-0

Fax: 03843/6930-102

info@fnr.de

www.fnr.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und
Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Text

Dr. Herbert Borchert, PD Dr. Joachim Brunotte, Dr. Corinna Ebeling, Prof. Dr. Jörn Erler,
Bernd Flechsig, Prof. Dr. Thorsten Gaertig, Martin Grüll, Dr. Jörg Hittenbeck, Friedbert Ritter,
Lennart Rolfes, Karsten Rose, Dr. Udo Hans Sauter, PD Dr. Helmer Schack-Kirchner,
Dr. Thomas Schmidt-Langenhorst, Prof. Dr. Jürgen Schäffer, Thilo Wagner, Thomas Wehner,
Jürgen Weis, Dr. Günther Weise, Werner Wernecke, PD Dr. Klaus v. Wilpert

Redaktion

Rainer Schretzmann (BZL), Prof. Dr. Ute Seeling (bis 31.8.2020 KWF, seitdem BFH-HAFL)
und Dr. Andreas Forbrig (KWF)

Bilder

Titel: Carola Vahldiek/Adobe.Stock

Seite 8, 25, 78: PRILL Mediendesign/Adobe.Stock; Seite 48, 60: zlikovec/Adobe.Stock

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Druck

www.mkl-druck.de, Ostbevern

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 1.118

Erstausgabe

FNR 2021

BODENSCHUTZ IM WALD



GRUSSWORT

Sehr geehrte Damen und Herren, Waldböden sind das „Fundament“ unserer Wälder. Ein gesunder, intensiv durchwurzelter Waldboden bildet die Grundlage für alles ober- und unterirdische Leben im Wald und ist damit essenziell für die Bereitstellung des nachwachsenden Rohstoffes Holz. Waldböden erfüllen zahlreiche ökologische Funktionen. Durch ihre Filter- und Pufferwirkung sorgen sie für eine hohe Wasserqualität und ein effizientes Hochwasserrückhaltevermögen in bewaldeten Einzugsgebieten. Der natürliche Aufbau des Waldbodens bietet einen optimalen Lebensraum für viele Bodenorganismen, die eine komplex vernetzte Lebensgemeinschaft mit unseren Bäumen bilden und so zur Biodiversität in unseren Wäldern beitragen.

Waldböden leisten einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Über zwei Milliarden Tonnen Kohlenstoff sind in den deutschen Wäldern gespeichert, mehr als die Hälfte davon im Waldboden.

Der Boden ist eine nicht erneuerbare Ressource, seine Neubildung und Regenerierung verlaufen äußerst langsam. Ohne einen gesunden Waldboden gibt es auch keinen gesunden Wald. Die nachhaltige Nutzung des Rohstoffes Holz ist aus wirt-

schaftlichen Gründen allerdings mit dem Einsatz von Arbeitsverfahren verbunden, die den Boden schädigen können. Bei der Waldbewirtschaftung kommt es daher darauf an, den Waldboden zu schonen und damit seine Funktionen zu erhalten.

Es freut mich sehr, Ihnen die vorliegende Broschüre präsentieren zu dürfen, die in kompakter Form die wichtigsten Funktionen des Waldbodens vorstellt und auf die Risiken eingeht, die mit der Waldbewirtschaftung zusammenhängen. Handlungsempfehlungen zur Schadensprävention und zur Regeneration geschädigter Waldböden bilden einen Schwerpunkt der Broschüre.

Die Broschüre ist ein Gemeinschaftswerk. Ein besonderer Dank gilt daher Herrn Rainer Schretzmann vom Bundesinformationszentrum Landwirtschaft in der BLE (BZL) für die Koordinierung sowie Frau Prof. Dr. Ute Seeling und Herrn Dr. Andreas Forbrig vom Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF) für die inhaltliche Bearbeitung.

Dr.-Ing. Andreas Schütte
Geschäftsführer Fachagentur
Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

VORWORT

Vorwort der Redaktion

Zentraler Grundsatz der deutschen Forstwirtschaft ist die nachhaltige Nutzung des Waldes. Dazu gehört nicht nur der besonnene Umgang mit den aufstockenden Waldbeständen und den Schutzgütern des Natur- und Umweltschutzes, sondern auch der umsichtige Umgang mit dem Waldboden. Anders als die Waldbestände ist der Waldboden unauffällig unter einer Lage von Streu verborgen. Wir stehen und bewegen uns auf ihm, verkennen aber leicht seine Dimension und Bedeutung. Dabei ist der Waldboden ein entscheidender und nicht ersetzbarer Produktionsfaktor für den nachwachsenden Rohstoff Holz. Er ist auch weit mehr als nur Wurzelraum für Bäume: Er bietet Lebensraum für Tiere, Pilze und Mikroben, er ist Speicher und Lieferant von Wasser und Nährstoffen und ein klimarelevanter CO₂-Speicher. Der Waldboden ist ein komplexes System, in dem vielfältige biologische, chemische und physikalische Prozesse wie bei einem großen Organismus ineinandergreifen.

Die Bäume sind Teil dieser Prozesse: Mit ihren Wurzeln durchdringen sie den Boden und spüren Wasser und Nährstoffen nach. Aktiv bringen sie Kohlenhydrate in den Wurzelraum ein und versorgen damit ihre Symbiosepartner an den Wurzelspitzen. Sie bieten dem Boden Schutz vor Austrocknung, Erosion und Sonneneinstrahlung. Selbst die abgestorbenen Wurzeln bieten Struktur, Lebensraum und Nahrung für Bodenorganismen. So sind die Waldbäume maßgeblich

an den Stoffkreisläufen und an der Entwicklung des Waldbodens beteiligt.

Der Wald und seine zahlreichen Leistungen hängen direkt oder indirekt vom Zustand des Waldbodens ab. Die Entwicklung von Boden ist ein sehr langsamer Prozess: Es braucht mindestens 100 Jahre, um einen Zentimeter Boden zu bilden. Störungen und Beeinträchtigungen wirken lange nach. Der Waldboden „vergisst“ nichts. Jahrhunderte intensiver Streunutzung, Eingriffe in den Bodenwasserhaushalt, Säure-, Schwefel- und Stickstoffeinträge sowie Blei und organische Verbindungen aus Luftverunreinigungen und auch der radioaktive Fallout der Nuklearkatastrophe von Tschernobyl sind an den Bodenprofilen bzw. der Bodenchemie auch noch nach vielen Jahrzehnten abzulesen.

Die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist daher ein zentrales Element der forstlichen Nachhaltigkeit und einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft.

Neue Entwicklungen – neue Herausforderungen

Lange Jahre waren Bodenschäden durch Befahrung im Wald kaum ein Thema. 1955 wurden erst ca. 50 % des Holzeinschlags mit Schleppern gerückt, meist waren es leichte landwirtschaftliche Schlepper mit Schmalspurreifen. 1985 wurden nahezu 100 % des Holzes durch Schlepper gebracht, und die Richtung hieß: immer leistungsfähiger, geländegängiger und schwerer. Fortschritte

der Maschinentechnologie führten dazu, dass man Forstmaschinen nun auch auf solchen Standorten einsetzen konnte, die bislang als unbefahrbar galten¹.

Seitdem hat die Bodenbelastung durch Forstmaschinen in unseren Waldbeständen deutlich zugenommen. Dabei steigen nicht nur die Zahl der Forstmaschinen und der Anteil der unter Maschineneinsatz geernteten Holzmengen, sondern insbesondere auch die Leistungsfähigkeit und Gewichte dieser Maschinen. Damit werden auch erhebliche dynamische Kräfte in den Boden eingebracht. Inzwischen ist bekannt, dass der Einsatz von schweren Forstmaschinen auf dem ungeschützten Waldboden schon bei der ersten Überfahrt zu gravierenden Veränderungen im Oberboden führen kann. Diese Veränderungen sind teilweise verbunden mit einer langfristigen Beeinträchtigung der Bodenfunktionen.

Vier Stellschrauben bodenschonender Waldbewirtschaftung

Die im Auftrag der Forstchefkonferenz (FCK) eingerichtete Arbeitsgruppe Boden beim KWF erarbeitete Anfang 2010 einen internen Abschlussbericht. Er enthält die entscheidenden vier „Stellschrauben“ als Maßnahmen für eine bodenschonende Bewirtschaftung unserer Wälder, deren Reihenfolge gleichzeitig auch deren Priorität kennzeichnet:

- Maßnahmen für eine dauerhafte Feiner-schließung
- Technisch-biologische Maßnahmen zur Wiederherstellung der Rückegassen
- Organisatorische Maßnahmen (Ablauf- und Aufbauorganisation) zur Senkung der Beanspruchung und Belastung der Rückegassen
- Maschinentechnische Maßnahmen zur Senkung der Beanspruchung und Belastung der Rückegassen

Inzwischen haben auf dieser Grundlage Forstwirtschaft und Forsttechnik Strategien und technische Lösungen zur Bodenschonung entwickelt. Maßnahmen wie Konzentration der Befahrung auf Rückegassen und Maschinenwege, die Verwendung breiterer Reifen, Luftdruckabsenkungen, Bogiebänder, Seilwinden- und Seilkrantechnik sind einige Beispiele, die Eingang in die Praxis gefunden haben.

Gleichzeitig aber haben die letzten Jahrzehnte für den Wald und die Forstbetriebe tiefgreifende Veränderungen in anderen Bereichen gebracht. Entwicklungen wie Personalabbau, Umorganisation und die Zielvorgabe einer „schwarzen Null“ bei großen Forstverwaltungen fallen zusammen mit dem Übergang zur naturnahen Waldwirtschaft, großen Sturmwürfen, massiven Borkenkäferkalamitäten und tiefgreifenden Strukturänderungen in der Holzwirtschaft.

¹ LWF aktuell 39, 2003, S. 33–36, online auf: <http://www.waldwissen.net>

Dazu kommen neue Herausforderungen für die Holzernte: Ganzjährige Just-in-Time-Lieferverpflichtungen, klimatische Veränderungen mit z. B. einem deutlichen Rückgang der Wintertage mit Bodenfrost und mitunter auch eine fachliche und räumliche Entkopplung der Verantwortlichkeiten für Waldbau und Holzernte.

Diese Entwicklungen hatten und haben auch für die Waldböden unmittelbare Bedeutung: Wesentliche Rahmenbedingungen für den Forstbetrieb und besonders für die Holzernte und Holzbereitstellung haben sich grundlegend verändert. Die Kombination dieser Entwicklungen stellt den Bodenschutz im forstlichen Betriebsalltag vor große Herausforderungen.

Die vorliegende Broschüre fasst auf der Grundlage des KWF-Abschlussberichtes die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse mit hilfreichen Hinweisen und Empfehlungen im Sinne einer guten fachlichen Praxis des Bodenschutzes bei der Holzernte zusammen.

Der Waldboden ist die Basis für eine nachhaltige Forstwirtschaft. Es ist daher im Interesse aller Waldbesitzer, aller im Wald arbeitenden Menschen und auch der Allgemeinheit, den Waldboden gesund zu erhalten und ihn vor Beeinträchtigungen zu schützen. An sie alle richtet sich diese Broschüre.

Rainer Schretzmann
Bundesinformationszentrum
Landwirtschaft in der Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Prof. Dr. Ute Seeling
(bis 31.8.2020 Direktorin des KWF,
seitdem Direktorin der BFH-HAFL)
Dr. Andreas Forbrig
Kuratorium für Waldarbeit und
Forsttechnik e. V. (KWF)

INHALT

TEIL I GRUNDLAGEN

1	Gesetzliche Grundlagen	9
2	Natürliche Funktionen und Aufgaben des Waldbodens für Baumwachstum und Wasserhaushalt	10
3	Einflüsse auf Waldböden durch Umwelteinwirkung und Bewirtschaftung	14
3.1	Bodenversauerung und Kompensationskalkung	14
3.2	Nährstoffentzug infolge von Kronen-/Reisig-/Vollbaumnutzung	15
3.3	Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald	17
4	Bodenschäden durch Befahrung – Auswirkungen auf Wurzelentwicklung und Baumwachstum	19

TEIL II KONZEPT UND UMSETZUNG EINER BODENSCHONENDEN HOLZNUTZUNG

5	Übersicht über Einflussfaktoren und Strategien	26
6	Regeneration von Waldböden – Sanierung von Bodenschäden, die durch Befahrung entstanden sind	29
6.1	Was ist Bodenregeneration?	29
6.2	Regeneration von Strukturstörungen	29
6.3	Optionen zur Regeneration von entstandenen Bodenschäden	30
6.4	Technische Sanierung von Schäden	33
7	Vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Begrenzung von Bodenschäden auf Rückegassen	36
7.0	Einleitung	36
7.1	Maschinentechnische Maßnahmen zur Senkung der Beanspruchung und Belastung der Rückegassen	37
7.2	Vermeidung von erosionsauslösender Abflussbildung auf Rückegassen	42
7.3	Gassenschonungsgebot – Schadensvermeidung im praktischen Betrieb	44

8	Betriebliche Planung als Grundlage der Befahrungsbegrenzung	50
8.1	Maßnahmen für eine dauerhafte Feinerschließung	50
8.2	Organisatorische Maßnahmen zur Senkung der Beanspruchung und Belastung der Feinerschließung	56
8.3	Holzerntesysteme und Bodenpfleglichkeit – Welches Verfahren für welchen Standort und welche Bedingungen?	63
9	Quantifizierung von Befahrungswirkungen und Konsequenzen für die betriebliche Umsetzung – ein Ausblick	73

TEIL III ANLAGEN

10	Prüfschema „optimale“ Holzernte	79
11	Glossar	83
	Glossar bodenschutzrelevanter, forsttechnischer Fachbegriffe	83



TEIL I



GRUNDLAGEN

1 GESETZLICHE GRUNDLAGEN

Auf nationaler Ebene ist der Bodenschutz geregelt im Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG, 1998) und der Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999). Zusammen mit den Bodenschutzgesetzen der Länder bildet es den Kern des deutschen Bodenschutzrechts. Die in § 3 BBodSchG (Anwendungsbereich) gelisteten Rechtsbereiche haben dabei Vorrang vor den Regelungen des BBodSchG.

Das BBodSchG wird ergänzt, erweitert und flankiert durch weitere Bestimmungen

- a. in anderen Fachgesetzen, z. B.
 - Landeswaldgesetze,
 - Bundesnaturschutzgesetz,
 - Gesetz über die Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden (USchadG, 2007),
 - Wasserhaushaltsgesetz und Wassergesetze der Länder,
- b. des Strafgesetzbuches, z. B. § 324a (Bodenverunreinigung) und § 329 (Gefährdung schutzbedürftiger Gebiete).

Die Waldböden unterliegen dem Schutz des BBodSchG. Die Legaldefinition (§ 2) schließt Waldböden als „Träger“ folgender Bodenfunktionen ein:

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,

- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,
- Standort für die forstwirtschaftliche Nutzung.

Ziel des BBodSchG (§ 1) ist es, die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern, schädliche Bodenveränderungen abzuwehren (§ 4) und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen (§ 7). Für den Wald wird dabei auf die Waldgesetze verwiesen. Die im Bundeswaldgesetz (§ 1, § 11) benannten Anforderungen an die Bewirtschaftung des Waldes werden in den Landeswaldgesetzen konkretisiert.

Internationale Regelungen mit Bezug zum Bodenschutz finden sich u. a. in

- der World Soil Charta der FAO,
- der World Soils Policy des UN-Umweltprogramms,
- der Vereinbarungen zur Klimarahmenkonvention (UNFCCC),
- dem Kyoto-Protokoll bzw. Nachfolgeregelungen (Quellgruppe „Land-use, Land-use-change and Forestry“, Bereich Boden und Streu) im Sinne des § 9 BBodSchG (Gefährdungsabschätzung).

Relevant ist auch das internationale forstliche Umweltmonitoring im Rahmen der sog. Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE (CLRTAP) und dem entsprechenden waldspezifischen Programm (ICP Forests).

Die Formung und Weiterentwicklung des Bodens vollzieht sich langsam über Jahrzehnte bis über viele Baumgenerationen, jeder einzelne Baum ist aber zu jedem Zeitpunkt auf „seinen“ Boden angewiesen, damit er überleben und wachsen kann. Dieses Zusammenspiel ist in Abbildung 2.1 durch den Kreis aus Pfeilen symbolisiert.

Was der Baum von seinem Boden erwartet, kann man folgendermaßen umreißen:

- Auf der Liste der Wachstumsfaktoren ganz oben steht die Wasserversorgung, also der Wasserstrom vom Boden in die Blätter und Nadeln. An jedem Tag im Sommer werden in einem Hektar Waldbestand ungefähr 30.000 l Wasser abgesaugt und in der Krone verdunstet. Der Boden muss diesen Wasserstrom über seine Speicherefunktion auch über längere Zeiten ohne Regen sicherstellen können.
- Zusammen mit dem Wasser nimmt der Wald die lebensnotwendigen mineralischen Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium auf. Die Nährstoffe reichern sich zum Teil in den Bäumen an. Erkennbar werden sie als Ascherückstand bei der Verbrennung von Holz. Ein anderer, sehr großer Teil wird über die Blatt- und Nadelstreu dem Boden wieder zugeführt. Der Boden muss ausreichend Nährstoffe bereitstellen, speichern und an die Wurzeln abgeben. Dazu kommt die wichtige Recyclingfunktion, das ist die Überführung der in den Blatt- und Nadelresten überwiegend organisch gebundenen Nährstoffe in pflanzenverfügbare, einfachere chemische Formen. Dafür sorgen vor allem Mikroorganismen.
- Die „hervorstechendste“ Eigenheit der Bäume ist ihr Höhenwachstum, mit dem sie sich gegenüber anderen Pflanzen einen Lichtvorteil verschaffen. Zur Verankerung ist ein äußerst starkes Fundament nötig, bei großen Bäumen fast so massiv, wie es für ein Windrad nötig wäre. Der Boden spielt hierbei eine zentrale Rolle: Ist er zu hart oder fehlt es an Hohlräumen, können die Wurzeln nicht eindringen. Ist er zu weich, kann er die auf die Baumkrone einwirkenden großen Kräfte und die dadurch ausgelösten Hebelwirkungen nicht aufnehmen.
- Die Wurzeln, die Wasser und Nährstoffe aufnehmen und dem Baum den Halt geben, sind lebende Gewebe, mit einem eigenen Stoffwechsel und einer intensiven Atmung. Die Wurzeln als Hochleistungsorgane der Bäume brauchen daher ein gutes Umfeld. Hier ist in erster Linie die Bodenbelüftung zu nennen, die den Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxid mit der Außenatmosphäre sicherstellt. Und das funktioniert nur über ein intaktes System an miteinander vernetzten luftgefüllten Bodenporen – von der Bodenoberfläche bis in den Wurzelraum der Bäume.

Wie oben gesagt, sind es vor allem die Bäume selbst, die den Boden über sehr lange Zeiträume optimiert haben. Von diesen Böden profitieren aber nicht nur die Bäume, der Nutzen für den Menschen geht weit über die Produktivität der Wälder und die Forstwirtschaft hinaus. Dazu gehört die Verminderung von Treibhausgasen durch Speicherung von großen Mengen Kohlenstoff genauso wie die Aufnahme von Methan aus

der Atmosphäre. Und gerade auch im Wasserhaushalt übernehmen Waldböden wichtige Funktionen für unsere Umwelt:

- Die Waldböden können große Mengen Wasser aufnehmen, vor allem dann, wenn der Bodenspeicher durch die Bäume geleert wurde. Damit wirken sie als wichtige Puffer im Gebietswasserhaushalt und tragen zur Hochwasservermeidung bei.
- Die gute Strukturierung der Waldböden und die Streuauflage lassen auch Starkniederschläge in den Boden einsickern und verhindern die Entstehung von

schnellen Oberflächenabflüssen und damit auch die Bodenerosion.

- Selbst ein kleines Volumen eines intakten Waldbodens stellt eine riesige innere Oberfläche bereit, an der Schadstoffe zurückgehalten oder durch mikrobielle Prozesse abgebaut werden. Das Sickerwasser wird weitgehend entkeimt und bildet die für uns so wichtigen sauberen Trinkwasserressourcen. In Wäldern wird gegenüber anderen Landnutzungen das Trinkwasser mit der höchsten Qualität gewonnen.

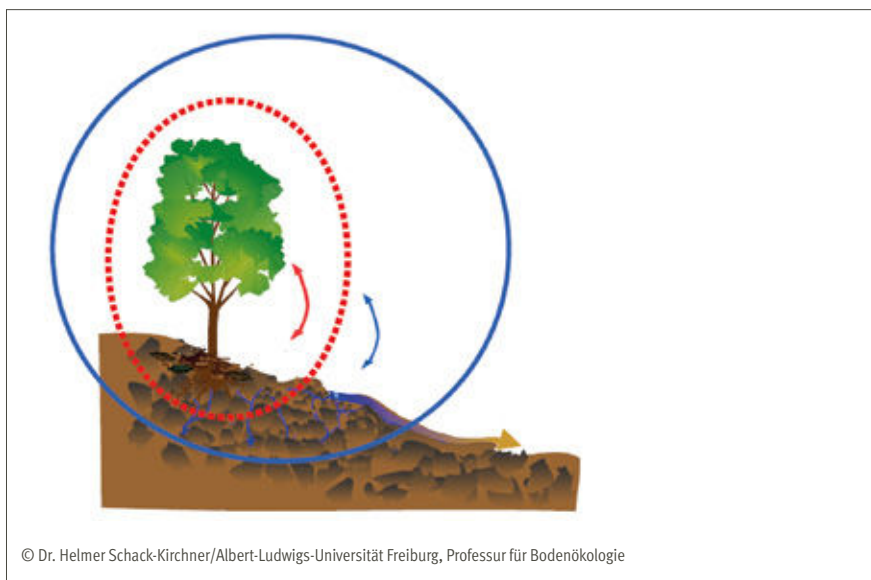


Abb. 2.2: Gegenseitige Rückwirkungen Baum – Boden
(rot: Nährstoffe blau: Wasser)



Abb. 2.3: Boden erfüllt eine Vielzahl von Aufgaben im Ökosystem Wald

Gefährdet sind diese Bodenfunktionen in unseren Waldböden zum einen durch veränderte Umweltbedingungen, wie z.B. die Einträge von Säuren und von Stickstoff. Abwehrmöglichkeiten für den Waldbesitzer sind hier meist begrenzt, eine Erhaltung der Bodenfunktionen kann in manchen Fällen durch eine angepasste Baumartenwahl oder durch die Zufuhr von Puffersubstanzen wie dolomitischem Kalk erreicht werden. Manche der Gefährdungen der Bodenfunk-

tionen gehen jedoch auch von der Forstwirtschaft selbst aus. Hier ist beispielsweise die Bodenverformung bei der mechanisierten Holzernte oder die Unterbrechung der Nährstoffkreisläufe durch überhöhte Biomassenutzung zu nennen. Hier erweisen sich die Standorte als unterschiedlich verletzlich (vulnerabel). Beim Bodenschutz im Wald sind somit Gesellschaft, Politik und Waldbesitzer gleichermaßen gefordert.

3 EINFLÜSSE AUF WALDBÖDEN DURCH UMWELTEINWIRKUNG UND BEWIRTSCHAFTUNG

PD Dr. Klaus v. Wilpert, PD Dr. Helmer Schack-Kirchner

Wälder sind naturnahe Ökosysteme und sollen durch Waldbewirtschaftung oder Umwelteinflüsse in ihrer natürlichen Ausstattung grundsätzlich nicht so verändert werden, dass die natürlichen Ökosystemleistungen wie die Filter- und Pufferfunktion für Wasser, die Ernährungsfunktion für Waldbäume und die Habitatfunktion für seltene naturnahe Lebensgemeinschaften über ihren natürlichen Schwankungsbereich hinaus verändert und langfristig geschädigt werden.

3.1 Bodenversauerung und Kompensationskalkung

Saurer Regen hat besonders im 20. Jahrhundert den Zustand der Waldböden nachhaltig verschlechtert. Er hat aus dem Boden sehr viele Nährstoffe ausgewaschen und ein für viele Bodenlebewesen zu saures Milieu geschaffen. Als Folge sind viele Waldböden in ihrer Funktion als Pflanzenstandort, Lebensraum und Filter für Trinkwasser gefährdet.

Hauptursache für die Schädigung von Wäldern und ihren Funktionen waren und sind Einträge von Säuren und Stickstoff mit dem Regen. Diese sind die Ursache einer Bodenversauerung, die in den vergangenen Jahr-

zehnten zu einer Erhöhung der Säurestärke in nicht kalkhaltigen Waldböden um den Faktor 100 bis 250 geführt hat. In extrem kurzer Zeit erfolgte in diesen Böden eine Versauerung bis in den pH-Bereich zwischen 3 und 4. Dies ist weit unterhalb der Grenze, die für die für Bodenstruktur und Bodenbelüftung so wichtigen tiefgrabenenden Regenwurmartens noch erträglich wäre. (siehe Abbildung 3.1)

Wenn in Waldböden der Optimalbereich des pH-Wertes z.B. durch Säureeinträge eindeutig verlassen wird, werden die oben dargestellten Bodenfunktionen drastisch eingeschränkt oder in den betroffenen Bodenpartien vollständig zerstört. Letztendlich bleibt ein Restboden übrig, der seine Filtereigenschaften und Pufferkapazitäten sowie die Eigenschaft als Lebensraum zum größten Teil eingebüßt hat.

Zum Schutz der Bodenqualität und zur Sicherung der Bodenfunktionen wurden deshalb in zahlreichen Bundesländern seit 1983 Kalkungen durchgeführt, um die aktuellen Säureeinträge zu neutralisieren.

Gleichzeitig konnten in den vergangenen Jahren die Säureeinträge auf einem Großteil der Landesfläche so weit verringert werden,

dass eine weitere Bodenversauerung nur noch sehr langsam verläuft. Damit wurde der Bodenzustand seit 1983 zwar nicht verbessert, aber immerhin wurden die Böden vor einer weiteren Zunahme der Bodenversauerung geschützt. Tatsächlich verbleibt jedoch in den Böden durch die Bodenversauerung eine über viele Jahrzehnte angehäuften „Säure-Altlast“, die die Waldökosysteme und ihre Funktionen nach wie vor beeinträchtigt. Es besteht also trotz der Verminderung der Säurefracht ein Sanierungsbedarf, um die natürlichen Funktionen der Waldböden wiederherzustellen.

Hauptziel der Kalkung ist die Wiederherstellung der natürlichen, vorindustriellen Nährstoffausstattung.

Zur effizienten und dauerhaften Wiederherstellung grundlegender Bodenfunktionen ist ein zeitlich befristetes Kalkungskonzept erforderlich. Mit ihm können nicht nur die immer noch anhaltenden Säureeinträge neutralisiert, sondern auch die im Boden gespeicherten und schädlichen Säuremengen langfristig abgebaut werden.

Das Regenerationskonzept muss sich natürlich streng am standortsspezifischen Basendefizit orientieren. Der kleinflächig differenzierte Kalkungsbedarf lässt sich auf der Basis von bodenchemischen Daten abschätzen. Von besonderer Bedeutung ist dabei das pflanzenverfügbare Aluminium im Unterboden. Es ist überwiegend durch menschliche Einflüsse entstanden und kann zur Vergiftung und Schwächung der Pflanzen führen (v. Wilpert et al. 2013).

Bodenschutz und Naturschutz vertreten gleichermaßen berechnigte Vorsorgeaspekte. Mögliche Konflikte lassen sich dadurch vermeiden, dass kalkungsempfindliche Naturschutzflächen bei der Bodenschutzkalkung konsequent ausgespart werden.

3.2 Nährstoffentzug infolge von Kronen-/Reisig-/Vollbaumnutzung

In natürlichen, nicht genutzten Waldökosystemen zirkulieren Nährelemente nahezu verlustfrei, mit minimalen Umsatzraten. Die niedrigen Verluste werden durch die „nachschaffende Kraft des Bodens“ nahezu vollständig ersetzt.

Durch Versauerung und Eutrophierung der Waldböden in den vergangenen Jahrzehnten wurden lebensnotwendige Nährelemente in großem Umfang aus den Böden ausgewaschen. Holzernte und der Nährstoffexport mit der geernteten Biomasse können den Stoffhaushalt von Waldökosystemen zusätzlich belasten.

Deutlich wird dies bei der Erstellung von Nährstoffbilanzen. Für Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und andere Bundesländer wurden derartige Nährstoffbilanzen anhand der Daten der Umweltmessnetze und der Bundeswaldinventur erstellt. Dazu wurden die Gewinne (Einträge mit Deposition und Mineralverwitterung) den Verlusten (Stoffausträge mit dem Sickerwasser und der Holzernte) gegenübergestellt.

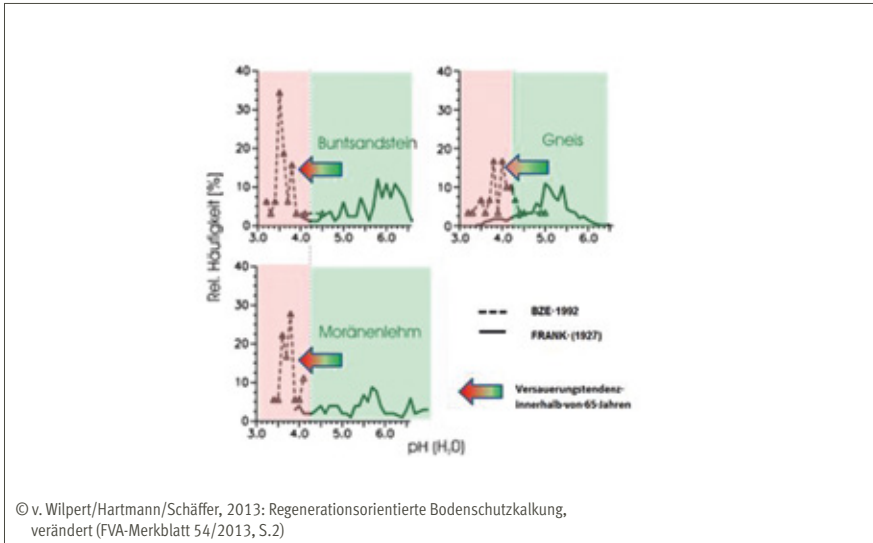


Abb. 3.1: Veränderung der Säurestärke von Waldböden (Oberboden) verschiedener Ausgangsgesteine innerhalb von 65 Jahren (von Wilpert et al. 2013, verändert); rot eingefärbt ist der pH-Bereich, in dem die für Bodenstruktur und Bodenfunktionen essentiellen Regenwurmartens kaum oder nicht mehr lebensfähig sind.

pH 6,0 = schwach sauer, pH 3,0 = stark sauer (1.000fache Säurefracht gegenüber pH 6,0)

Als Ergebnis lassen sich für die Nährstoffversorgung der Waldbäume folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Durch die „Versauerungsaltslast“ sind die Böden so verarmt, dass auf manchen Waldflächen selbst ohne Holznutzung die Nährstoffbilanzen nicht mehr ausgeglichen sind (hervorgerufen besonders durch verstärkte Lösung und Auswaschung mit dem Niederschlagswasser).
- Nutzungsverzichte als alleiniger Ausgleich von Nährelementdefiziten wären hier unverträglich hoch; die Versauerung der Waldböden würde aber selbst dann über Jahrhunderte weiter wirken.
- Kritisch ist auf vielen Standorten die Verfügbarkeit von Kalium und auch von Phosphor. Diese beiden Elemente sind in ihrer Mobilität im Boden stark eingeschränkt, da sie stark fixiert werden.
- Nährelementrückführung (zum Beispiel – soweit zulässig – mit Holzasche) ist ergänzend zur regenerationsorientierten Bodenschutzkalkung notwendig, wenn die aktuelle Nutzungsintensität erhalten bleiben soll.
- Dazu reicht aber in vielen Fällen eine einmalige Ausbringung von 4 t/ha Kalk/Holzasche je Umtriebszeit aus, um nutzungsbedingte Nährelementverluste aus-

zugleichen. Die Intensität dieser Maßnahmen ist damit sehr niedrig.

- Vor allem auf ärmeren Standorten muss zur Sicherung der Nährstoffvorräte das Nichtderbholz bei Holzerntemaßnahmen im Bestand belassen werden.

3.3 Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald

Böden sind räumlich hochdifferenzierte Naturgebilde, die aufgrund ihrer Struktur vielfältige, auch sich entgegenstehende Funktionen wie z.B. Luft-, Wasserversorgung gleichzeitig auf kleinstem Raum erfüllen können. Dies gilt besonders im Wald, da sich dort die Böden und ihre Struktur über lange Zeiträume ohne ständige Bodenbearbeitung entwickeln können. Dennoch ist die Funktionalität von Böden auch im Wald durch die Einflüsse von Stickstoffübersätti-

gung und Bodenversauerung beeinträchtigt. Anfang der 1990er Jahre wurde die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) konzipiert, um diese Störungen zu erfassen. Bei der ersten Wiederholung (BZE 2) nach 15 Jahren wurde die Fragestellung der BZE deutlich ausgeweitet, unter anderem zur Erfolgskontrolle der Bodenschutzkalkung oder zur Bewertung der Nährstoffnachhaltigkeit von Holzerntemaßnahmen. Außerdem wurde in der „Testregion“ Baden-Württemberg die Flächenbedeutung von Bodenstrukturstörungen durch Befahrung mit Maschinen untersucht.

So ist die BZE zu einem unverzichtbaren Steuerungsinstrument zum Erhalt und zur Wiederherstellung der natürlichen Bodenvielfalt geworden: eine wesentliche Voraussetzung für den nachhaltigen Erhalt einer standortsangepassten Biodiversität.



Abb. 3.2: Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) ergab wichtige Hinweise zum Zustand und zur Entwicklung der Waldböden.

Die wichtigsten Ergebnisse der BZE 2 sind (Wellbrock et al., 2016):

- Die Geschwindigkeit der Bodenversauerung hat sich verlangsamt.
- Auf natürlicherweise besser basenversorgten Standorten schreitet sie aber weiter fort.
- Die Bodenschutzkalkung hat die Basenausstattung der Oberböden nachweisbar erhöht und die Nährstoffversorgung der Bäume stabilisiert.
- Die Stickstoffsättigung der Waldböden ist noch hoch, hat aber zwischen BZE 1 und 2 abgenommen.
- Kohlenstoffvorräte: Für das Gesamtprofil wurde eine jährliche Zunahme der Kohlenstoffvorräte von 0,75 t je Hektar von BZE 1 zu BZE 2 beobachtet. Positive Änderungsraten fanden sich besonders im Auflagehumus und im Oberboden. Insbesondere im Norddeutschen Tiefland lagen hohe Kohlenstoff-Zunahmen vor. Die C-Speicherung im Auflagehumus ist für Nadelbaumarten höher als für Laubbaumarten.
- Mit der Kalkung erhöht sich der im Mineralboden gespeicherte Kohlenstoff, während der Auflagehumus Kohlenstoff verliert. Bezogen auf das Gesamtprofil führt die Kalkung zu einer stärkeren Kohlenstoff-Zunahme als auf ungekalkten Standorten.

Literatur/Quellen:

- [1] Wilpert v., K.; Bösch, B.; Bastian, P.; Zirlewagen, D.; Hepperle, F.; Holzmann, S.; Puhlmann, H.; Schäffer, J.; Kändler, G.; Sauter, U.H. (2011): Biomasse-Aufkommensprognose und Kreislaufkonzept für den Einsatz von Holzaschen in der Bodenschutzkalkung in Oberschwaben. Freiburger Forstliche Forschung, Berichte, Heft 87.155 S.
- [2] Wilpert v., K.; Hartmann, P.; Schäffer, J. (2013): Regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung, FVA Merkblatt 54, 39 S.
- [3] Wellbrock, N.; Bolte, A.; Flessa, H. (Hrsg.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008, Thünen-Report 43

4 BODENSCHÄDEN DURCH BEFAHRUNG – AUSWIRKUNGEN AUF WURZELENTWICKLUNG UND BAUMWACHSTUM

Prof. Dr. Jürgen Schäffer, Prof. Dr. Thorsten Gaertig

Die natürliche, durch ein reich gegliedertes Porensystem charakterisierte Lagerung von Waldböden ist das Ergebnis eines kontinuierlichen, dynamischen und energieaufwändigen Prozesses. Auf der einen Seite entstehen Bodenporen durch biogene Aktivität und physikalische Kräfte. Auf der anderen Seite geht Porenraum durch die Eigen- und Auflast der Bodenbestandteile sowie durch die Energie des strömenden Sickerwassers verloren (Hildebrand 1987). Durch die natürlichen, vor Ort stattfindenden Prozesse entsteht ein Gleichgewichtszustand, der für den jeweiligen Standort typisch ist. Er stellt sich ein, wenn die Porenneubildungsrate und die Porenverlustrate gleich groß sind.

In Bezug auf die Bodenporen ist der Gleichgewichtszustand des Bodens charakterisiert durch

- die Anzahl der Poren
- den Anteil der kleinen, mittleren und großen Poren
- die Verbindung zwischen den Poren

Durch diese Merkmale werden der Bodenwasserhaushalt und der Bodenlufthaushalt maßgeblich bestimmt, was wiederum für das Baumwachstum von zentraler Bedeutung ist.

Durch das Befahren von Waldböden mit schweren Forstmaschinen wird dieser Gleichgewichtszustand massiv gestört.

Wie entstehen Befahrungsschäden?

Forstmaschinen sind darauf ausgelegt, schwere Lasten auf einem ungeschützten Waldboden zu bearbeiten und zu bewegen. Dabei wird oft die Eigenstabilität des Bodens überschritten und der Waldboden verformt.

Beim Befahren geht Porenraum durch die Verdichtung, das heißt durch den nach unten wirkenden Druck, verloren. Zusätzlich bewirken die parallel zur Bodenoberfläche wirkenden Scherkräfte der Räder und Ketten eine Verringerung der Wasser- und Luftdurchlässigkeit in den noch verbliebenen Poren (siehe Abbildung 4.1).



Abb. 4.1: Bei der Befahrung wirken vertikale und horizontale Kräfte auf den Boden. Die Bodenverformung führt zu einem Verlust an Porenraum und zusätzlich zu einer reduzierten Vernetzung der verbleibenden Poren.

Bei der Entstehung von Befahrungsschäden tritt die maximale Krafteinwirkung an der Bodenoberfläche ein. Da die Bodenoberfläche die Grenzschicht zwischen Atmosphäre und Bodenluft ist, kann der Gasaustausch nur hier erfolgen. Infolge der Störungen im Wasser- und Lufthaushalt des Bodens nimmt die Eignung des Bodens als Lebensraum für Bodenlebewesen sowie für Wurzeln drastisch ab. Dies hat negative Auswirkungen auf die Vitalität der Waldbäume (Gaertig et al. 2001).

Über diese bodenökologischen Störungen hinaus übersteigen die Spannungseinträge der Holzerntemaschinen die Eigenstabilität des Bodens häufig so stark, dass nicht nur das Baumwachstum beeinträchtigt wird. Durch vertiefte Fahrspuren und Gleisbildung geht auch die technische Befahrbarkeit verloren.

Für die Testregion Baden-Württemberg zeigt sich im Rahmen der BZE 2 (s. Kapitel 3)

befahrungsbedingte Störungen der Bodenstruktur auf nahezu 30 % der Waldflächen außerhalb von Fahrwegen und Rückegassen. Angesichts der Dauerhaftigkeit dieser Schäden ist dieser Befund alarmierend.

Bodenverformung und Wurzelentwicklung

Bereits in den 1980er Jahren wurden die Auswirkungen befahrungsbedingter Bodenstrukturveränderungen auf die Funktion des Waldbodens als Wurzelraum untersucht (Hildebrand 1987). In der Forstpraxis wurde damals ein Ausbleiben der Naturverjüngung auf produktiven Lehmstandorten beobachtet, die zuvor befahren worden waren. Topfversuche zeigten, dass Buchenkeimwurzeln bei Überschreitung kritischer Lagerungsdichten nicht mehr in den Boden eindringen konnten. Neben der wichtigen Bodenfunktion als Keimbett ist in verformten Böden zusätzlich die Wurzelraumschließung beeinträchtigt. Dies äußert sich in zweierlei Hinsicht: einerseits in einer Abnahme an neu gebildeter

Wurzelbiomasse und andererseits in einer Konzentration der für das Baumwachstum wichtigen Feinwurzeln in den besser belüfteten Porenbereichen.

Wenn die Luft zum Atmen fehlt ...

Vergleichbar dem Aufbau der menschlichen Lunge mit ihrem weit verzweigten Bronchialsystem stellen die entwässerten Poren die Belüftung des Bodensicher. Sie sind dadurch ein entscheidender Faktor für die Wurzelraumerschließung. Werden die Poren durch die Befahrung zerstört, können die Wurzeln den benötigten Sauerstoff nicht mehr aus der Atmosphäre beziehen. Eine Beeinträchtigung der Gasdurchlässigkeit an der Bodenoberfläche durch Befahrung hat zwangsläufig Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung des gesamten Wurzelraums: Auch die tieferen Bodenschichten werden aufgrund der Schleusenfunktion dieser Grenzschicht von der Sauerstoffversorgung „abgehängt“. Gleichzeitig reichert sich im Boden CO_2 an.

Dieser Zusammenhang konnte in einer Vielzahl von Untersuchungen bestätigt werden: War die Gasdurchlässigkeit nahe der Bodenoberfläche durch Befahrung eingeschränkt, so zeigte sich in Eichenbeständen eine Verringerung von Feinstwurzeldichten bis in Bodentiefen von 70 bis 80 cm (Gaertig et al. 2001). Umgekehrt nahm das Wachstum von Fichtenfeinwurzeln nach einer künstlichen Sauerstoffanreicherung im tieferen Mineralboden zu (Murach et al. 1993).

Einschränkungen in der Durchwurzelung zeigen sich nicht nur unter dem unmittelbar

verformten Boden in der Fahrspur: Abbildung 4.2 zeigt das Ergebnis einer Feinwurzelaufnahme über einer bestockungsfreien Fahrtrasse von 4 m Breite und 60 cm Tiefe. Die Aufnahme erfolgte sechs Jahre nach der Befahrung (Schäffer 2015). Wie zu erwarten, wurden die geringsten Feinwurzelichten und Durchwurzelungstiefen unter der Fahrspur nachgewiesen. Unter der Verformungszone setzte die Wurzelraumerschließung teilweise komplett aus. Eine eingeschränkte Durchwurzelung ist aber auch weit über den verformten Fahrspurbereich hinaus zu beobachten. Erst in einer horizontalen Entfernung von ca. 1 m zum Fahrspurrand erreicht die Durchwurzelung wieder eine dem unbefahrenen Boden vergleichbare Intensität und Tiefenerschließung.

Aufgrund dieser Beobachtung kann gefolgert werden, dass die gesamte Fahrtrasse im Hinblick auf die Wurzelraumerschließung eine Beeinträchtigung erfahren hat.

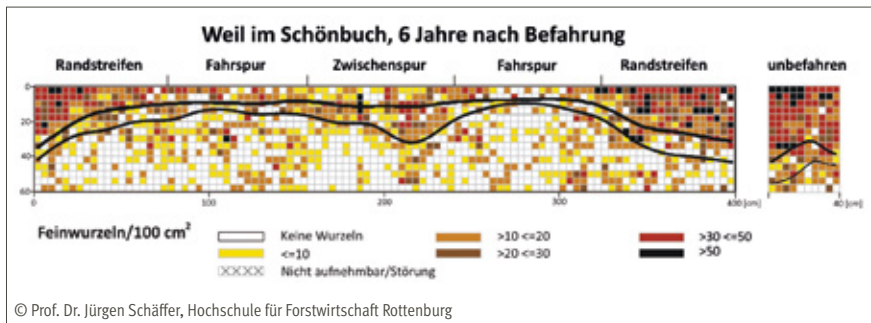


Abb. 4.2: Verteilungsmuster der Feinwurzel-dichten, aufgenommen an einer Fahrtrasse in Weil im Schönbuch (links). Rechts dargestellt ist die unbefahrene Kontrolle. Die obere Linie entspricht dem Grenzwert für eine intensive Feindurchwurzelung (20 Feinwurzeln pro 100 cm²), die feinere Linie einer extensiveren Durchwurzelung (10 Feinwurzeln pro 100 cm²).

Heute erfolgt die Befahrung überwiegend auf systematisch angelegten Rückegassen. Flächige Bodenstrukturen und eingeschränkte Durchwurzelung weisen häufig auf eine früher unregelmäßige Befahrung hin.

Untersuchungen in einem Eichenbestand in der Vorbergzone des Schwarzwalds zeigten, dass dort der Boden seine Funktion als Wurzelraum auf mehr als 25 % der Fläche nicht mehr erfüllte (Gaertig et al. 2000).

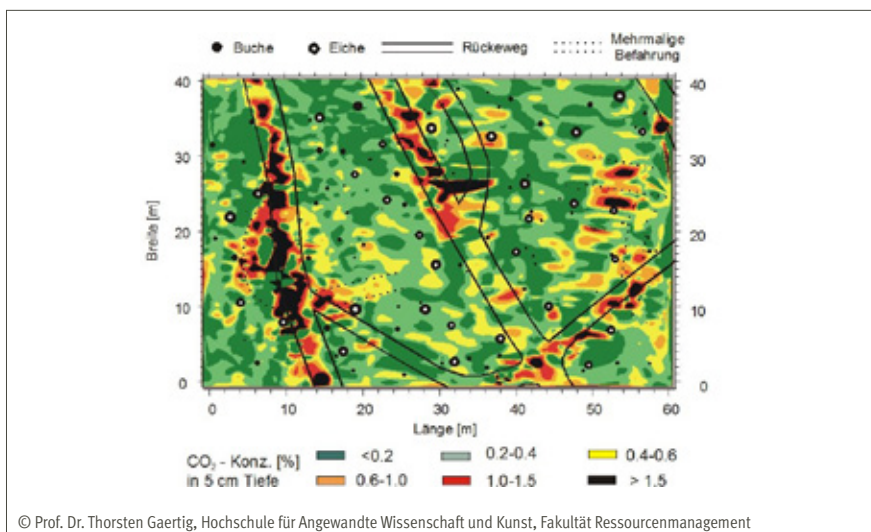


Abb. 4.3: Verteilung der CO₂-Konzentration in einem Eichenbestand

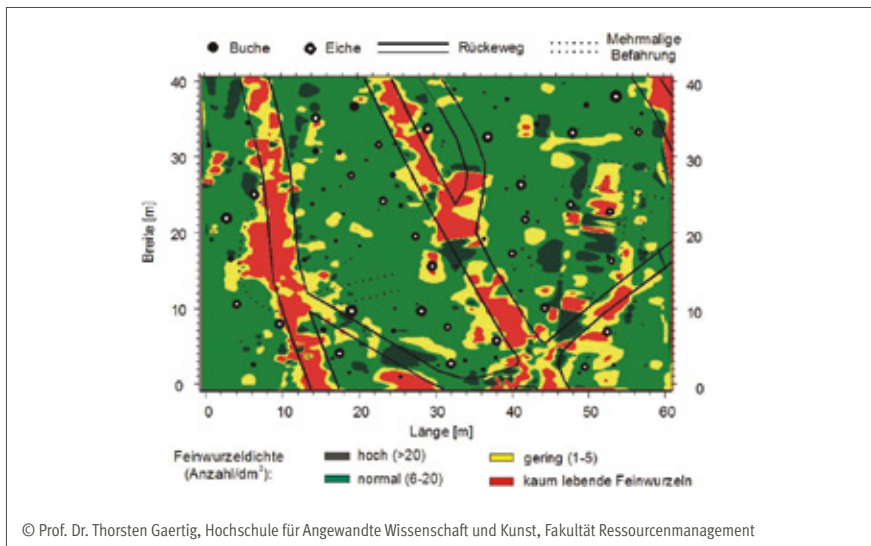


Abb. 4.4: Feinwurzeldichte im gleichen Eichenbestand. Der Einfluss der Verdichtung im Bereich des Rückeweges und abseits der Erschließungslinien ist deutlich erkennbar.

Bodenstrukturschäden und Baumwachstum

Die Auswirkungen von Bodenstrukturstörungen auf das Baumwachstum sind häufig nicht direkt erkennbar: Randbäume an Rückegassen haben die Möglichkeit, das Lichtraumprofil der Gasse als zusätzlichen Produktionsraum für ihre Photosynthese zu erschließen. Sie werden dadurch gegenüber Bäumen im Innern des Bestandes gefördert und wachsen tendenziell besser. Diese Förderung kann sich auf das Baumwachstum sogar stärker auswirken als die negativen Effekte, die durch die Bodenstrukturstörungen ausgelöst werden.

Dort, wo Solitärbäume verglichen werden können, zeigen sich allerdings eindeutige

Unterschiede: Untersuchungen von Stadtbäumen belegen, dass die Gasdurchlässigkeit von Böden ein zentraler Steuerfaktor für Wachstum und Vitalität von Bäumen ist. An 231 Beuys-Eichen in Kassel, die zwischen 1982 und 1987 auf 22 verschiedenen Standorten mit unterschiedlichem Versiegelungsgrad gepflanzt wurden, ließen sich die Wachstums- und Vitalitätsverluste quantifizieren: Während die Eichen auf den unversiegelten Standorten im Mittel 16 m hoch waren und Stammumfänge in 1 m Höhe von über 130 cm aufwiesen, waren die Bäume auf den vollversiegelten Standorten 3 m niedriger und hatten etwa ca. 25 cm geringere Stammumfänge (Gaertig & Schönemann 2015).



© Reiner Schretzmann

Abb. 4.4: Befahrungsbedingte Strukturstörungen des Bodens zeigen sich oft an einer veränderten Vegetation, hervorgerufen durch Änderungen des Wasserhaushalts und der Sauerstoffversorgung.

In jedem Fall führen befahrungsbedingte Bodenstrukturveränderungen zu einer Beeinträchtigung der Vitalität und Stabilität von Wäldern. Besonders bei Extremereignissen wie z. B. längeren Trocken- oder Nässephasen muss in Beständen mit eingeschränkter Wurzelraumschließung mit

einer erhöhten Schadensdisposition gerechnet werden. Höhere Ausfallraten und längere Phasen der Regeneration sind Folgen, die ursächlich aber oftmals nicht mehr mit dem länger zurückliegend eingetretenen Bodenschaden in Verbindung gebracht werden.

Literatur/Quellen:

- [4] Gaertig, T.; Puls, Ch; Schack-Kirchner, H.; Hildebrand, E. E. (2000): Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden. Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten. In: Allg. Forst- u.J.-Ztg. 171 (12), S. 227–234.
- [5] Gaertig, T.; Schack-Kirchner, H.; Hildebrand, E. E. (2001): Steuert Gasdurchlässigkeit im Boden Feinstwurzeldichte und Vitalität bei Eiche? In: AFZ-Der Wald 56 (25), S. 1344–1347.
- [6] Gaertig, T. und Schönemann, H.: (2015): Wachstum und Vitalität der „Beuys-Eichen“ in Kassel auf unterschiedlich versiegelten Standorten. In: DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2015. Haymarket Media, Braunschweig, 262–266.
- [7] Hildebrand, E. E. (1983): Der Einfluss der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort. In: Forstwissenschaftl. Cbl. 102 (2), S. 111–125.
- [8] Hildebrand, E. E. (1987): Die Struktur von Waldböden – ein gefährdetes Fließgleichgewicht. In: Allgemeine Forstzeitschrift (16/17), S. 424–426.
- [9] Murach, D.; Ilse, L.; Klaproth, F.; Parth, A.; Wiedemann, H. (1993): Rhizotron-Experimente zur Wurzelverteilung der Fichte (Forstarchiv).
- [10] Schäffer, J. (2005): Befahrung von Waldböden – Strategien zur Schadensminimierung. In: Bodenschutz 10 (4), S. 76–83.



TEIL II

KONZEPT UND UMSETZUNG EINER BODENSCHONENDEN HOLZNUTZUNG

5 ÜBERSICHT ÜBER EINFLUSSFAKTOREN UND STRATEGIEN

PD Dr. Joachim Brunotte, Lennart Rolfes

Moderne hochmechanisierte Waldbewirtschaftung beinhaltet einen nachhaltigen Bodenschutz mit dem Hauptziel der Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit. Dabei sind die wichtigsten Bodenfunktionen (Kap. 2) Filter- und Pufferfunktion, Lebensraumfunktion, Archivfunktion und Nutzungsfunktion nachhaltig zu sichern und wiederherzustellen (Kap. 4).

Bezogen auf die mechanisierte Holzernte sind schädliche Bodenveränderungen auf der Fläche zu verhindern, indem ein Höchstmaß an Vorsorge realisiert wird (Kap. 7). Das Feinerschließungssystem mit permanenten Rückegassen ist von zentraler Bedeutung für die Schonung der Bodenstruktur, die Förderung des Wurzelwachstums und die Erhaltung weiterer Waldfunktionen. In den Rückegassen müssen eine dauerhafte Befahrbarkeit sowie die Minderung von Boden-erosion gewährleistet sein.

Der Grad der Bodenschädigungen durch Befahrung wird durch verschiedene Einflussfaktoren verursacht (Kap. 4). Die Standortbedingungen wie Bodenart, Humusgehalt, Skelettanteil und Niederschlagsverteilung bestimmen die potenzielle/aktuelle Verdichtungsempfindlichkeit des jeweiligen Standortes und entscheiden damit über die Auswahl der einzusetzenden Arbeitsketten

und Fahrzeugparameter. Hochspezialisierte Holzerntemaschinen wie Harvester und Forwarder fordern durch ihre hohen Investitionskosten hohe Auslastungsgrade. Dies kann zu Lasten einer bodenschonenden Holzernte gehen.

Folge sind dann Bodenverdichtungen und Änderungen des Porensystems, die zu einer Schädigung der Bodenfunktionalität und somit zu einer Schädigung der Bodenstruktur und des Baumwachstums führen und in hängigen Lagen der Bodenerosion Vor-schub leisten.

Aus der Forderung des BBodSchG § 7 hat eine Bewirtschaftung der natürlichen Ressource Boden nachhaltig zu erfolgen. Dieser Zielsetzung folgt das Konzept einer „Bodenschonenden Holzernte“. Wichtige Grundlagen dieses Konzeptes wurden von einer bundesweiten Expertengruppe erarbeitet und im internen KWF-Abschlussbericht „Bodenschonende Holzernte“ zusammengeführt. Inhalte dieses Konzeptes sind auch in den Forsttechnischen Informationen (FTI) 1&2 2009 S. 4–17 veröffentlicht worden und waren zentrales Thema der 1. KWF-Thementage. Das Konzept beinhaltet die in Abb. 5.1 dargestellten drei wesentlichen Strategien/ Lösungsansätze:

Befahrbarkeit von Waldböden bei der Holzernte

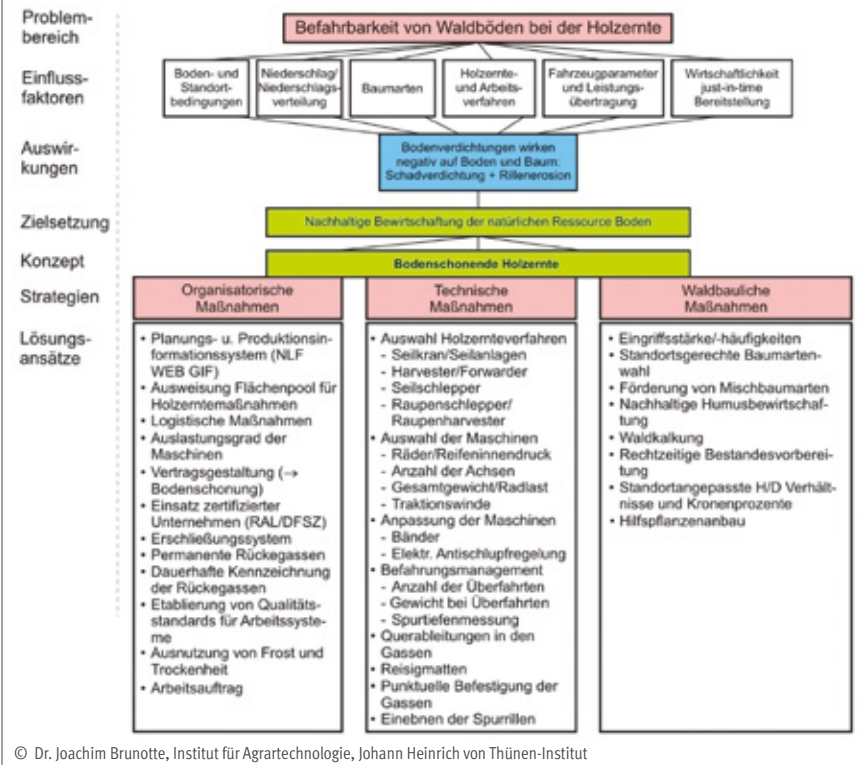


Abb. 5.1: Befahrbarkeit von Waldböden bei der Holzernte – Einflussfaktoren und Strategien zur Vermeidung von Bodenschäden (Brunotte, 2010; AG Bodenschutz, 2016, verändert).

1. Zu der Strategie „Organisation/Logistik“ gehören eine Reihe von Lösungsansätzen, wie dauerhafte Feinerschließung (Kap. 8.1), Planung und Dokumentation, Risikomanagement Bodenschutz (Kap. 8.2), Auftragsgestaltung Bodenschonung, Auslastungsgrade der Erntemaschine.
2. Die Strategie „Technikausstattung“ befasst sich vor allem mit der Reduzierung der mechanischen Belastung von Waldböden bei der Holzernte (Kap. 7) und ist vor allem im Bereich der Vorsorge angesiedelt. Leitmotiv ist die „Anpassung der mechanischen Belastung an die



Abb. 5.2: Auch bei starken Eingriffen, z.B. nach Sturmereignissen, ist auf eine bodenschonende Holzernte zu achten.

Verdichtungsempfindlichkeit von Böden“ (Kap. 8.2 und 9). Der Standort bestimmt im Wesentlichen die Auswahl der Holzernteverfahren, ob z.B. Seilanlage oder Harvester + Forwarder eingesetzt werden. Die Feinabstimmung der ausgewählten Maschine auf die Einsatzbedingungen erfolgt vor Ort: Reifen, Bänder, Traktionswinde etc.

3. In der Strategie „Waldbau“ sind die Handlungsanweisungen im Bereich der Vorsorge und im Bereich der Sanierung von Bodenschäden (Kap. 6) angesiedelt, wie Regeneration der Bodenstruktur (Kap. 6.2), Waldkalkung, Hilfspflanzenanbau, Anpflanzung wurzelaktiver Baumarten (Kap. 6.3).

Literatur/Quellen:

- [11] AG Bodenschutz (2016): Bodenschutz bei der Holzernte in den Niedersächsischen Landesforsten. Merkblatt der Niedersächsischen Landesforsten, S. 16.
- [12] Brunotte, J. (2010): Bodenschäden bei der Holzernte – Vermeidungsstrategien durch Einsatzplanung und Erfolgskontrolle. In: Forsttechnische Informationen (FTI) 3&4 2010, S. 10–11.
- [13] KWF (2010): „Bodenschonende Holzernte“, Abschlussbericht zum Auftrag der FCK an das KWF, 40 S.

6 REGENERATION VON WALDBÖDEN – SANIERUNG VON BODENSCHÄDEN, DIE DURCH BEFAHRUNG ENTSTANDEN SIND

6.1 Was ist Bodenregeneration?

*Prof. Dr. Thorsten Gaertig,
Dr. Corinna Ebeling, Prof. Dr. Jürgen Schäffer,
PD Dr. Helmer Schack-Kirchner*

Auch für den Boden gilt die für den Menschen beschriebene Definition zum Begriff „Regeneration (Sport)“:

„Unter Regeneration werden Prozesse verstanden, die zur Wiederherstellung eines (physiologischen) Gleichgewichtszustandes führen. Sie stehen immer in Bezug zu einer vorausgehenden Belastung und haben (wieder)versorgende Funktion.“

(Wikipedia)

Auch für den Boden kann man also sagen:

Bei der Regeneration geht es um die Wiederherstellung eines Zustandes, wie er vor einer Belastung bestand.

Die überwiegend vom Menschen hervorgerufenen Belastungen der Böden in Waldökosystemen wurden in den vorherigen

Kapiteln vorgestellt. Über das Ausmaß und die Wirkung der Belastungen in den Waldökosystemen weiß man recht gut Bescheid. Dagegen gibt es nur wenige, meist neuere Untersuchungen zu den Prozessen, die zur Wiederherstellung eines Gleichgewichtszustandes im Boden führen und damit die Regeneration von Bodenschäden thematisieren (z. B. Ebeling et al., 2016, Goutal et al., 2012; Meyer et al., 2014; v. Wilpert und Schäffer, 2006).

6.2 Regeneration von Strukturstörungen

*Prof. Dr. Thorsten Gaertig,
Dr. Corinna Ebeling, Prof. Dr. Jürgen Schäffer,
PD Dr. Helmer Schack-Kirchner*

Regeneration benötigt Energie

Zur Regeneration verdichteter und strukturgestörter Böden ist Energie erforderlich². Die Porenneubildungsrate muss massiv erhöht werden. Die dazu nötige Energie kann auf unterschiedliche Weise in den Boden eingebracht werden:

² Vgl. das Gleichgewichtsmodell zur Bodenstruktur von Hildebrand (1987).

1. Energie-Input durch Bodenlebewesen und Wurzelwachstum:
 - Energie kann auf bodenbiologische Weise durch Tiere über die Grabtätigkeit von Bodentieren wie Regenwürmern und Maulwürfen oder durch das Wachstum von Wurzeln in das „System Boden“ gebracht werden.
2. Energie-Input durch bodenphysikalische Prozesse:
 - Auch bodenphysikalische Prozesse wie das Quellen und Schrumpfen von Tonmineralen sowie das Gefrieren oder Verdunsten von Bodenwasser (Austrocknung und Trockenrisse) im Boden führen zu einem Energieeintrag.
3. Energie-Input durch Bodenbearbeitung:
 - Mechanisch, also durch Bodenbearbeitung, kann man Energie – ähnlich wie in der Landwirtschaft – durch Grubbern, Mulchen oder Spatenbearbeitung in den Boden einbringen und so den Boden lockern.

Woran erkennt man eine erfolgreiche Regeneration?

Eine erfolgreiche Regeneration strukturstörter Böden ist schwierig direkt zu messen.

Man erkennt sie daran, dass sich folgende Merkmale des ungestörten und des befahrenen Bodens wieder angleichen:

- Bodenphysikalische Merkmale:
 - Lagerungsdichte bzw. Porenvolumen, Porengrößenverteilung, Wasser- und Gasdurchlässigkeit sowie das (feldbodenkundlich anzuspreekende) Bodengefüge.

- Bodenchemische Merkmale (Redoxpotenzial, pH-Wert)
- Bodenbiologisch gesteuerte Merkmale wie Durchwurzelung, Enzymaktivität der Bodenorganismen, Regenwurmaktivität sowie die Bodenatmung und die CO₂-Konzentration der Bodenluft.
- Zusammensetzung der Bodenvegetation sowie Zuwachs und Vitalität der Bäume.

6.3 Optionen zur Regeneration von entstandenen Bodenschäden

*PD Dr. Klaus v. Wilpert, Dr. Udo Hans Sauter,
PD Dr. Helmer Schack-Kirchner,
Prof. Dr. Thorsten Gaertig,
Dr. Corinna Ebeling, Prof. Dr. Jürgen Schäffer*

Aufgrund der sehr langen natürlichen Regenerationszeiten der Bodenstruktur ist es wichtig, dass zukünftig eine Befahrung ausschließlich auf Fahrwegen, Maschinenwegen und permanenten Rückegassen erfolgt – auch nach Windwurfereignissen.

Abseits permanenter Feinerschließungsnetze können allerdings auch künftig Schäden auftreten – zum Beispiel, wenn nicht mehr benötigte Fahrtrassen aufgegeben werden.

Bei der Einrichtung permanenter Feinerschließungssysteme sollte deshalb grundsätzlich vermieden werden, ohne Rücksicht auf bestehende Fahrspuren und Rückegassen ein neues Rückegassensystem anzulegen.

Soweit dies dennoch erforderlich ist, sollte auf den aufgelassenen Fahrspuren die natürliche Regeneration so weit wie möglich durch begleitende Maßnahmen unterstützt werden.

Auch für bereits in der Vergangenheit entstandene Befahrungsschäden muss die natürliche Regeneration gefördert und unterstützt werden.

1. Natürliche Regeneration verdichteter Böden

Je höher die natürliche Porenneubildungsrate im Boden ist, desto schneller verläuft die natürliche Regeneration. Böden mit hohen pH-Werten („basische Böden“), d.h. Böden, die biologisch aktiver sind, regenerieren schneller als Böden mit niedrigen pH-Werten („saure Böden“) und entsprechend geringerer biologischer Aktivität. Gleiches gilt für Böden mit hohen Tongehalten:

Auf tonreichen Böden im Göttinger Wald mit relativ hohen pH-Werten von 5 bis 6 zeigte sich nach 20 Jahren eine vollständige Regeneration. Letztmalig vor 20 Jahren befahrene Rückegassen unterscheiden sich in ihrer Lagerungsdichte, ihrer Gasdurchlässigkeit und der CO₂-Konzentration der Bodenluft nicht mehr von dem unbefahrenen Bestand.

Im Gegensatz dazu war auf sauren, sandig-lehmigen Podsolen des niedersächsischen

Tieflands auch 40 Jahre nach der letzten Befahrung noch keine vollständige Regeneration erreicht.³

2. Unterstützung der Regeneration

Um die Wiederherstellung der Bodenfunktionen im Bereich von alten wie neuen Befahrungsschäden zu beschleunigen, ist es das Ziel, die natürliche Regeneration durch aktive biologische und mechanische Maßnahmen zu unterstützen.

Mit Maßnahmen zur Förderung der natürlichen Regeneration sollen dabei Prozesse der Porenneubildung aktiv gefördert werden.

Kalkung

Ein wichtiges Instrument stellt dabei die Kalkung des Bodens dar. Durch die Anhebung des pH-Wertes können sich die Lebensbedingungen für säureempfindliche Bodenorganismen verbessern. Insbesondere die Aktivität von Regenwürmern kann dadurch gefördert werden.⁴

Biologische Maßnahmen

Auch durch das gezielte Anpflanzen von wurzelaktiven Baumarten kann die Regeneration des verdichteten Bodens gefördert werden:

Untersuchungen zeigen, dass sich besonders Schwarz- und Grauerle zum Anbau auf verdichteten Standorten eignen und mit ihrem Wurzelwachstum die Bodenstruktur

³ Ebeling et al. (2016)

⁴ Schäffer et al. (2001)

maßgeblich verbessern können⁵. Mit zusätzlicher Kalkung und Mulchung ließen sich außerdem das Wachstum und die Entwicklung der gepflanzten Bäume verbessern, was zu einer beschleunigten Regeneration der Bodenstruktur führte (siehe ausführlich dazu unter „Ergebnisse eines Befahrungsversuches“).⁶

Mechanische Maßnahmen

Bei den mechanischen Maßnahmen ist zu unterscheiden zwischen Maßnahmen der Bodenlockerung, die die natürliche Regeneration unterstützen sollen, und Maßnahmen der Sanierung von Fahrlinien, die der Wiederherstellung der forsttechnischen Befahrbarkeit dienen (vgl. Kap. 6.4).

Beispiele zeigen die Wirksamkeit der Bodenlockerung, wie beispielsweise der Abbruchlockerung (= nichtwendende Tiefenlockerung).⁷

So konnte damit auf durch Militärfahrzeuge extrem verdichteten Böden der Bodenlufthaushalt wesentlich verbessert werden. Der vorher nicht durchwurzelbare Boden unterschied sich 9 Jahre nach der Maßnahme in seiner Durchwurzelung kaum noch von einer unverdichteten Vergleichsfläche.⁸

Ergebnisse eines Befahrungsversuches

In einem Befahrungsversuch wurden dazu verschiedene Maßnahmen zur Beschleunigung der Bodenregeneration getestet⁹:

1. Mulchen
2. Kalkung
3. Pflanzung von wurzelaktiven Hölzern: Grauerle, Schwarzerle, Salweide, Faulbaum
4. Kombinationen dieser Maßnahmen

Ergebnisse:

Anwuchserfolg und Wachstum der beiden Erlenarten (*Alnus incana* und *Alnus glutinosa*) sind sehr gut. Die beiden anderen Arten, Salweide (*Salix caprea*) und Faulbaum (*Rhamnus frangula*), zeigten dagegen massive anfängliche und während der Projektlaufzeit weiter fortschreitende Ausfälle.

Das Mulchen hat eine günstige Pflanzsituation im Oberboden geschaffen, Schlagabraum und Wurzelstöcke wurden dabei zerspannt. Durch die Zerspannung wurden Hindernisse für die Pflanzung beseitigt und das holzige Mulchmaterial in die obersten 15 cm des Mineralbodens eingearbeitet.

Durch Sackung der Mulchschicht verringerte sich zwar die Luftdurchlässigkeit des Bodens gegenüber der unbehandelten

⁵ Meyer et al. (2014) und Flores Fernandez et al. (2015)

⁶ Flores Fernandez et al. (2015)

⁷ nach Schulte Karring et al. (1999)

⁸ Gaertig et al. (2000)

⁹ Flores-Fernandez et al. (2015)

Fahrspur. Es entstand zumindest teilweise eine Frässohle, die die Belüftung der tiefen Bodenschichten behindert. Die Bodenstrukturuntersuchungen zeigen aber nach 2 Jahren deutliche Ansätze einer beginnenden biologischen Aktivierung in der Mulchschicht – und zwar auf den gemulchten und insbesondere auf den sowohl gemulchten als auch gekalkten Flächen.

Die Wurzelwachstumsraten auf den gemulchten und dann mit Erlen bepflanzten Flächen liegen jetzt schon im Bereich der unbefahrenen Kontrollfläche und damit weit über allen anderen befahrenen Varianten.

Da innerhalb der Projektlaufzeit die beobachteten Regenerationsprozesse nicht abschließend bewertet werden konnten, sind diese Ergebnisse noch vorläufig. Sie zeigen aber, dass eine Beschleunigung der natürlichen Regeneration durch die untersuchten Maßnahmen möglich ist. Eine detaillierte Praxisempfehlung hinsichtlich einer optimalen Maßnahmenkombination kann derzeit noch nicht abgegeben werden.

Schlussfolgerungen für aktuell genutzte Rückegassen

Auch auf Rückegassen eines aktuell genutzten Feinerschließungsnetzes könnte eine Bepflanzung mit Erlen nach Abschluss der Befahrung die Regeneration unterstützen. Möglich erscheint dies vor allem dann, wenn mit einer mehrjährigen Befahrungspause zu rechnen ist.

Vor einer erneuten Befahrung sind die Bäumen bodennahe zu kappen (die Wurzeln dienen hier als zusätzliche Stabilisierung des Unterbodens). Das Verfahren wurde in einem Projekt getestet¹⁰.

6.4 Technische Sanierung von Schäden

Jürgen Weis, Friedbert Ritter, Bernd Flechsig, Dr. Udo Hans Sauter, Werner Wernecke

Im Einzelfall kann auch die technische Sanierung geschädigter Rückegassen und Maschinenwege erforderlich werden.

Für Rückegassen stellt sie eine Notfallmaßnahme dar, die nur in wenigen begründeten Einzelfällen und auf kleiner Fläche angewendet werden sollte.

Das Risiko von Befahrungsschäden steigt mit zunehmender Bodenfeuchte und Geländeneigung. Mit Hilfe einer forsttechnischen Standorts- und Geländeklassifizierung kann für alle Standorte das Schadensrisiko ermittelt und bereits bei der Feinerschließungsplanung berücksichtigt werden.

Ein Sanierungsbedarf besteht bei

- Überlastung der natürlichen Bodentragfähigkeit mit Spurbildung, die die forsttechnische Befahrbarkeit gefährdet,
- Risiko von Bodenerosion v.a. im geeigneten Gelände,

¹⁰ <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/9/726>



Abb. 6.1: Befahrung bei hoher Bodenfeuchte kann zu plastischen Bodenverformungen mit der Gefahr sekundärer Vernässung bis hin zu viskoplastischen Bodenverformungen führen.

- sekundärer Vernässung, d.h. größeren Wasseransammlungen in den Fahrspuren.

Eine technische Sanierung ist in der Regel mit hohen organisatorischen und finanziellen Aufwendungen verbunden. Aus diesem Grund sollte dieser eine Analyse des Ist-Zustandes des gesamten Erschließungsgebietes vorausgehen. Auf der Grundlage der kartenmäßigen Darstellung des Feinerschließungsnetzes erfolgt eine Aufnahme der Schadintensität und des Schadumfanges an Rückegassen und Maschinenwegen.

Diese Ist-Analyse bildet die Grundlage für die Planung der ökologisch und wirtschaftlich sinnvollsten Sanierungsmaßnahmen. Der geplante Umfang der technischen Sanierung

ist im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu kalkulieren.

Im Rahmen eines Variantenvergleiches sind dabei technische Sanierung, Stilllegung, Neuanlage und/oder Technologiewechsel zu betrachten und für das Erschließungsgebiet zu optimieren.

Maßnahmen zur Beseitigung von Fahrspureintiefungen durch Fräsen oder Planierarbeiten führen in der Regel nur zu einem Ausgleich des Geländeoberflächenniveaus. Dadurch wird vor allem das Erscheinungsbild der Rückegasse verbessert.¹¹

Die Gefahr der erneuten Gleisbildung und des Verlustes der forsttechnischen Befahr-

¹¹ Allerdings ist anzunehmen, dass Wasser, das sich auf der Fahrspursohle sammeln würde, über das in die Fahrspur eingebrachte Bodenmaterial kapillar abgeführt werden kann. Die verbesserte Austrocknung des Bodens kann wiederum die Bodentragfähigkeit erhöhen.

barkeit bei der nächsten Holzernte bleibt nach wie vor hoch oder wird sogar erhöht, da durch Überlockerung die Tragfähigkeit zumindest teilweise vermindert wird.

Für die technische Sanierung von Schäden am Feinerschließungsnetz bietet sich die Einbringung von regionalem Wegebaumaterial an.

Wenn es sich um einen Eingriff handelt (hierzu Landesrecht bzw. Schutzstatus der betroffenen Waldfläche beachten!), ist dabei die untere Naturschutzbehörde, ggf. auch die untere Wasserbehörde zu beteiligen. Material und Einbaustärke muss eine ausreichende Tragfähigkeit garantieren,

gleichzeitig aber auch die Wasserversickerung sicherstellen. Für die Sanierung hat sich grober Schotter (Grobschlag) in einer Größe von 65/150 bewährt. Dieser wird lediglich durch Überfahren grob verdichtet. Dafür soll möglichst regionales Material verwendet werden, das in seiner chemischen Charakteristik dem Ausgangsmaterial der Bodenbildung am jeweiligen Standort ähnlich ist. Auf den Einsatz von Recyclingmaterial sollte grundsätzlich verzichtet werden.

Ebenso können Rückegasseneinmündungen in Fahrwege befestigt werden, um der extrem hohen Scherbelastung beim Einschwenken der Maschinen entgegenzuwirken.

Literatur/Quellen:

- [14] Ebeling, C.; Lang, F.; Gaertig, T. (2016): Structural recovery in three selected forest soils after compaction by forest machines in Lower Saxony, Germany. *Forest Ecology and Management* 359, S. 74–82.
- [15] Flores Fernández, J.L.; Wilpert v., K.; Schäffer, J.; Hartmann, P. (2015): Growth and establishment of woody subsidiary plants for regeneration of compacted soils. *Allg. Forst- u.-J.-Ztg.* 186 (7/8), S. 137–150.
- [16] Gaertig, T.; Hildebrand, E.E.; Schäffer, J.; Wilpert v., K. (2000): Melioration stark verdichteter Waldböden: Die Wirkung mechanischer Bodenlockerung auf Bodenbelüftung und Durchwurzelung. *Allg. Forst Zeitschr./Der Wald* 55 (21): 1124–1126.
- [17] Gaertig, T.; Schack-Kirchner, H.; Hildebrand, E.E.; Wilpert v., K. (2002): The impact of soil aeration on oak decline in south-western Germany. *Forest Ecology and Management* 159 (1–2), S. 15–25.
- [18] Goutal, N.; Boivin, P.; Ranger, J. (2012): Assessment of the natural recovery rate of soil specific volume following forest soil compaction. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 76 (4), S. 1426–1435.
- [19] Greacen, E.L.; Sands, R. (1980): Compaction of forest soils: a review. *Aust. J. Soil Res.* 18 (2), 163–189.
- [20] Hildebrand, E.E. (1987): Die Struktur von Waldböden - ein gefährdetes Fließgleichgewicht. *Allgemeine Forstzeitschrift* 16/17, S. 424–426.
- [21] Meyer, C.; Lüscher, P.; Schulin, R. (2014): Recovery of forest soil from compaction in skid tracks planted with black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). *Soil Till. Res.* 143, S. 7–16.
- [22] Schäffer, J.; Geißen, V.; Hoch, R.; Wilpert v., K. (2001): Waldkalkung belebt Boden wieder. *Allgemeine Forstzeitschrift* 21, S. 1106–1109.
- [23] Warlo, H.; Wilpert v., K.; Lang, F.; Schack-Kirchner, H. (2019): Black Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) on Compacted Skid Trails: A Trade-off between Greenhouse Gas Fluxes and Soil Structure Recovery? In: *Forests* 2019, Vol. 10 (9), 726 (MDPI, open access); <https://doi.org/10.3390/f10090726>
- [24] Wikipedia: Regeneration (Sport). In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsdatum: 9. September 2014, 18:24 UTC. URL: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Regeneration_\(Sport\)&oldid=133878472](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Regeneration_(Sport)&oldid=133878472) (Abgerufen: 16.12.2015; erneut abgerufen am 15.01.2021).
- [25] Wilpert v., K.; Schäffer, J. (2006): Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *Eur. J. For. Res.* 125 (2), S. 129–138.
- [26] Wilpert v., K.; Hartmann, P.; Schäffer, J. (2013): Regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung, *FVA Merkblatt* 54, 39 S.

7 VORBEUGENDE MASSNAHMEN ZUR VERMEIDUNG BZW. BEGRENZUNG VON BODENSCHÄDEN AUF RÜCKEGASSEN

7.0 Einleitung

*PD Dr. Klaus v. Wilpert, Dr. Udo Hans Sauter,
PD Dr. Helmer Schack-Kirchner*

Für die (mehr oder weniger) vollmechanisierten Holzernteverfahren sprechen zahlreiche Aspekte: Neben Effizienz und Kostenersparnis sind dies eine verbesserte Bestandespfleglichkeit, Entlastung von schwerer körperlicher Arbeit und besonders die deutlich verringerte Verletzungsgefahr. Diese Verfahren sind damit eine bedenkenwerte und wichtige Option bei der Ernte des nachwachsenden Rohstoffes Holz.

Um Bodenschäden durch Befahrung zu minimieren, werden im Staatswald aller Bundesländer und in allen zertifizierten Wäldern die Fahrbewegungen von Forstmaschinen auf festgelegte Fahrtrassen (Rückegassen) beschränkt und Bodenschäden durch Verdichtung so auf 10–20% der Waldfläche reduziert. Durch diese Konzentration der Bodenbelastung steigt jedoch die Gefahr von Fahrspureintiefungen und damit einer Beeinträchtigung der forsttechnischen Befahrbarkeit und Funktionsfähigkeit der betroffenen Rückegassen. Das gilt besonders auf Nassgallen und in tonigen Bodenbereichen. Möglichkeiten zur Sanierung von Schäden wurden im Kapitel 6 vorgestellt.

FORSTTECHNISCHE BEFAHRBARKEIT/ TECHNISCHE FUNKTIONSFÄHIGKEIT

Der **dauerhafte Erhalt der forsttechnischen Befahrbarkeit** von Rückegassen ist ein Oberziel für den bodenpflegerischen Maschineneinsatz im Wald. Der Begriff „forsttechnische Befahrbarkeit“ wurde gegenüber der „technischen Befahrbarkeit“ von der AG Boden des KWF 2009 abgegrenzt und definiert (Interner KWF-Abschlussbericht „Bodenschonende Holzernte“, 2010).

Der Inhalt dieser Forderung geht dabei über die rein technisch mögliche Befahrbarkeit durch Forstmaschinen hinaus. Er beinhaltet:

- die dauerhafte Erhaltung der Bodentragfähigkeit,
- die Vermeidung von Grundbruch (viskoplastischer Bodenverformung),
- die Vermeidung von sekundärer Vernässung,
- die Vermeidung von Erosion (Bodenabtrag bzw. Rillenerosion).

Das heißt zusammengefasst die Erhaltung der Widerlagerfunktion des Bodens gegenüber den einwirkenden Maschinenkräften (technische Funktionsfähigkeit), ohne dass nachsorgende Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden.

Aber auch in der Vorbeugung bieten sich unterschiedliche Ansatzpunkte zur Vermeidung bzw. Begrenzung von Bodenschäden.

7.1 Maschinentechnische Maßnahmen zur Senkung der Beanspruchung und Belastung der Rückegassen

*Dr. Günther Weise, Dr. Herbert Borchert,
Bernd Flechsig, Dr. Jörg Hittenbeck,
Thilo Wagner, Thomas Wehner*

1. Welche Belastungen treten auf?

Der Bediener und gegebenenfalls der Betreiber einer Forstmaschine haben während des Betriebs einige Möglichkeiten, den Maschinengebrauch bodenschonender zu gestalten. In allen Fällen sollte der Maschinenführer sich bewusst machen, dass er den Boden auf zwei Arten belastet:

- zum einen durch Druckbelastung,
- zum anderen durch Scherbelastungen.

Druckbelastung

Die Druckbelastung resultiert aus der Masse, die sich auf den Boden abstützt. Sie führt dazu, dass der Boden unter der Aufstandsfläche der Maschine verdichtet wird. Überschreitet die Belastung durch die Maschine die Festigkeit des Bodens, kann es zum Versagen der Bodentragfähigkeit kommen; im Extremfall verliert die Maschine ihre Bodenfreiheit und sinkt ein.

Scherbelastung

Die Scherbelastung entsteht durch Traktionsbedarf zur Fortbewegung der Maschine selbst und ggf. ihrer Anhängelasten. Dabei müssen vor allem der Rollwiderstand und der Steigungswiderstand, gegebenenfalls auch die Widerstände von Anhängelasten überwunden werden.

Wenn Traktion benötigt wird, entsteht an Rädern und Raupen in der Regel Schlupf. Das ist bei der Geländefahrt ganz normal; selbst unter günstigsten Umständen treten bis zu 20 % Schlupf an Rädern auf. Deutlich zu viel Schlupf kann dazu führen, dass sich die Maschine eingrät und die Mobilität nicht mehr gewährleistet ist. 20 % bis 25 % Schlupf markieren in etwa den oberen Schlupfbereich, der noch „elastisch“ vom Boden aufgenommen wird, ohne die Porenkontinuität zu gefährden. Darüber beginnt das „Ausfräsen“ von Bodenmaterial. 100 % Schlupf bedeutet Durchdrehen der Räder ohne Vortrieb.

2. Gegenmaßnahmen Gewicht verringern

Um die Druckbelastungen im Boden zu reduzieren, kann der Maschinenführer versuchen, das Gewicht der Maschine zu kontrollieren oder die Aufstandsfläche zu erhöhen. Eine Gewichtsreduktion ist unter Umständen durch eine Verringerung der Zuladung möglich. Dies ist dann sinnvoll, wenn nach der Gewichtsreduzierung kein Boden mehr abgesichert wird, also keine Erde zwischen den Stollen kleben bleibt, die im Zuge der Selbstreinigung der Reifen seitlich abfällt und aus der Fahrspur ausgetragen wird. An-

sonsten kann die mit der reduzierten Zulaufung einhergehende Erhöhung der Befahrungsfrequenz das Gegenteil bewirken, also ein noch tieferes Ausfräsen der Fahrspuren.

Bodendruck verringern

Eine Vergrößerung der Maschinenaufstandsfläche kann durch die Verwendung größerer (breiterer) Räder und/oder durch Installation zusätzlicher Räder erreicht werden. Darüber hinaus kann die Verwendung von Raupenfahrwerken zu einer maßgeblichen Reduzierung des Kontaktflächen-drucks führen. Der Maschinenführer kann hier in der Regel nicht eingreifen; die theoretisch gegebene Möglichkeit, durch Absenkung des Reifenfülldrucks die Aufstandsfläche zu vergrößern, scheitert im praktischen

Betrieb oft daran, dass die Reifenhersteller in diesem Fall ihre Gewährleistung verweigern. Für Fahrten ohne Bänder sind aber meist auch niedrigere Reifeninnendrucke zugelassen. Dieser Spielraum sollte möglichst auch genutzt werden.

Beispiel Projekt PrAllCon: Hinweise gibt hier etwa der im Rahmen des PrAllCon-Projekts der Uni Göttingen (Abteilung Arbeitswissenschaften und Verfahrenstechnologie) entwickelte frei verfügbare Druck-Kalkulator¹², mit dem jeder auf der Basis der vorliegenden Reifendimensionen und des verwendeten Luftdrucks die Druckbelastung im Boden berechnen kann. Ansonsten bleibt nur die Auswahl einer möglichst auf die Einsatzumgebung abgestimmten Maschine.

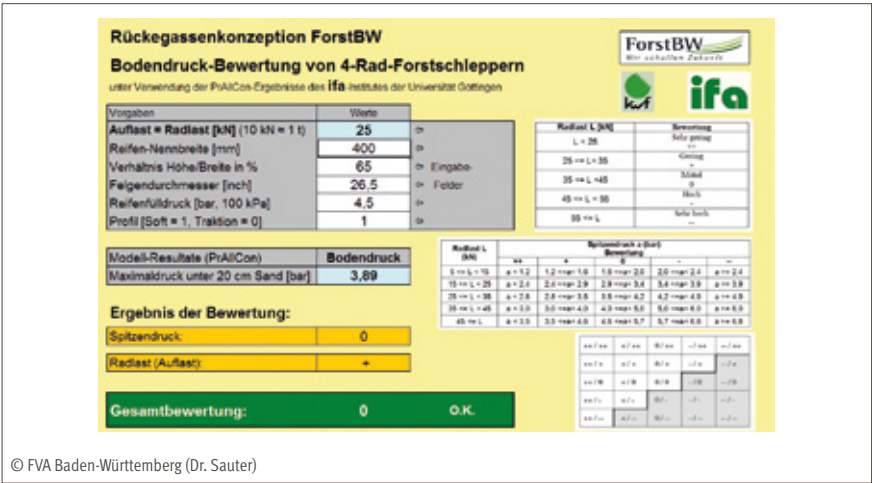


Abb. 7.1: Programmseite zur Berechnung des Bodendrucks (Druck-Kalkulator, FVA Baden-Württemberg, mit Daten des „PrAllCon“-Projektes, ifa-Institut der Universität Göttingen)

¹² Download z.B. <https://www.uni-goettingen.de/de/prallcon-druckkalkulator/531462.html> oder forstbw.de/fileadmin/forstbw_pdf/waldarbeit/prallcon-kalkulator.xls

Bei der Überwindung der Fahrwiderstände hat der Maschinenführer mehr Möglichkeiten, einen bodenschonenden Umgang mit seiner Forstmaschine zu gewährleisten. Grundsätzlich kann er versuchen, die Fahrwiderstände so gering wie möglich zu halten oder die Kraftübertragung möglichst effektiv und damit schlupfarm zu gestalten.

Schlupf reduzieren

- Die wichtigste Maßnahme zur Verringerung der Fahrwiderstände ist die Benutzung des **Allradantriebs**. Damit wird vermieden, dass nicht angetriebene Räder durch den Boden geschoben oder gezogen werden müssen. Diese Maßnahme kann auch bei Rückeanhängern von Bedeutung sein. Angetriebene Achsen am Anhänger können den Zugkraftbedarf der Zugmaschine und damit den Schlupf deutlich reduzieren.
- Auch die Wahl des Fahrwegs bietet Möglichkeiten, etwa indem beladene Fahrzeuge möglichst nur bergab fahren.
- Soweit eine Verringerung der Fahrwiderstände nicht möglich ist, kann der Maschinenführer versuchen, die Effizienz der Kraftübertragung zu verbessern:
 - Zunächst ist bei weichen Böden immer zu empfehlen, frühzeitig die **Differentialsperre** zu benutzen. Dadurch wird der Schlupf an allen Rädern auf das geringste auftretende Maß reduziert. Ohne Verwendung der Differentialsperre drehen die Räder genau an den Stellen durch, wo sie den geringsten Widerstand finden.
 - Eine weitere Maßnahme zu diesem Zweck ist eine Anpassung des **Reifeninnendrucks**. In der Regel ist es sinnvoll zu versuchen, den Reifeninnendruck soweit wie nach den Vorgaben des Reifen- und des Maschinenherstellers möglich abzusenken. Dadurch vergrößert sich die Aufstandsfläche, wodurch einerseits der Bodendruck abnimmt und sich andererseits die Bodenhaftung verbessert. Schließlich vergrößert sich dadurch auch die Fläche, auf welcher die Antriebskräfte (Scherkräfte) in den Boden eingeleitet werden, was die Belastung der einzelnen Bodenteile vermindert und die Effektivität der Kraftübertragung vom Rad in den Boden steigert. (Siehe dazu auch oben im Abschnitt „Bodendruck verringern“)
 - Soweit diese Maßnahmen nicht ausreichen, besteht die Möglichkeit, die Traktion durch einen stärkeren Bodeneingriff zu verbessern. Oft kann dies schon durch die Verwendung eines **Traktions-Profils** mit großen geraden Stollen und großen Stollenzwischenräumen geschehen.
 - Auf praktisch allen Rädern können zudem **Forstketten** aufgezogen werden. Diese greifen mit ihren Spikes in den Boden ein und verbessern so einerseits die Kontaktfläche zwischen Rad und Boden und stützen sich andererseits stärker im Boden ab.

- Wenn diese Maßnahme nicht genügt, können **Bänder** (Bogie- und Einzelradbänder) auf die Reifen aufgezogen werden. Diese greifen öfter und tiefer in den Boden ein als die Reifen alleine. Zudem ist je nach Bauart von einer Vergrößerung der Aufstandsfläche und einer Reduzierung des Einsinkens auszugehen.
- Bezogen auf ihren Einsatzbereich werden folgende Kategorien von Bändern unterschieden:
 - ⇒ Traktionsbänder (Bergbänder) dienen primär der Traktionsverbesserung bei mittleren bis starken Hangneigungen,
 - ⇒ Tragbänder (Moorbänder, Softbänder) werden vorzugsweise auf ebenen bis leicht geneigten nassen oder besonders verdichtungsempfindlichen Standorten zur Erhöhung der Aufstandsfläche eingesetzt,
 - ⇒ Kombinationsbänder sowie Universalbänder werden in wechselhaftem Gelände eingesetzt oder versuchen, ein möglichst breites (mittleres) Standortspektrum/Einsatzspektrum zu bedienen.
 - ⇒ Für Sonderanwendungen, wie das schadenfreie Überfahren von Asphaltstraßen oder Abfuhrwegen, werden Spezialbänder eingesetzt.
- Zu einer maßgeblichen Erhöhung der Mobilität in Hanglagen führen die sogenannten Traktionshilfswinden. Hierbei unterstützen Winde und Seil die Forstmaschine mit einer bestimmten Zugkraft und wirken damit den Hangabtriebskräften entgegen.

Traktionshilfswinden können so den Radschlupf deutlich verringern; der Bodendruck durch die Auflast bleibt jedoch bestehen.

- Bei Harvestern findet man diese i.d.R. modulhaft als Zusatzinstallation, bei Forwardern sind sie meist fest im Chassis verbaut. Seit einigen Jahren werden darüber hinaus externe Traktionshilfswinden eingesetzt, welche auf separaten Trägerfahrzeugen montiert sind. Weiterhin wird die Kombination beider Technologien (Ausstattung der Maschine mit Bändern bei gleichzeitigem Einsatz von Traktionshilfswinden) praktiziert.
- Schließlich ist bei angehängten Lasten, seien es geschleifte Rückelasten oder Anhänger, auf eine korrekte Abstimmung zwischen Zugfahrzeug und Anhängelast zu achten.

Die mögliche Zugkraft ist vor allem durch die Masse des Zugfahrzeugs und den Schlupf bestimmt. Alle weiteren beschriebenen Maßnahmen greifen in der Regel nur unterstützend ein. Insofern ist abhängig vom Zugkraftbedarf eine ausreichende Masse des Zugfahrzeugs erforderlich.

Für große Anhängelasten sind daher zu kleine Zugfahrzeuge zu vermeiden, da dies zu hohem Schlupf und damit tiefen Fahrspuren führen kann. Darüber hinaus können sich weitere Bodenschäden ergeben, wenn Traktoren etwa mit der Vorderachse abheben und so zusätzlich zur dadurch reduzierten Zugkraft auch noch die Lenkfähigkeit verloren geht. Dies gilt gleichermaßen für

direkt angehängte Lasten beim Schleifrücken wie für zu große Rückeanhänger. In letzterem Fall ist zusätzlich die Gefahr durch nicht ausreichende Bremskräfte zu beachten. Grundsätzlich vorteilhaft sind Rückeanhänger jedoch deshalb, weil die Lasten in der Ebene nur mit ihrem Rollwiderstand und nicht mit der Reibung zwischen geschleiftem Holz und Boden bewegt werden müssen.

Sind im Hinblick auf die Befahrung alle Möglichkeiten der bodenschonenden Holzernte ausgeschöpft und werden dennoch die Grenz- bzw. Warnwerte erreicht, sollte der Einsatz anderer Arbeitssysteme (zum Beispiel Seilkransysteme) in Betracht gezogen oder die Befahrung eingestellt werden.

Hilfreich für den Maschinenführer kann die Festlegung von Grenzwerten bzw. Warnwerten durch den Auftraggeber sein, bei deren Erreichen ein Weiterarbeiten unabdingbar zu Schäden an der Rückegasse führen würde (s. dazu Kapitel 7.3). An dieser Stelle müssen die jeweiligen Entscheidungsträger über eine technische Verfahrensvariante (z. B. Arbeiten vom festen Weg aus, Einsatz von Vorrückeraupen zum Vorrücken des Holzes an den Aufarbeitungsplatz) oder über die Unterbrechung der Maßnahme nachdenken.

Literatur/Quellen:

- [27] Wehner, Th. (2001): „Technikkonzepte und ihre Auswirkungen auf den Boden“, Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung, Band 18, S. 97–107.
- [28] Wehner, Th. (2002): „Technikfolgenabschätzung in der Holzernte – eine Bestandsaufnahme“, FVA Einblick, Jhrg. 6/3, S. 3–5.
- [29] Schnaible, F.; Jaeger, D.; Becker, G. (2016): Automatischer Radlastausgleich bei Boogieachsen /Forst & Technik/, 2016; 3: 22–25
- [30] Poltorak, B.J.; Labelle, E.R.; Jaeger, D. (2018): Soil displacement during ground-based mechanized forest operations using mixed-wood brush mats. SOIL TILL RES 179: 96–104, doi.org/10.1016/j.still.2018.02.005
- [31] Labelle, E. R.; Jaeger, D. (2019): Effects of Steel Flexible Tracks on Forwarder Peak Load Distribution: Results from a Prototype Load Test Platform. Croat. j. for. eng. 40(2019)1, 23 S.
- [32] Labelle, E. R.; Poltorak, B. J.; Jaeger, D. (2019): The role of brush mats in mitigating machine-induced soil disturbances: an assessment using absolute and relative soil bulk density and penetration resistance. Can. J. For. Res. 49: 164–178 (2019)

7.2 Vermeidung von erosions- auslösender Abfluss- bildung auf Rückegassen

*Dr. Klaus v. Wilpert, Dr. Udo Hans Sauter,
Dr. Helmer Schack-Kirchner*

Wenn Niederschläge so stark sind, dass sie vom Boden nicht mehr aufgenommen werden, kommt es zu Oberflächenabflüssen und Bodenerosion.

Intakte Wälder sind wegen ihrer guten Bodenstruktur und der meist vorhandenen Streuauflage eigentlich ein guter Schutz davor. So steht Bodenabtrag im Wald fast immer im Zusammenhang mit Walderschließungsmaßnahmen und Holzernte:

Schleifspuren, Fahrspuren, Rückegassen, Maschinenwege und Forststraßen bilden im hängigen Gelände Abflusslinien mit verminderter Fähigkeit zur Versickerung von Niederschlagswasser. Sie können bei unsachgemäßer Anlage und Pflege oder bei Überlastung durch Starkregenereignisse den Oberflächenabfluss sammeln, beschleunigen und damit auch Erosion verursachen.

Dabei wird nicht nur die Infrastruktur selbst geschädigt und die forsttechnische Befahrbarkeit gestört (so genannter on-site Schaden), sondern es kann auch zu Sedimenteintrag in die Gewässer oder auf Straßen kommen (off-site Schaden).

Gegenmaßnahmen:

- Auf befestigten Forststraßen sind die wichtigsten Abhilfemaßnahmen die korrekte Anlage von Gräben und Dolen (Querdurchlässe).
- In Abhängigkeit von der Erosionsempfindlichkeit (Erodierbarkeit des Bodens) kann auf unbefestigten Maschinenwegen eine linienhafte Erosion oft nur durch die Anlage von Querabschlägen direkt nach der Holzerntemaßnahme verhindert werden. Nach der darauffolgenden Vegetationsperiode ist dann in der Regel eine schützende Vegetationsdecke entstanden.
- Rückegassen mit einer deckenden Reisauflage sind meist unproblematisch. Im Falle „nackter“ Fahrgleise kann jedoch ebenfalls die Anlage von Querableitern notwendig werden (abhängig von Störungslänge, Hangneigung und dem talseitigen Abstand zu Gräben und Vorflutern).
- Ganz entscheidend für den Gewässerschutz ist jedoch, das in den Querableitern konzentrierte Wasser durch talseitige Pufferzonen in die Fläche zu verteilen. Diese Puffer müssen auch bei Starkniederschlägen das austretende Wasser aufnehmen können, „Kurzschlüsse“ in die Vorfluter müssen unbedingt verhindert werden.
- In stark gefährdeten Bereichen müssen dezentrale Rückhalte- und Versickerungsmulden geschaffen werden.

Aktuelle Klimamodelle prognostizieren für weite Bereiche Deutschlands eine Zunahme von Starkniederschlägen und eine Zunahme der Niederschläge im Winter. In dieser Zeit sind die Waldböden jedoch wegen der hohen Wassersättigung ohnehin

weniger aufnahmefähig und gleichzeitig sind Rückegassen, Maschinenwege und die Entwässerungssysteme der Forststraßen durch Holzerntemaßnahmen besonders belastet¹³. In Zukunft könnte damit eine Neubewertung dieser Frage notwendig werden.



Abb. 7.2: Um Erosionsschäden bei Starkniederschlägen zu vermeiden, ist auch bei befestigten Forstwegen die korrekte Anlage von Gräben und Dolen (Querdurchlässen) wichtig, genauso auch die Verteilung des abgeleiteten Wassers in talseitigen Pufferzonen.

¹³ Arbeiten von Bott (2002) und Bredemeier & Schüler (2004) zeigen, dass sowohl forsttechnische als auch natürliche Einflussgrößen zutreffend zur Prognose von Oberflächenabfluss im Wald und dessen Variation eingesetzt werden können.

Literatur/Quellen:

- [33] Bott, W. (2002): Prozessorientierte Modellierung des Wassertransports zur Bewertung von Hochwasser-Schutzmaßnahmen in bewaldeten Entstehungsgebieten. Dissertation Fachbereich Geowissenschaften, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 124 S.
- [34] Bredemeier, M.; Schüler, G. (2004): Forest ecosystem structures, forest management and water retention. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 4/3 255–266.
- [35] ForstBW (2012): Konzept zur Sicherstellung der dauerhaften Funktionsfähigkeit von Rückegassen für den Landesbetrieb ForstBW – Bodenschutz & Forsttechnische Befahrbarkeit, 69 S.
- [36] Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, MLR (2003): Richtlinie der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg zur Feinerschließung von Waldbeständen 27 S.

7.3 Gassenschonungsgebot – Schadensvermeidung im praktischen Betrieb

1. Begrenzung der Befahrung auf ausgewiesene Bereiche

*Jürgen Weis, Friedbert Ritter, Bernd Flechsig,
Dr. Udo Hans Sauter, Werner Wernecke*

Aus Gründen des bodenbiologischen Bodenschutzes¹⁴ muss jede Befahrung durch forstliche Arbeitsmaschinen auf Fahrwege und das Feinerschließungssystem (Rück- bzw. Maschinenwege und Rück- bzw. Arbeitsgassen) beschränkt werden, die ausnahmslos nicht verlassen werden dürfen. Dies gilt uneingeschränkt auch in Kalamitätssituationen und außerhalb der Holzern- te. Eine flächige Befahrung des Waldbodens außerhalb festgelegter Erschließungsmittel ist damit grundsätzlich nicht erlaubt.

Herausragende Bedeutung hat deshalb die **dauerhafte Erhaltung der Forsttechnischen Befahrbarkeit** (s. oben, Kap. 7 Einleitung) von Rückegassen und Maschinenwegen. Diese muss durch eine ingenieurfachliche Planung der forstbetrieblichen Maßnahmen unter Ausschöpfung aller arbeitsorganisatorischen, verfahrenstechnischen und maschinen-technischen Möglichkeiten sichergestellt werden. Sie müssen deshalb werk- und arbeitsvertraglich eingefordert und während laufender Hiebsmaßnahmen stichprobenartig kontrolliert werden.

Lesen Sie dazu die ausführlichen Informationen in Kapitel 8.2.

2. Umsetzung des Gassenschonungsgebotes

*Prof. Dr. Jörn Erler, Martin Grüll,
Dr. Günther Weise, Dr. Thomas Schmidt-
Langenhorst, Dr. Herbert Borchert*

Vorsorgender Bodenschutz beim Einsatz von Holzerntetechnik lässt sich vereinfacht auf die Formel bringen:

$$\begin{array}{c} \text{Bodenschutz} \\ = \\ \text{Flächenbefahrungsverbot} \\ + \\ \text{Gassenschonungsgebot} \end{array}$$

Will man die dauerhafte Funktionsfähigkeit eines unbefestigten Gassensystems gewährleisten, dann muss eine Überlastung der Bodentragfähigkeit zuverlässig vermieden werden:

Beim Forstmaschineneinsatz nimmt der Waldboden als technisches Widerlager alle auftretenden, statischen und dynamischen Zug-, Druck-, Flieh- und Hebelkräfte auf. Hierbei können nicht nur biologische Bodenfunktionen geschädigt, sondern auch die technische Bodenfunktion (vgl. Glossar, S. 90) im Bereich der Fahrgasse in relativ engen Toleranzgrenzen überlastet werden.

¹⁴ Erhalt der gesetzlich geschützten Lebensraum- und Produktions-Funktion.

Da die maschinenbautechnische Mobilitätsgrenze moderner Forstspezialmaschinen weit über der technischen Bodentragfähigkeitsgrenze (vgl. Glossar S. 91) liegt, kann dies in der Praxis bedeuten, dass trotz Überschreiten dieser Belastungsgrenze die Fahrzeugmobilität während eines Maschineneinsatzes kurzfristig noch erhalten bleibt.

Im Ergebnis wird eine solche technische Überlastung des Gassensystems (Gleisbildung) mit massiven Bodenstrukturstörungen (Grundbruch, viskoplastische Bodenverformung) und nachfolgender Vernässung erkaufte, die langfristig betrachtet zum Verlust der Nutzbarkeit der Gasse oder zur Aufrüstung zum Maschinenweg führen.

Zur langfristigen Sicherung des Feinerschließungssystems (vgl. Einleitung zu Kapitel 7, S. 36) muss die technische Funktionsfähigkeit des dauerhaft angelegten Gassensystems erhalten werden. Der technische Bodenschutz richtet sich dann vorrangig an der **Grenze der bodenphysikalischen Belastbarkeit** aus (vgl. S. 36).

Das Gebot, Gassen schonend zu befahren, gilt ausnahmslos auf allen (befahrbaren) Standorten und unter allen Einsatzbedingungen.

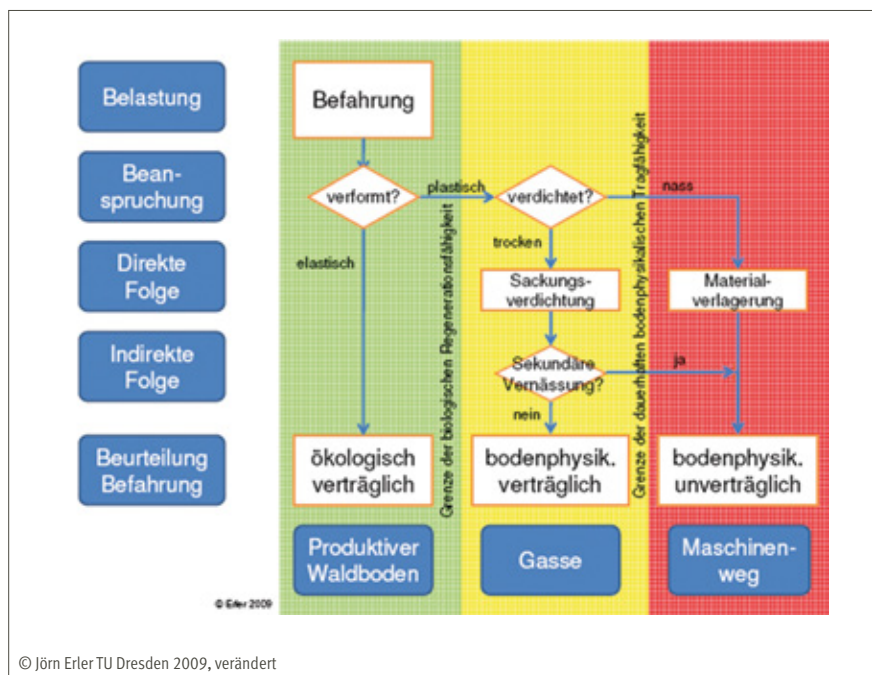
Dort, wo dies selbst unter günstigen meteorologischen Bedingungen mit technischen Mitteln nicht zu gewährleisten ist, ist die Gasse kein geeignetes Feinerschließungsmittel.

Für die praktische Umsetzung werden mit Abbildung 7.3 und Tabelle 7.1 Beurteilungshilfen zur Unterscheidung von tolerierbaren, grenzwertigen und nicht tolerierbaren Bodenverformungen auf der Gasse gegeben.

Abb. 7.3 veranschaulicht für die **Befahrung der Rückegassen** mit den hinterlegten Ampelfarben in vereinfachter Form die Abgrenzung zwischen

- **ökologisch verträglicher Befahrung** bei elastischer (nach Entlastung sich wieder rückbildender) Bodenverformung ohne Spurbildung
- **technisch verträglicher Befahrung** bei plastischer (dauerhaft verbleibender) Bodenverformung mit Spurbildung (Sackungsverdichtung)
- **technisch unverträglicher Befahrung**
 - bei viskoplastischer Bodenverformung mit Spurbildung und seitlicher Spurrandaufwölbung **oder**
 - bei plastischer Bodenverformung mit Spurbildung und sekundärer (= nachfolgender) Spurvernässung.

Das Beurteilungsschema kann als allgemein verbindlicher Maßstab für das Befahrungs- und Rückegassen-Management auf allen Waldstandorten verwendet werden. Die Gelb-Rot-Grenze der bodenphysikalisch verträglichen Befahrung sollte nicht überschritten werden, da sonst neben erheblichen Folgekosten für die Gassensanierung auch mit dem irreversiblen Verlust der Gassenfunktion zu rechnen ist.



© Jörn Eiler TU Dresden 2009, verändert

Abb. 7.3: Beurteilungsschema für die Maschinenbefahrung in ebenem bis schwach geneigtem Gelände (ohne Erosionsgefahr)

Da die Grenze zur technischen Unverträglichkeit (Glossar, S. 90) in Abhängigkeit von Standort, Witterung, Technik und Verfahren variabel ist, führt eine pauschale Festlegung von Toleranz- oder Grenzwerten für eine (noch) zulässige Fahrspurtiefe bzw. für eine (noch) zulässige Funktionsschädigung des dauerhaften Feinerschließungssystems zu falschen Ergebnissen¹⁵.

Maßgebliches Kriterium zur Beurteilung der Verträglichkeit der Maschinenbefahrung ist der Spurtyp auf der Fahrgasse.

Beurteilung der Spurtypen und Konsequenzen für die Befahrung

Das Beurteilungsschema in Tabelle 7.1 präzisiert an Hand von vier definierten Spurtypen den Toleranzrahmen der bodenschonenden

¹⁵ Die in den Bodenschutzrichtlinien einzelner Bundesländer zulässigen Spurtiefengrenzwerte auf Fahrgassen variieren von 10 cm bis >40 cm. Auch die Forstzertifizierungsstandards von PEFC und FSC verzichten auf die Festlegung von Toleranz-, Grenz- und Prüfwerten für Bodenschäden beim Forsttechnikeinsatz.



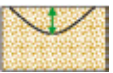
Abb. 7.4: Die Aufarbeitung von Kalamitätsflächen stellt besondere Anforderungen an Organisation und Durchführung der Holzernte.

Maschinenbefahrung. Nur bei Ausbildung von Spurtyp 1 und 2 ist eine dauerhafte Funktionsfähigkeit des Feinerschließungssystems bzw. eine bodenschonende Maschinenbefahrung gewährleistet.

irreversiblen Gassenschäden zu rechnen. Damit verbunden ist kostenintensiver Sanierungsbedarf und ein möglicher Verstoß gegen Forstzertifizierungsvorschriften (PEFC, FSC).

Die beginnende (auch nur teilweise) Ausbildung von Spurtyp 3 oder 4 ist ein optisches Warnsignal für die Überschreitung der natürlichen Bodentragfähigkeit und Gefährdung der technischen Gassenfunktion. Bei Missachtung dieses optischen Warnsignals und Unterlassung technischer und/oder arbeitsorganisatorischer Gegenmaßnahmen ist mit

TAB. 7.1: ÖKOLOGISCHE UND TECHNISCHE BEURTEILUNG VERSCHIEDENER SPURTYPEN AUF RÜCKEGASSEN MIT TECHNISCH-ORGANISATORISCHEN MASSGABEN

Spurtyp	Forstökologischer Standortstyp	Ökologische Beurteilung	Technische Beurteilung	Technisch-organisatorische Maßnahmen
Spurtyp 1  Elastische Verformung	„Trockene“ Standorte Wenig verdichtungsempfindliche Substrate	ökologisch verträglich Beeinträchtigung ist mittelfristig natürlich regenerierbar	technisch verträglich Rückegasse ist dauerhaft funktionsfähig	keine
Spurtyp 2  Plastische Verformung (Sackungsverdichtung)	„Frische“ Standorte Verdichtungsempfindliche Substrate (lehmiger Sand – sandiger Lehm)	ökologisch nicht verträglich Bodenverdichtung ist langfristig nicht von selbst natürlich regenerierbar	technisch verträglich Rückegasse ist dauerhaft funktionsfähig	Zusatzrüstung (Bogiebänder) mitführen und bei Bedarf einsetzen
Spurtyp 3  Plastische Verformung mit Sekundärer Vernässung	„Sehr frische – feuchte“ Standorte (Sehr) verdichtungsempfindliche Substrate bei ungünstiger Witterung	ökologisch nicht verträglich Gassenvernässung ist ohne Sanierung langfristig nicht von selbst natürlich regenerierbar	technisch nicht verträglich Rückegasse ist ohne Sanierung nicht dauerhaft funktionsfähig	Gezielte, punktuelle Gassenarmierung mit Hiebsresten Ableitung von Oberflächenwasser Arbeitsunterbrechung bei beginnender Spurrandaufwölbung
Spurtyp 4  Viskoplastische Verformung (Seitliche Materialverlagerung mit Spurrandaufwölbung)	„(Wechsel)Feuchte“ Standorte Sehr verdichtungsempfindliche Schlufflehme und Tone „Nasse“ Standorte Nicht ausreichend tragfähige, mineralische oder organische (Misch)Substrate	ökologisch nicht verträglich Spureintiefung ist ohne Sanierung langfristig nicht von selbst natürlich regenerierbar	technisch nicht verträglich Rückegasse ist ohne Sanierung nicht dauerhaft funktionsfähig Drohender Verlust der forsttechnischen Befahrbarkeit („Gleisbildung“)	Arbeitsunterbrechung bei beginnender Spurrandaufwölbung (auch bei Verwendung von Zusatzrüstung) Fortsetzung des Maschineneinsatzes nur nach schriftlicher Weisung des Auftraggebers (Zertifikatsverstoß)

8 BETRIEBLICHE PLANUNG ALS GRUNDLAGE DER BEFAHRUNGSBEGRENZUNG

8.1 Maßnahmen für eine dauerhafte Feinerschließung

*Jürgen Weis, Friedbert Ritter, Bernd Flehsig,
Dr. Udo Hans Sauter, Werner Wernecke*

1. Grundlagen der Feinerschließungsplanung

Feinerschließungssysteme durch Rückegassen sichern den Zugang zu Waldflächen für forstliche Spezialtechnik, insbesondere zur Durchführung forstwirtschaftlicher Maßnahmen, zur Fällung von Bäumen, Aufarbeitung von Holzsortimenten und Bringung von Holz zu den Wegen und Lagerorten der Basiserschließung.

Eine ingenieurmäßige Feinerschließungsplanung setzt idealerweise mehrstufig an:

1. **Festlegung der Basiserschließung** mit LKW-befahrten Wegen,
2. **Ausweisung von Erschließungseinheiten** innerhalb der Basiserschließung sowie
3. **Festlegung aller wesentlichen Grundsätze** und Vorgaben für eine Zustandserfassung (Ist-Erschließung) und Soll-Erschließung.

Die dauerhafte Feinerschließung erfolgt nicht mehr waldortbezogen, sondern waldortübergreifend und waldgenerationenübergreifend.

Das heißt, sie wird durch alle Waldentwicklungsphasen (Kulturen, Jungbestände, Durchforstungs- und Altbestände) hindurch

- geplant,
- dokumentiert und
- festgelegt.

Die Erschließungsplanung nutzt alle verfügbaren Informationsquellen (z.B. Lidar-Daten¹⁶, Naturschutz-Informationssysteme, technologische Befahrungskarten, Sensibilitätsklassen), um bei der Planung **positive und negative Kardinalpunkte**, die sich auf die Planung auswirken können, rechtzeitig zu erkennen. Dazu gehören unbedingt zu umgehende Bereiche wie Felsen oder andere nicht befahrbare Stellen. Die Dokumentation und die Verortung in Geoinformationssystemen (GIS) sichert im Fall von Sturmkatastrophen das Wiederauffinden der Befahrungslinien im Verhau.

¹⁶ Laserscan-Daten, die im Forstbereich in der Regel durch Befliegung gewonnen werden



Abb. 8.1: Felderfassung zur Rekonstruktion von Rückegassen in Sturmwurfflächen auf der Basis von D-GNSS (Differentielles Globales Satellitensystem).

2. Anforderungen an Planung und Dokumentation

Die Betriebsleitung bzw. in größeren Forstbetrieben die Revierleitung in ihrem Zuständigkeitsbereich ist für die ordnungsgemäße, richtlinienkonforme Basis- und Feinerschließung verantwortlich.

Die Erschließungseinheiten werden in der Regel durch LKW-befahrbare Wege abgegrenzt.

GRENZEN DER FEINERSCHLIESSUNG

Sofern auch bei Anwendung bodendruckreduzierender Technik die Erhaltung der **forsttechnischen Befahrbarkeit/technischen Funktionsfähigkeit** nicht möglich ist (sog. Weichböden), werden keine Rückegassen angelegt.

Dies gilt ebenso bei Hangneigung über 50% (Nds.: 45%).

Grundsätzliche Anforderungen an ein dauerhaftes Feinerschließungsnetz:

- Der Erschließungsplanung geht die Informationsbeschaffung (natur- und bodenschutzrelevante Aspekte, Bodendenkmäler, Topographie, ...) voraus. Vorhandene digitale Lidar-Daten (Laserscan-Daten) können die Planung wirkungsvoll unterstützen, indem die vorhandene Befahrung identifiziert und die in der Fläche befindlichen Kardinalpunkte (d.h. insbesondere negative Ausschlusspunkte) erkennbar werden.
- Die Feinerschließung muss lagegenau dokumentiert werden, möglichst in einem GIS-System. Im Bedarfsfall (z.B. nach Sturmwurf) kann man damit im Gelände die vorhandenen Befahrungslinien wieder auffinden.
- Zur leichteren Wiederauffindbarkeit der Rückegassen nach Kalamitäten empfiehlt es sich, die Rückegassen möglichst in regelmäßigen Abständen anzulegen.
- Die Rückegassenabstände betragen je nach der betrieblichen Zielsetzung und den jeweiligen Rahmenbedingungen (z.B. Zertifizierung nach FSC, PEFC) üblicherweise 20 m, 30 m oder 40 m. Ein Rückegassenabstand von unter 20 m widerspricht in jedem Fall den Zertifizierungsanforderungen und scheidet daher aus.
- Der Rückegassenabstand muss in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten und der Topographie festgelegt werden. In ebenen Lagen sollte der Rückegassenverlauf gerade, parallel und in möglichst regelmäßigem Abstand geplant werden.

- Nachhaltige, dauerhafte Feinerschließungskonzepte berücksichtigen die geometrische Minimierung des Befahrungsprozentes auf der Waldfläche. Dies wird durch einen weitgehend rechtwinkligen Rückegassenverlauf zur Geometrie des Hauptabfuhrwegs erreicht. Idealerweise sind möglichst gerade Rückegassenverläufe anzustreben. Dadurch wird auch die Belastung durch Scherkräfte verringert, die bei Kurvenfahrten verstärkt auftreten. Dies gilt in besonderem Maße für die Befahrung mit Raupenfahrwerken. Der Einmündungsbereich zu Fahr- und Maschinenwegen kann in ebenen Lagen zur Vermeidung von Bestandsschäden mit kurvigem Verlauf und somit mit einem Winkel $< 90^\circ$ ausgeformt werden. Im Übergangsgelände (Hangneigungen von 35 bis 50 %) können die Abstände je nach vorliegenden Gelände-Restriktionen variieren (Blocküberlagerungen, Felspartien = negative Kardinalpunkte). Der Verlauf erfolgt hier in Falllinie.
- Querneigungen im Linienverlauf dürfen 5 % nicht übersteigen.
- Die Rückegassenbreite beträgt i. d. R. maximal 4 m

Kennzeichnung der Rückegassen

Die in der Planung festgelegten Rückegassen werden im Zuge der Hiebsvorbereitung nach betrieblich festzulegendem Standard durch Farbe (Ringe) oder Markierungsbänder markiert. Aus arbeitsorganisatorischen Gesichtspunkten sollte die Markierung der Rückegassen-Randbäume möglichst gut erkennbar sein. Ein betriebsübergreifend einheitliches System der Markierung, ggf.

mit Nummerierung der Gassen (z.B. in Arbeits- bzw. Maßnahmekarten), kann die räumliche Orientierung bei der Auftragsdurchführung erleichtern.

Rückegassen, die zukünftig nicht mehr benutzt werden sollen, bleiben ohne Markierung oder werden in Sonderfällen durch Absperrbänder kenntlich gemacht.

Integration der bisherigen Feinerschließung

Vorhandene Erschließungen sollten, sofern sinnvoll möglich, in die Erschließungsplanung integriert werden. Sie sollten anhand der oben genannten Kriterien überprüft werden, und zwar spätestens im Jungwuchsstadium bzw. in Laubholzbeständen vor der Erstdurchforstung.

Wenn die Erschließung die oben genannten Anforderungen und Standards nicht erfüllt, muss sie – soweit dies technisch/organisatorisch umsetzbar ist – korrigiert werden.

Bei einer waldortübergreifenden Feinerschließungsplanung in Erschließungseinheiten wird dies nicht immer realisierbar sein. Hier ist abzuwägen, inwieweit eine optimale (neue) Erschließung zu einer Erhöhung des Flächenanteils der befahrenen Fläche führt und welche organisatorischen und waldbaulichen Erfordernisse sich daraus ergeben (z.B. Verzicht der Befahrung von vorhandenen Rückegassen bei Holzerntemaßnahmen, soweit diese in der zukünftigen Erschließungsplanung nicht als Fahrtrassen vorgesehen sind).

Neuanlage eines Feinerschließungsnetzes

Vorbereitung:

Der eigentlichen Planung gehen die Informationsbeschaffung (z.B. natur- und bodenschutzrelevante Aspekte, Bodendenkmäler, Topographie) sowie die Erfassung von Restriktionen (positive und negative **Kardinalpunkte**) durch Flächenbegang voraus.

Genauigkeitsanforderungen in der Dokumentation:

Die Genauigkeitsanforderungen der Kartierung richten sich nach dem beabsichtigten Verwendungszweck:

- Für Inventur und kartographische Darstellung der vorhandenen Befahrungslinien und der relevanten Kardinalpunkte als Grundlage der Planung genügen die Linienverläufe, die über Luftbilder, Karten, Laserscanner-Daten (Lidar) oder nachbearbeitete Aufzeichnung von Harvester-Fahrlinien verfügbar sind. Eine Genauigkeit im Dezimeter- oder Zentimeterbereich ist im Regelfall hierfür nicht erforderlich.
- Zur kartographischen Darstellung der Planung eines auf der Basis der Inventurdaten vollständig abgeleiteten Soll-Erschließungssystems genügt die Genauigkeit der Inventurdaten (± 10 m).

Übertragung der Planung ins Gelände:

Um bei der Neuanlage eines Rückegassensystems die kartographisch erstellte Pla-

nung in das Gelände zu übertragen, ist eine der folgenden Vorgehensweisen möglich:

1. Händische Markierung des Rückegassenverlaufs anhand der Planungsunterlagen beim Ablaufen im Gelände mit Unterstützung herkömmlicher Hilfsmittel oder
2. Überprüfung des kartographisch geplanten Rückegassenverlaufs im Gelände mittels GPS-Empfänger und Tablet-Computer zur Sicherstellung der Umsetzbarkeit (Prüfung der Kardinalpunkte)

Die auf der Planung aufbauende Umsetzung der Feinerschließung in die Fläche kann (in ebenem Gelände bei geradem Rückegassenverlauf) unterstützend durch den Einsatz von Richtlasergeräten erfolgen.

(vgl. Abb. 8.3, nächste Seite)

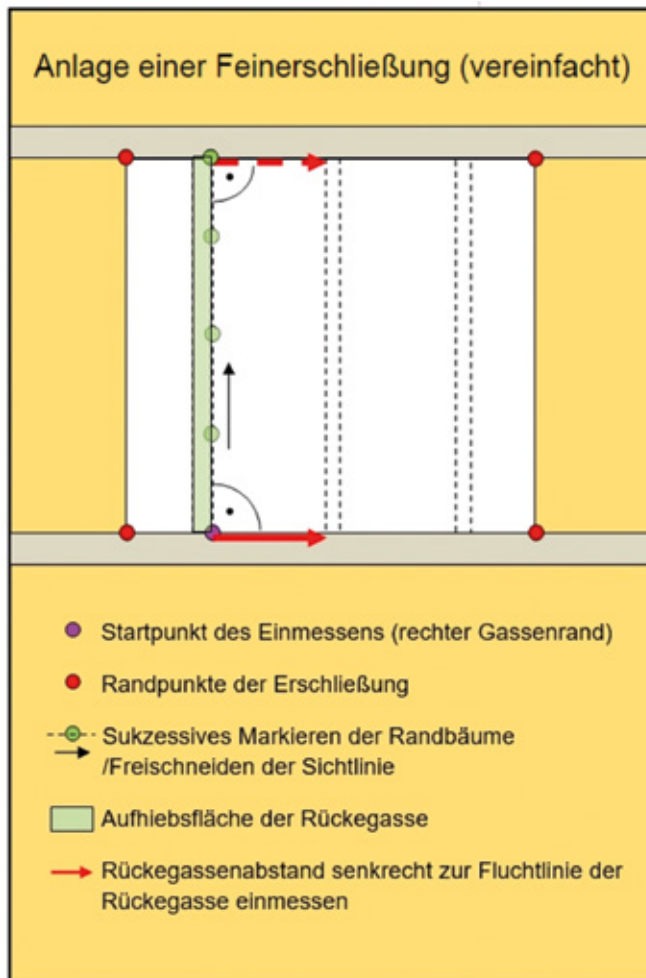
Verfahren „Kastellaun“

Im Forstamt Kastellaun (Landesforsten Rheinland-Pfalz) wurde 2016 ein Pilotprojekt aufgelegt, um ein satellitengestütztes Felderfassungsprogramm mit weitestgehend „lagegenauer“ Positionsbestimmung im Submeterbereich ($\pm 0,25$ m) zu entwickeln. Ziel war es, vorhandene Befahrungslinien zu einem beliebigen Zeitpunkt genau rekonstruieren zu können und Boden- und Kulturdenkmäler oder sensible Naturschutzbereiche, die sich im Rückegassenverlauf befinden, lagegenau zu erfassen. Maßgeblich für die Genauigkeit sind hochwertige Empfangsgeräte, i. d. R. mit Kompassfunktio-



Abb. 8.2: Mit Richtlaser eingelegte Rückegasse

on, das Vorhandensein möglichst optimaler Rahmenbedingungen (u. a. gute Verfügbarkeit und stabile Empfangsmöglichkeit von Korrektursignalen, möglichst nahegelegene Referenzstation; bislang nicht überall gegeben) sowie die Jahreszeit (günstige Bedingungen nur außerhalb des maximalen Saftflusses der Bäume).



© Rainer Schretzmann, BLE

Abb. 8.3: Erläuterung der Vorgehensweise bei der Anlage eines Feinerschließungsnetzes

8.2 Organisatorische Maßnahmen zur Senkung der Beanspruchung und Belastung der Feinerschließung

*Bernd Flechsig, Martin Grüll, Karsten Rose,
Dr. Thomas Schmidt-Langenhorst,
Jürgen Weis, Werner Wernecke*

1. Grundlage Risikomanagement

Risikomanagement Bodenschutz

Durch die Leistungsfähigkeit, Produktivität und Kostenintensität moderner Holzerntesysteme können Maßnahmen zum Bodenschutz nicht erst am Hiebsort getroffen werden. Sie erfordern eine langfristige und vorausschauende Planung, Arbeitsvorbereitung und Organisation.

Deshalb müssen klare Prozessstrukturen (Verantwortlichkeiten, Zuständigkeiten, Termine, Abläufe) geschaffen werden.

Der Holzernteprozess wird stark durch nicht planbare Ereignisse (Witterung, Kalamitäten) beeinflusst. Um Pfléglichkeit, Qualität und planmäßigen Vollzug in der Holzernte zu gewährleisten, muss sie durch ein „Risikomanagement Bodenschutz“ begleitet werden.

Im **Risikomanagement Bodenschutz** werden festgelegt:

1. Grenzwerte zum Bodenschutz,
2. Verantwortlichkeiten,
3. Abläufe,
4. Informationspflichten und

5. Entscheidungsbefugnisse für den Fall kritischer Witterungs- und Bodensituationen

Die betriebliche Festlegung dieser Prozesse trägt dazu bei, den Erfordernissen des Bodenschutzes, den Anforderungen im Rahmen der Waldzertifizierung (PEFC, FSC) und den Aufgaben aufgrund betrieblicher Lieferverpflichtungen bestmöglich gerecht zu werden, und zwar in allen Markt- und Witterungssituationen. Eine schnelle Entscheidungsfindung wird dabei durch die Entwicklung betrieblicher Grundsätze und Qualitätskriterien erleichtert, die den Verantwortlichen einen klaren Handlungsrahmen bieten.

2. Planung

Die technologischen und organisatorischen Fragen des Bodenschutzes müssen mit ausreichendem zeitlichem Vorlauf bereits in der Phase der Jahresplanung berücksichtigt werden.

Hiebsplanung in zusammenhängenden Hiebskomplexen

Für die räumliche Zuordnung der jährlichen Holzeinschlagsmaßnahmen und Flächen hat sich die räumliche Konzentration der Maßnahmen in zusammenhängenden Hiebskomplexen oder Arbeitsblöcken bewährt.

Durch die Bildung von Hiebskomplexen ergeben sich zahlreiche Vorteile im Bereich Planung, Arbeitsvorbereitung und Durchführung von Holzeinschlagsmaßnahmen:

Vorteile

- geringerer Abstimmungs- und Genehmigungsbedarf (z. B. mit Naturschutz- oder Wasserschutzbehörden)
- Zeitersparnis und Erleichterung bei
 - Einweisung und Kontrolle eingesetzter Unternehmer,
 - Holzaufnahme und Holzübergabe sowie
 - Einweisung und Überwachung der Abfuhr
- effektiver Technikeinsatz durch Minimierung der Umsetzzeiten
- das für die Holzernte erforderliche Zeitfenster und damit auch die Witterungsabhängigkeit werden reduziert
- Beeinträchtigungen am Abfuhr- und Waldwegenetz konzentrieren sich räumlich im Revier und können effizient behoben werden.

Im Zuge der Planung können ggf. erforderliche Abstimmungen mit den für Straßenverkehr, Natur- und Wasserschutz zuständigen Behörden und mit den Tourismusverbänden erfolgen.

Berücksichtigung der Bodenfeuchte in der Planung

Für die Erhaltung der Tragfähigkeit spielt die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Befahrung eine entscheidende Rolle. Durch die Berücksichtigung der Standortskartierung und langjähriger Erfahrungen zum Jahresverlauf von Bodenfeuchte und Niederschlag erfolgt die Planung und zeitliche Einordnung von Hiebsmaßnahmen auf sensiblen Standorten in Zeiträumen mit der geringsten Nie-

derschlagswahrscheinlichkeit und einem geringen Bodenwassergehalt.

Es empfiehlt sich, wo immer möglich, innerhalb der Hiebsblöcke weniger befahrungsempfindliche Standorte für Ausweicarbeiten in Schlechtwetterphasen festzulegen.

3. Organisation des betrieblichen Maschineneinsatzes

a) Arbeitsvorbereitung

Entscheidend ist, dass **Arbeitsverfahren** und **Feinerschließung** an den Standort sowie die Bestände angepasst und aufeinander abgestimmt sind!

Aufgaben der Arbeitsvorbereitung

- Grundsätze erstellen zu Technologiewahl und Bestandeserschließung
- Waldflächen gliedern nach Befahrbarkeitsklassen
- Technologische Karte mit Befahrbarkeits-Bewertung des Standortes (Bodentragfähigkeit und Geländeneigung)
- Festlegung von Erschließungsgebieten mit definierter Standardtechnologie
- Befahrungsregime für Hanglagen festlegen
- Notwendige Zusatzausrüstung entsprechend der Technologieauswahl definieren

Befahrbarkeit des Bodens

Bewährt hat sich die Erstellung einer **Technologischen Karte** auf Basis der Standortkarte. Dabei werden Hangneigung, Bodenwasserhaushalt und Feinbodenart (Feinsubstrat im Oberboden) berücksichtigt. In die Karte werden Leitbodenprofile

TAB. 8.1 BEFAHRBARKEIT DER RÜCKEGASSEN: HIER ALS BEISPIEL DIE SÄCHSISCHE RICHTLINIE HOLZERNTETECHNOLOGIEN (STAATSBETRIEB SACHSENFÖRST, 2006): STANDÖRTLICHE BEFAHRBARKEITSKLASSEN (B1–B5)

Klasse	dominierende Feuchtestufen	Erläuterungen
B1	T3, T2 trockenere und mäßig frische unvernässte Standorte	befahrbar
B2	T1, F	eingeschränkt befahrbar bei Befahrung Bodenfeuchte und Witterung beachten! (teilweise sind auch erosionsgefährdete trockene Standorte dieser Befahrbarkeitsklasse zuzuordnen i. S. der erhöhten Ansprüche an Verfahren und Technologie)
B3	W, Ü, N2 (stau feucht) stauwassergeprägte Standorte; aueartige (Überflutungs-)Standorte	stark eingeschränkt befahrbar Standorte mit Wechsel von Wasserübersättigung und unterschiedlich lang andauernden Austrocknungsphasen (in Nassphasen ist Erhalt der forsttechnischen Befahrbarkeit gefährdet; in Trockenphasen in Abhängigkeit vom Bodensubstrat relativ gut befahrbar); Befahrung ist auf Austrocknungsperioden des Bodens zu konzentrieren; in Feucht- und Nassphasen sowie Regenperioden keine Befahrung!
B4	N2 (grundfeucht) N1, B, O hydromorphe (dauerhafte) Standorte [einschließlich Moore u. Bachtälchen]	kaum befahrbar hochsensibel, vorrangig extensiv zu bewirtschaftende Standorte; Befahrung nur mit sehr geringem Bodendruck möglich in Anpassung an Vorfeuchte und Wettersituation (z. B. Frostperioden nutzen)
B5	S, X schutzwaldartige (Steilhang-) Standorte [sowie nicht befahrbare Komplexstandorte, Wasserflächen]	nicht befahrbar Standorte, auf denen eine Befahrung mit Forstmaschinen aus technologischen Gründen nicht mehr möglich ist.

(soweit vorhanden) aufgenommen. Daraus wird die Bewertung der Befahrbarkeit des Bodens abgeleitet.

Gliederung in Erschließungsgebiete

Für Strukturierung und Anlage des Feinerschließungsnetzes empfiehlt sich die Festlegung von Erschließungsgebieten, für die eine optimal wirkende Standardtechnologie definiert werden kann.

Die Anlage der Feinerschließung muss so erfolgen, dass **Bestandesschäden** und Schäden am Gassensystem minimiert werden. Die **Befahrungsrichtung** und die Befahrungsfrequenz spielen neben der Witterung eine entscheidende Rolle für die dauerhafte Sicherung der forsttechnischen Befahrbarkeit des Feinerschließungsnetzes (vgl. Erläuterungskästchen mit Definition „Forsttechnische Befahrbarkeit“, Kap. 7 Einleitung).

Standortbedingt können Teile der permanenten Feinerschließung nicht ganzjährig oder bei jeder Witterung befahrbar sein (vgl. Beispiel Sachsenforst, Tab. 8.1: Befahrbarkeitsklassen B2–B4). Im Falle besonders befahrungssensibler Standorte sowie in Phasen ungünstiger Witterung können mit Seilschlepper oder Forwarder durchgeführte Lastfahrten bergauf bereits ab 5 % Hangneigung zu einer technischen Bodenbeeinträchtigung (Beeinträchtigung der forsttechnischen Befahrbarkeit) führen.

Für diese Flächen ist vorbereitend die Planung und Anlage eines Feinerschließungssystems anzustreben, welches eine **Befah-**

rung der Rückegassen bergab bzw. eine Art „Kreisverkehr“ ermöglicht.

D. h.

- befahrbare Sammelgasse/Maschinenweg am Oberhang
- Rückegasse/Maschinenweg für den Aufstieg festlegen („Aufstiegsgasse“)
- Rückegassen müssen am Hangfuß verlassen werden können

Befahrung in Hanglagen

Ergänzt wird dies durch ein Befahrungssystem für Hanglagen und Gebirgsstandorte.

GRENZWERTE FÜR DEN EINSATZ VON RÜCKEMASCHINEN UNTER BODENSCHUTZASPEKTEN

- 0–4 % Hangneigung (HN): Eine richtungsunabhängige Befahrung ist möglich (Leerfahrten/Lastfahrten hangaufwärts und hangabwärts)
- 5–20 % HN: Eine richtungsunabhängige Befahrung ist bedingt möglich (Leerfahrten hangaufwärts möglich/Lastfahrten nur hangabwärts)
- 21–45 % HN: Grundsätzlich richtungsabhängige Befahrung (Lastfahrten nur hangabwärts, Leerfahrt nur auf festgelegten Aufstiegsgassen, „Kreisverkehr ermöglichen“)
- 21–50 % HN: Einsatz von Radfahrzeugen mit Traktionshilfswinde (Lastfahrten auch bergauf möglich)
- > 45/50 % HN: Seilkrangelände/Grenze für bodengebundene Rückung

Der Bodenschutzeffekt kann durch die standortsabhängige Vorgabe von bodenschonenden Zusatzausrüstungen nochmals verbessert werden. Diese gewährleisten eine größere Unabhängigkeit von Perioden mit ungünstiger Witterung.

TAB.8.2: STANDORTSABHÄNGIGE EMPFEHLUNG VON BODENSCHONENDEN ZUSATZAUSRÜSTUNGEN (HIER AM BEISPIEL DES STAATSBETRIEBS SACHSENFORST)

Hangneigung ¹⁷		Befahrbarkeit			
		befahrbar	eingeschränkt befahrbar	stark eingeschränkt befahrbar	kaum befahrbar
0–4 %	Harvester/Forwarder	mind. Universal- oder Kombinationsbänder bereithalten	mind. Universal- oder Kombi- nationsbänder bereithalten	Tragbänder (Moorbänder) einsetzen	Tragbänder (Moorbänder) einsetzen
	Seilschlepper	Gleitschutzketten od. Bänder bereithalten	Gleitschutzketten od. Bänder bereithalten	Einsatz nur vom Maschinen- oder Abfuhrweg aus	
5–20 %	Harvester/Forwarder	mind. Universal- oder Kombinationsbänder bereithalten	Kombinationsbänder bereit- halten	Kombinations- oder Tragbänder einsetzen	
	Seilschlepper	Gleitschutzketten od. Bänder bereithalten	Gleitschutzketten od. Bänder bereithalten	Einsatz nur vom Maschinen- oder Abfuhrweg aus	
20–30 %	Harvester/Forwarder	Universal-, Kombinations- oder Bergbänder bereithalten		Universal-, Kombinations- oder Bergbänder einsetzen	
	Seilschlepper	Gleitschutzketten od. Bänder vorgeschrieben		Einsatz nur vom Maschinen- oder Abfuhrweg aus	
31–40 (45) %	Harvester/Forwarder	Bergbänder vorgeschrieben/Traktionshilfswinde einsetzen (Ketten- oder Raupenfahrwerke)			
	Seilschlepper	Einsatz nur vom Maschinen- oder Abfuhrweg aus			
> 45 %	Harvester/Forwarder	Einsatz nur vom Maschinen- oder Abfuhrweg aus bis 50 % mit Traktionshilfswinde			
	Seilschlepper	Einsatz nur vom Maschinen- oder Abfuhrweg aus			

¹⁷ Je nach Bundesland können andere Abgrenzungen/Grenzwerte gelten.

Grundwasserbeeinflusste bzw. stauwasserprägte Standorte (z.B. Gley, Anmoor, Stagnogley), die nur stark eingeschränkt (B3) oder kaum befahrbar (B4) sind, machen eine angepasste Technologie erforderlich.

Hier können Kurzstreckenseilkran- oder Yardverfahren bereits unter Flachlandbedingungen geeignete Alternativen darstellen, wenn Tragbandausstattung oder Raupenlaufwerke keine ausreichende Bodenschonung erwarten lassen.

Flächenvorbereitung

In Erschließungsgebieten (jedem Erschließungsgebiet ist die jeweilige Optimaltechnologie zugeordnet, siehe vorheriger Punkt) werden die Grundsätze und Ergebnisse der Arbeitsvorbereitung auf die Fläche übertragen und umgesetzt:

- Anlage und Markierung der Feinerschließung
 - Anbindung ans Abfuhrwegenetz (wo befinden sich die Hauptfahrwege?)
 - wenn erforderlich, Anlage und Ausbau von Maschinenwegen
 - schematische Anlage und dauerhafte Markierung der Rückegassen
- Festlegung der Polterplätze/Kalkulation notwendiger Polterplatzkapazitäten
- gut sichtbare und eindeutige Auszeichnung des ausscheidenden Bestandes

b) Auftragsgestaltung/ Auftragsvergabe

Die betrieblichen Qualitätsanforderungen und Vorgaben zum Bodenschutz müssen Bestandteil der Verträge und Aufträge sein.

Um für die zu erbringende Leistung einen auskömmlichen Preis kalkulieren zu können, müssen die Qualitätsanforderungen und Vorgaben zum Bodenschutz bereits im Rahmen einer Leistungsbeschreibung definiert sein:

- Befahrbarkeit des Standortes
- Restriktionen und Anforderungen durch Schutz- und Erholungsfunktionen
- technische Anforderungen an Maschinen (Reifenbreite, Achsanzahl)
- technische Zusatzausrüstung (Bänder, Traktionshilfswinde)
- Risikomanagement „Bodenschutz“
- organisatorische Anforderungen

c) Holzernte/Maschineneinsatz

Die Einweisung vor Ort und die Einsatzüberwachung sind zentrale Bestandteile des Risikomanagements „Bodenschutz“. Sie müssen so organisiert sein, dass dem Forstbetrieb jederzeit alle relevanten Informationen zur Verfügung stehen, so dass eine angemessene Reaktion unmittelbar möglich ist.

Wesentliche Inhalte sind:

- die Überprüfung der in der Leistungsbeschreibung geforderten und mit der Auftragserteilung vertraglich vereinbarten technischen und personellen Ausstattung (vereinbarte Technologie, Vorhandensein eines Ölunfall-Soforthilfepakets, Anforderungen an den Maschinenzustand, zusätzliche technische Bodenschutz-ausstattung)
- Hiebsfortschritt
- Qualität der wertoptimierten Sortenaushaltung

- Situation und Zustand der Feinerschließung
- Informationspflicht bei Havarien oder Erreichen der festgelegten Grenzwerte (Boden- und Bestandesschäden)

d) Flächenabnahme

Mit der Abnahme werden der Ablauf und das qualitative Ergebnis der Holzerntemaßnahme dokumentiert. Die geeignete Form des Abnahmeprotokolls ist eine Checkliste, in der die vereinbarten Qualitätsanforderungen und Leistungen bewertet werden. Das Abnahmeprotokoll ist somit ein wichtiger Baustein der Qualitätsverbesserung im Forstbetrieb und bei dem beauftragten Unternehmen.

8.3 Holzerntesysteme und Bodenpfleglichkeit – Welches Verfahren für welchen Standort und welche Bedingungen?

Prof. Dr. Jörn Erler, Martin Grüll, Dr. Günther Weise, Dr. Thomas Schmidt-Langenhorst

Der Einsatz moderner Holzerntetechnik wird regelmäßig mit den Anforderungen schonend, pfleglich, verträglich, angepasst o.ä. verbunden. Bei der praktischen Umsetzung stellt sich die Frage, wie man diesen Anforderungen bei der Vielfalt der Waldstandorte, Holzernteverfahren, Einsatzsituationen und Witterungsbedingungen gerecht werden kann und wo die Grenzen der technischen Verträglichkeit liegen.

Da Eigenmasse und Nutzlast moderner Forstspezialmaschinen eine biologisch verträgliche Befahrung von Waldböden nur im seltenen Ausnahmefall (Trockenheit, Frost) zulassen, wird die Grundanforderung an die Bodenpfleglichkeit dadurch erfüllt, dass man auf flächige Befahrung verzichtet und jegliche Fahrzeugbewegung an dauerhafte Fahrlinien, die Rückegassen, bindet. Dieser Kompromiss, mit dem ein Teil der Produktionsfläche permanent für die Maschinenbefahrung umgewidmet wird, erfordert die Einhaltung bestimmter Regeln, um technische Überlastungsschäden an diesem Fahr-gassensystem zuverlässig zu vermeiden.

Einschätzung der Risiken – Technikfolgenabschätzung

Zur Einschätzung des Risikos von Technikfolgeschäden kann man auf Basis der forstlichen Standortserkundung eine forsttechnische Standortsklassifizierung nach Befahrbarkeitsklassen vornehmen (bezogen auf die Rückegassen). Mit ihr lässt sich die technische Belastbarkeit der verschiedenen Waldstandorte bewerten.

Die Einstufung kann sich je nach dem aktuellen Bodenzustand verändern. Kurzfristige witterungsbedingte Veränderungen der Befahrbarkeit (Trockenheit, Regen) können durch einen einstufigen Zu- oder Abschlag der Standortfeuchtestufe berücksichtigt werden (Abb. 8.5). Hinzu kommt die Berücksichtigung der Hangneigung (vgl. dazu auch Tabelle 8.2, Seite 60).

Wasserhaushalt	trocken – mäßig frisch	frisch – sehr frisch	feucht	nass	sumpfig/ sehr nass
Befahrbarkeit	befahrbar	eingeschränkt befahrbar	stark eingeschränkt befahrbar	kaum befahrbar	nicht befahrbar
Befahrbarkeitsklasse	T1	T2	T3	T4	T5

© nach Erler/Grüll, nach Staatsbetrieb Sachsenforst 2006, verändert

Abb. 8.5: Forsttechnische Standortsklassifizierung zur Einschätzung der Befahrbarkeit. Die Hangneigung ist dabei gesondert zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 8.2).

	Intensität der Erschließung	Flächenanteil der befahrenen Bestandesfläche	
 Zunehmender Anteil der befahrenen Fläche	Maschinenweg/ Seiltrasse	0 %	 Zunehmende Kosten der Holzernte
	Rückegassen im Abstand von 60 m	7 %	
	Rückegassen im Abstand von 40 m	10 %	
	Rückegassen im Abstand von 20 m	20 %	
	Keine permanente Rückegasse ¹⁾	> 20 %	

¹⁾ Bei Befahrung auf nicht festgelegten Rückegassen steigt in der Regel der Anteil der befahrenen Fläche deutlich über 20 %. Dies gilt besonders dann, wenn man die Bestandesfläche über mehrere Eingriffe hinweg betrachtet.

© Rainer Schretzmann, BLE

Abb. 8.6: Veränderung von Holzerntekosten und der befahrenen Fläche in Abhängigkeit von der gewählten Erschließungsintensität

Über die rein forsttechnische Beurteilung der Befahrbarkeit hinaus ist der Anteil der befahrenen Fläche an der Holzbodenfläche ein wichtiges Kriterium. Dem Forstbetrieb stehen in der Regel für die Holzernte unterschiedliche technische Alternativen zur Verfügung, von denen jede eine spezifische Flächeninanspruchnahme für die Befahrung hat.

Dies kann besonders dann von Bedeutung sein, wenn es sich um ertragreiche Standorte oder wertvolle Bestände (z.B. FFH-Waldlebensraumtypen) handelt. In solchen Fällen können andere wichtige Kriterien wie die Beurteilung der Arbeitsproduktivität oder der Wirtschaftlichkeit in ihrer Bedeutung zurücktreten.

Als Beurteilungsmaßstab für die Intensität der Erschließung und damit den Anteil der befahrenen Fläche ist deshalb eine **Klassifizierung des Bodenwertes** wichtig (mithin die Bewertung eines ertragreichen bzw. aus anderen Gründen wertvollen, ungestörten Standortes). Je höher der Bodenwert eingestuft wird, desto geringer sollte der Anteil der befahrenen Fläche sein!

Daraus lässt sich die modifizierte **forsttechnische Standortsklassifizierung** ableiten:

Die zwei Eingangsgrößen zur Zuordnung eines bestimmten Waldstandorts zu einer forsttechnischen Standortsklasse sind der Bodenwert (P-Klasse) und die Befahrbarkeit (T-Klasse). Das natürliche Leistungsvermögen wird in fünf Bodenwertklassen (sehr hoch – sehr gering) unterteilt, und die verschiedenen Standortsfeuchtestufen werden fünf Befahrbarkeitsklassen (uneingeschränkt befahrbar – nicht befahrbar) zu geordnet.

					Standortsfeuchtestufen				
					trocken mäßig frisch	frisch – sehr frisch	feucht	nass	sumpfig
					befahrbar T1	Einge- schränkt befahrbar T2	stark ein- geschränkt befahrbar T3	kaum befahrbar T4	nicht befahrbar T5
Bodenwertklasse	sehr hoch P6	Intensität der Erschließung (Anteil der befahrenen Fläche)	Maschinenweg/ Seiltrasse (0 %)		P5T1	P5T2	P5T3	P5T4	P5T5
	hoch P4		Rückegassen im Abstand von 60 m (7 %)		P4T1	P4T2	P4T3	P4T4	
	mittel P3		Rückegassen im Abstand von 40 m (10 %)		P3T1	P3T2	P3T3	P3T4	
	gering P2		Rückegassen im Abstand von 20 m (20 %)		P2T1	P2T2	P2T3	P2T4	
	sehr gering P1		Keine permanente Rückegasse (> 20 %)		P1T1	P1T2	P1T3	P1T4	

© Prof. Dr. Jörn Erler/Professur Forsttechnik, Technische Universität Dresden, verändert

Abb. 8.7: Forsttechnische Standortsklassifizierung

Da auf nicht befahrbaren Standorten bodengebundene Holzernteverfahren auscheiden und der Technikeinsatz nur vom Maschinenweg aus oder auf Seiltrassen erfolgen kann, sind die Auswahlfelder mit Rückegassen in Klasse T5 gesperrt.

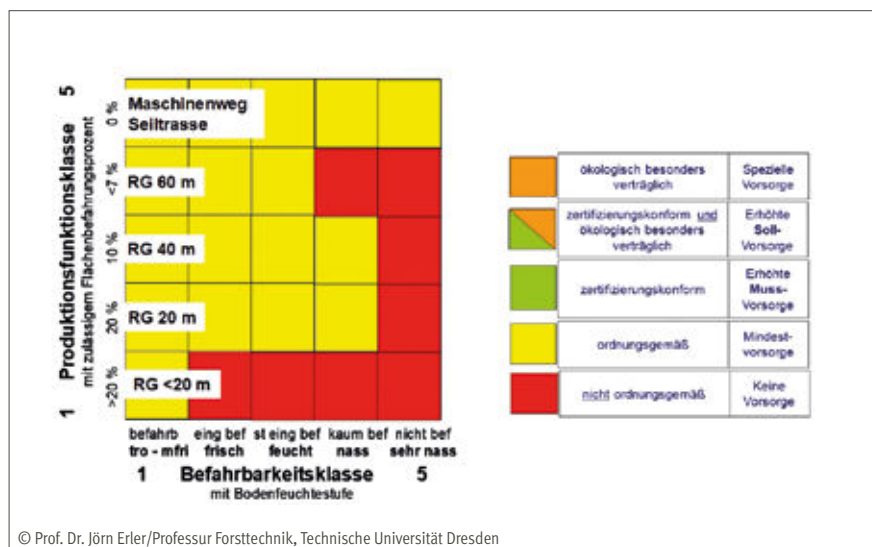
Kurzfristige witterungsbedingte Veränderungen der Befahrbarkeit (Trockenheit, Regen) können durch einstufigen Zu- oder Abschlag der Standortsfeuchtestufe berücksichtigt werden.

Das Technogramm der forsttechnischen Standortsklasse

Im nächsten Schritt werden mit Hilfe des sog. Standortstechnogramms (Abb. 8.8.1–

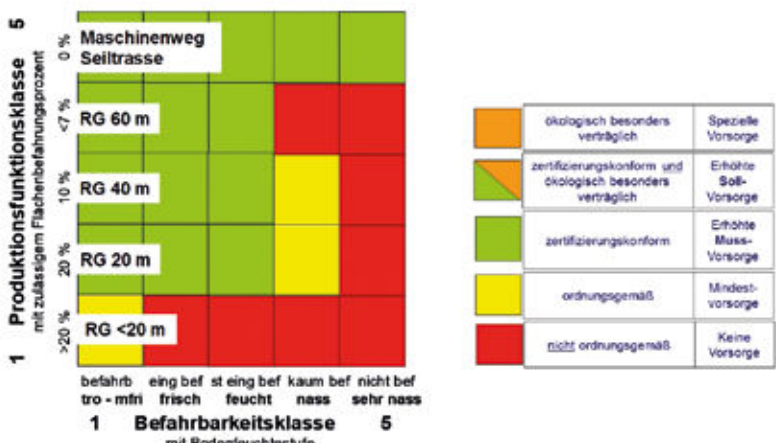
8.8.3) fünf Stufen des vorsorgenden Bodenschutzes bildlich vereinfacht mit Ampelfarben gekennzeichnet. Für jedes Feld einer forsttechnischen Standortsklasse (Abb. 8.7: rot umrandete Felder) werden eine Feinerschließungsempfehlung (Gassenabstand) und ein Befahrungshinweis gegeben.

Abb. 8.8.1–8.8.3 veranschaulichen den Grundaufbau des Standortstechnogramms jeweils getrennt für die drei Vorsorgestufen „ordnungsgemäß“, „forstertifizierungskonform“ und „ökologisch besonders verträglich“. Für jede forsttechnische Standortsklasse und jede Vorsorgestufe wird eine unmissverständliche Handlungsempfehlung gegeben.



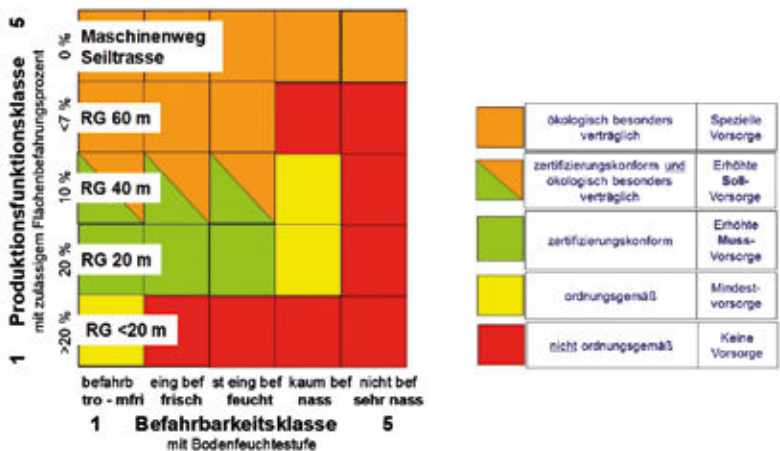
© Prof. Dr. Jörn Erler/Professur Forsttechnik, Technische Universität Dresden

Abb. 8.8.1: Standortstechnogramm der ordnungsgemäßen Mindestvorsorge



© Prof. Dr. Jörn Erler/Professur Forsttechnik, Technische Universität Dresden

Abb. 8.8.2: Standortstechnogramm der erhöhten Forstzertifizierungsvorsorge



© Prof. Dr. Jörn Erler/Professur Forsttechnik, Technische Universität Dresden

Abb. 8.8.3: Standortstechnogramm der speziellen Bodenschutzvorsorge

Das Standortstechnogramm ist wie folgt zu interpretieren:

- **nicht ordnungsgemäß (rot)**
 - nicht gassengebundene Befahrung aller Standorte (Ausnahme: Standorte in Klasse P1T1 – arm, trocken)
 - Befahrung technisch nicht befahrbarer, sehr nasser (T5) Standorte
 - Belastungskonzentration auf stark erweiterte Gassen (60 m) auf kaum befahrbaren (T4) Standorten
- **ordnungsgemäß (gelb)**
 - gassengebundene Befahrung im Abstand ≥ 20 m bis zur Grenze der technischen Funktionsfähigkeit
 - gassengebundene Befahrung im Abstand < 20 m nur auf trockenen Standorten mit sehr geringem Bodenfunktionswert
 - Einsatz nicht bodengebundener Holzernteverfahren mit Seilzug
- **zertifizierungskonform (grün und orange)**
 - gassengebundene Befahrung in dem vom Zertifizierungssystem geforderten Mindestgassenabstand (20 m) oder im erweiterten Gassenabstand (40–60 m)
 - Beachtung des Gassenschonungsgebots und Befahrung nur bis T3 (stark eingeschränkt befahrbar) zur Gewährleistung der dauerhaften technischen Funktionsfähigkeit
 - Einsatz nicht bodengebundener Holzernteverfahren mit Seilzug
- **ökologisch besonders verträglich (orange)**
 - Verringerung der Befahrungsfläche

durch Erweiterung des Gassenabstands mit steigendem Bodenwert

- Mindestgassenabstand ≥ 40 m
- Bodengebundene Holzernte nur bis Befahrbarkeitsklasse T3 (stark eingeschränkt befahrbar)
- Verzicht auf die Gassenbefahrung von Standorten mit sehr hohem Bodenwert (P5) und sehr hoher Bodenfeuchte (T4, T5) und Forsttechnikeinsatz nur vom Maschinenweg oder von der Seiltrasse aus (Rückung mit Seilkran oder Seilwinde)

Das Ökogramm des Holzernteverfahrens

Sobald im konkreten Einsatzfall ein Feld im Standortstechnogramm gefunden wurde, das den erschließungstechnischen und standörtlichen Gegebenheiten gut entspricht, erfolgt als nächster Schritt die Suche nach Holzernteverfahren, die für diese Bedingungen geeignet sind. Denn jedes Holzernteverfahren hat im Standortstechnogramm einen bestimmten Bereich, in dem es technisch effektiv, ökologisch verträglich und ökonomisch sinnvoll eingesetzt werden kann.

Zur Darstellung der Einsatzeignung wird ein verfahrensspezifisches Ökogramm angefertigt, das in seiner Grundstruktur dem Standortstechnogramm gleicht. Auf diese Weise können beide Diagramme in Deckung gebracht und miteinander verglichen werden, so dass man ablesen kann, welche Verfahren sich für einen konkreten Fall besonders eignen.

Der Landesbetrieb Forst Brandenburg und die TU Dresden haben inzwischen für ca. 60 Holznernteverfahrensvarianten solche Ökogramme entwickelt.¹⁸

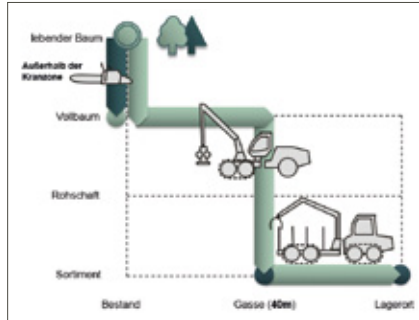
Bei Kombination mehrerer Arbeitsmittel in einem Arbeitsverfahren wird die Gesamteignung immer durch die problematischste Teilarbeit (meist das maschinelle Rücken) bestimmt.

Nachfolgend wird am Beispiel von drei Holznernteverfahren mit unterschiedlichem Mechanisierungsgrad das Grundprinzip der Verfahrensbewertung in Ökogrammform verdeutlicht.

Ökogramm-Beispiele von drei unterschiedlich mechanisierten Holznernteverfahren

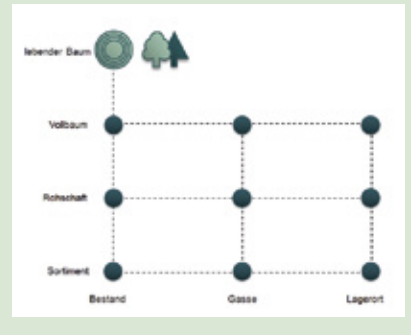
a) Hochmechanisiertes Sortimentverfahren mit Harvester und Forwarder (mit Bogiebändern)/ Zufällung mit Motorsäge

Das Funktiogramm rechts oben zeigt den Ablauf der Holznernte im untersuchten Verfahren vom Waldort bis zum Lagerplatz an der Fahrstraße:



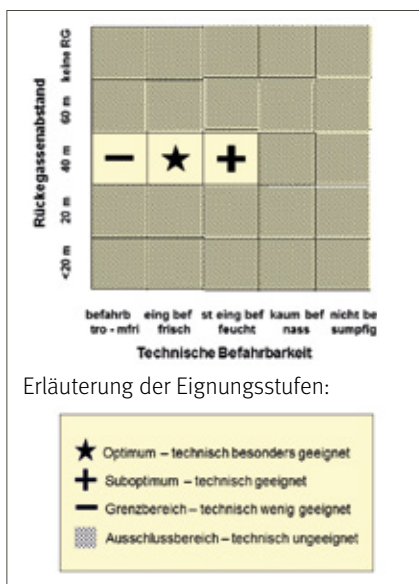
WAS IST EIN FUNKTIORGRAMM

Im Funktiogramm wird die Holznernte als Ablauf dargestellt, und zwar einerseits vom stehenden Baum bis zum fertigen Sortiment, andererseits vom Standplatz im Bestand bis zum Polter am Abfuhrweg:



¹⁸ Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens mit zahlreichen Beispielen wurde in AFZ 18/2013 v. 16.09.2013 (S. 30–55) vorgestellt; im Internet ist sie zu finden unter www.fragen-an-den-fsc.de/wp-content/uploads/2018/02/AFZ_Thementage_komplett.pdf

Für dieses Verfahren ergibt sich das folgende Ökogramm:



Erläuterung der Eignungsstufen:

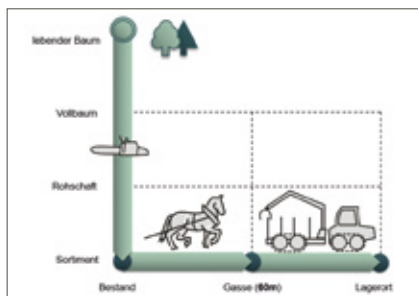
- Bei häufig auftretendem Spurtyp 2 liegt bereits das Suboptimum vor, man markiert es mit einem Pluszeichen.
- Den Grenzbereich erkennt man zum Beispiel daran, dass der Spurtyp 3 vermehrt auftritt, so dass hier ein Minuszeichen eingetragen wird.
- Alle anderen Felder fallen in den Ausschlussbereich. Gründe hierfür sind:
 - Zum Nasseren hin, also im Ökogramm nach rechts, begrenzen ökologische Argumente (z. B. das Auftreten von Spurtyp 4) den Einsatz.
 - Nach oben hin sind es vor allem technische Ausschlusskriterien wie ein Überschreiten der maximalen Kranreichweite, die den Einsatz des betreffenden Verfahrens begrenzen.
 - Nach links und nach unten ist ein Verfahren meist unattraktiv, weil es dort günstigere oder technisch bessere Verfahren gibt, denen der Vorzug gegeben werden sollte.

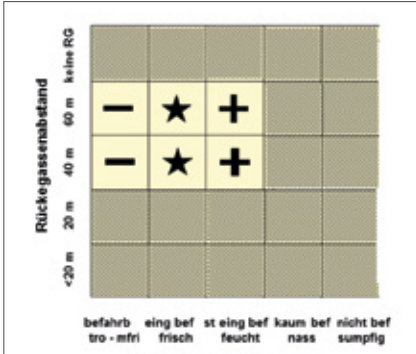
Beurteilt wird die Eignung des Verfahrens mit der festgelegten maschinellen Ausstattung inkl. Bändern oder Ketten und unter Beachtung der gegebenen organisatorischen Vorgaben auf einem Waldboden, der sich in dem jeweiligen Feld des Standortstechnogramms befindet.

Theoretisch wird also jedes Verfahren unter 25 verschiedenen Rahmenbedingungen eingeschätzt.

- Wenn dieses Verfahren auf einem bestimmten Standort auf der Gasse überwiegen den Spurtyp 1 (vgl. Tabelle 7.1) hinterlässt, befindet es sich dort in seinem Optimum und bekommt das Sternchen.

b) Teilmechanisiertes Sortimentverfahren, Fertigung mit Motorsäge, Vorrücken mit Pferd, Rücken mit Forwarder (mit Bogiebändern)



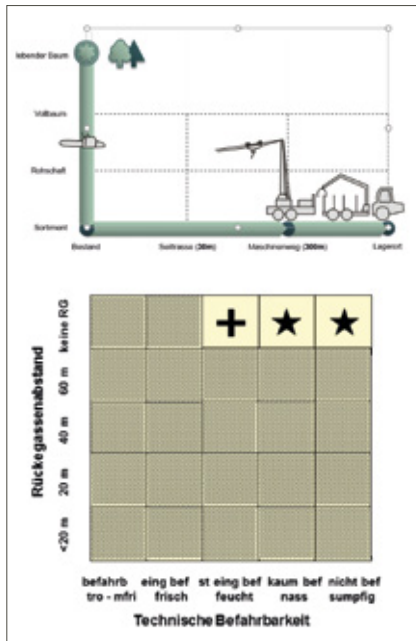


Schlussfolgerungen für die betriebliche Planung

Durch die Verschneidung des Standortstechnogramms mit den Ökogrammen verschiedener Holzernteverfahren kann bereits bei der Arbeitsplanung ermittelt werden, welches Holzernteverfahren auf dem betreffenden Waldstandort technisch (besonders) geeignet, wenig geeignet oder ungeeignet ist und welcher vorsorgende Bodenschutzstandard damit eingehalten werden kann.

- c) Hochmechanisiertes Sortimentverfahren, Fertigung mit Motorsäge, Vorrücken und Rücken mit Seilkran, Polterung mit Forwarder

Abb. 8.9 macht deutlich, dass bodengebundene Holzernteverfahren auf nassen Standorten auch mit spezieller Zusatzausrüstung (Tragbänder) und erweitertem Gassenabstand nur bei trockener Witterung bzw. nur bis Befahrbarkeitsklasse T3 mit ausreichender technischer Eignung forstzertifizierungskonform einsetzbar sind. Nicht-bodengebundene Seilkranverfahren sind auf nassen Standorten witterungsunabhängig mit hoher technischer Eignung und besonderer Umweltverträglichkeit einsetzbar.



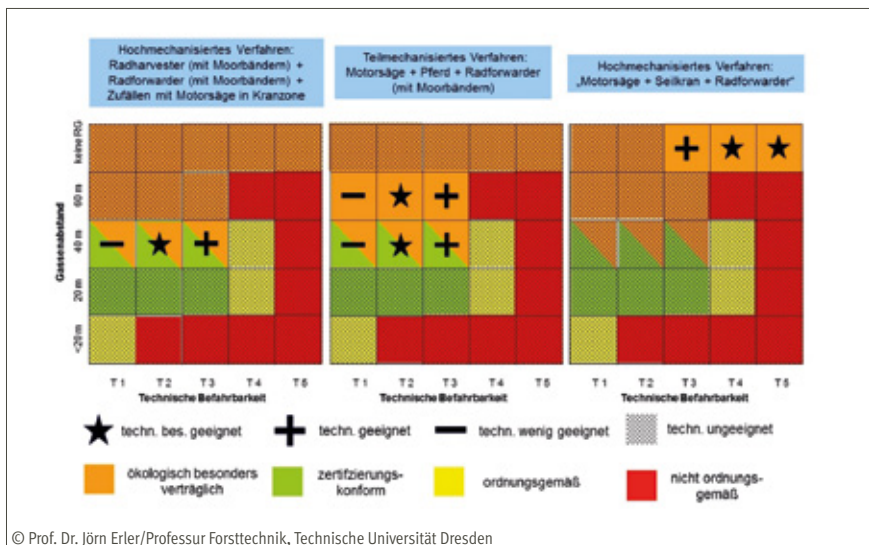


Abb. 8.9: Verschneidung der drei Beispiel-Verfahrensökogramme mit dem Standorttechnogramm

Mit Hilfe der kombinierten, standörtlichen und technischen Verfahrensbewertung kann für jede denkbare Einsatzsituation (Standort, Witterung, Bestand) eine Auswahl geeigneter Holzernteverfahren bestimmt werden. Aus dieser Vorauswahl öko-

logisch und technisch geeigneter Verfahren kann anschließend die ökonomisch vorteilhafteste Variante ausgewählt werden. Somit lassen sich langfristig ökologische und kurzfristig ökonomische Interessen des Waldeigentümers in Einklang bringen.

Literatur/Quellen:

- [37] Grüll, M. (2012): Vorsorgender Bodenschutz durch standortgerechte Holzernteverfahren – Entscheidungsempfehlungen des Landesbetriebs Forst Brandenburg, AFZ/Der Wald, Jg. 67, Heft 10–11 / 2012, S. 59–61
- [38] Erler, J.; Grüll, M. (2011): Für jeden Standort das richtige Holzernteverfahren, AFZ-Der Wald Nr. 11, S. 13–15
- [39] Erler, J.; Grüll, M. (2008): Standortgerechte Holzernteverfahren – ein Beitrag zur Harmonisierung von biologischer und technischer Produktion, Forsttechnische Informationen des KWF (FTI) Nr. 3 + 4 / 2008, S. 36–40

9 QUANTIFIZIERUNG VON BEFAHRUNGS- WIRKUNGEN UND KONSEQUENZEN FÜR DIE BETRIEBLICHE UMSETZUNG – EIN AUSBLICK

PD Dr. Joachim Brunotte, Lennart Rolfes

Das BBodSchG (§ 7) fordert im Sinne einer Vorsorge die Vermeidung oder Verminderung der Bodenbeanspruchung, d.h. des durch die Technik verursachten Bodendrucks. Da die Bodendruckmessung nur eine Momentaufnahme darstellt, ohne Erkenntnis über die Reaktion des Bodens auf die Befahrung, ist im Thünen-Institut für Agrartechnologie eine hydrostatische Setzungsmessung entwickelt worden (Abb. 9.1). Sie quantifiziert die Setzung des Bodens als vertikale Fortbewegung nach unten. Dies macht die Spurtiefe, verursacht von Fahrzeugen, interpretierbar und stellt einen möglichen Indika-

tor zur Befahrbarkeit von Waldböden (d.h. der Rückegassen) vor.

Exemplarisch wird ein Ernteeinsatz im Soling auf einer Parabraunerde aus Löss über basenarmen Gestein unter feuchten Bedingungen vorgestellt. Eine bereits bestehende Rückegasse wurde mit 2 Fahrzeugen jeweils einfach nacheinander überfahren. In 20 und 35 cm Tiefe erfassten je 4 Sensoren die Setzung des Bodens. Die technischen Daten der verwendeten Fahrzeuge lauten:

- 6-Rad-Harvester John Deere 1270G, 25 t Gesamtgewicht

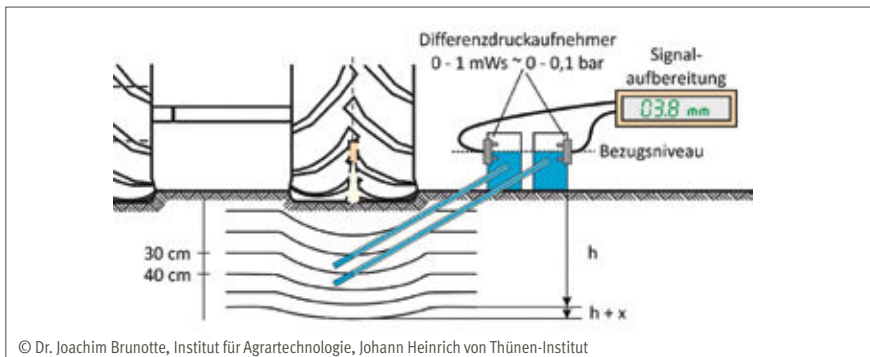


Abb. 9.1: Schematische Darstellung der hydrostatischen Setzungsmessung (verändert, nach: Nolting et al., 2006).

- 8-Rad-Forwarder John Deere 1210G, 21 t Leermasse, 35 t Gesamtgewicht (voll beladen)

Die Befahrung fand entsprechend der Reihenfolge in der Praxis erst mit dem Harves-

ter und anschließend mit dem schwereren Forwarder im beladenen Zustand statt. Die Messung der Setzung des Bodens ist in Abb. 9.2 dargestellt. Vor und nach der Befahrung der Rückegasse wurde die Spurtiefe an 25 Punkten manuell vermessen.

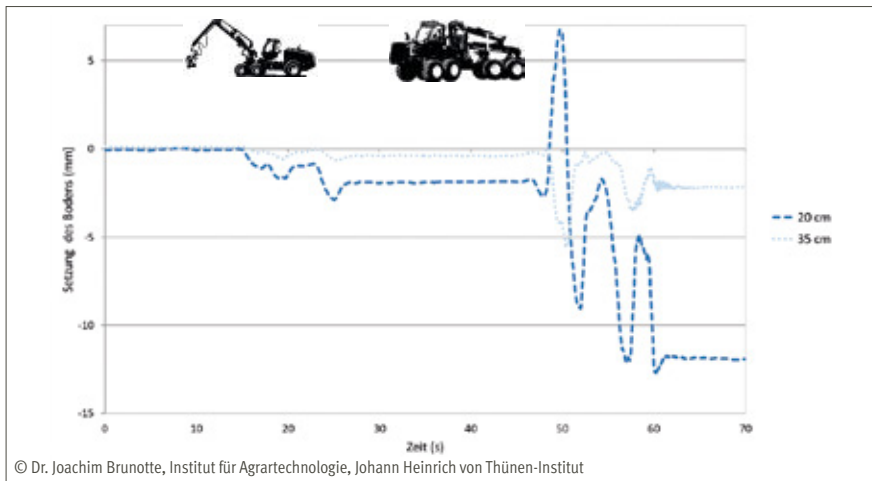


Abb. 9.2: Zeitlicher Verlauf einer Setzungsmessung mit Angabe der mittleren kumulierten Setzung ($n=4$) des Bodens in 20 (dunkelblau) und 35 cm Bodentiefe (hellblau) unterhalb der Fahrspur nach Überfahrt eines Harvesters (im Zeitverlauf zwischen Sekunde 15 und 28) und eines vollbeladenen Forwarders (zwischen Sekunde 48 und 62)

In 20 cm Tiefe kam es unter der Hinterachse des Harvesters zu einer geringen Bodensetzung von maximal 2,5 mm (Abb. 9.2). Der Forwarder verursacht mit der 2. Achse Bodensetzung bis in den Bereich von 10 mm mit einem hoch elastischen Anteil – der Boden federt bis in 5 mm zurück. Die 3. und 4. Achsen allerdings bewirken maximal 13 mm Setzung mit geringem Zurückfedern, so dass eine bleibende Setzung vom 11 mm zurückbleibt – auch als plastische Verformung be-

zeichnet. In 35 cm Tiefe wurden hingegen geringere Auswirkungen festgestellt. Während sich der Boden unter dem Harvester kaum setzte, lag die maximale Setzung unter dem Forwarder bei 5 mm mit einem geringen zurückbleibenden Anteil von 2 mm.

Die Ergebnisse der Setzungsmessung zeigen zwar die Reaktion des Bodens auf die Befahrung an, insbesondere den plastischen und elastischen Anteil der Verformung, lassen

aber offen, ob es zu einer Schädigung von Bodenfunktionen gekommen ist.

Dies wird mithilfe bodenphysikalischer Untersuchungen in den entsprechenden Tiefen beantwortet. Dabei ist die Lagerungsdichte einer der Parameter, der zur Quantifizierung von Bodenverdichtung herangezogen wird. Bei der Verdichtung des Bodens werden primär die Grobporen des Bodens verringert, so dass das Gesamtporenvolumen abnimmt. Diese Volumenverringerung kann indirekt durch die Deformation des Bodens bei der Setzungsmessung ermittelt werden. Dafür wurden 68 ungestörte Bodenproben in den beiden Zieltiefen entnommen. Zuerst erfolgte die Beprobung des unbefahrenen

Waldbodens (Referenz) und der seit 6 Jahren ruhenden Rückegasse. Nach der Befahrung wurden erneut Stechzylinder entnommen, um weitere Änderungen der Lagerungsdichte unter den kontrollierten Versuchsbedingungen zu quantifizieren (Abb. 9.3).

So wies der Boden der ruhenden Rückegasse eine bereits erhöhte Dichte im Vergleich zum ungestörten Waldboden auf. Die Befahrung mit dem Harvester und dem beladenen Forwarder führte zu einer weiteren Erhöhung der Lagerungsdichte auf fast $1,7 \text{ g/cm}^3$ in 20 cm Tiefe. In 35 cm Tiefe stieg dieser Wert auf knapp über $1,6 \text{ g/cm}^3$. Die Spurtiefe nahm im Mittel von 12 cm Tiefe auf 18 cm zu.

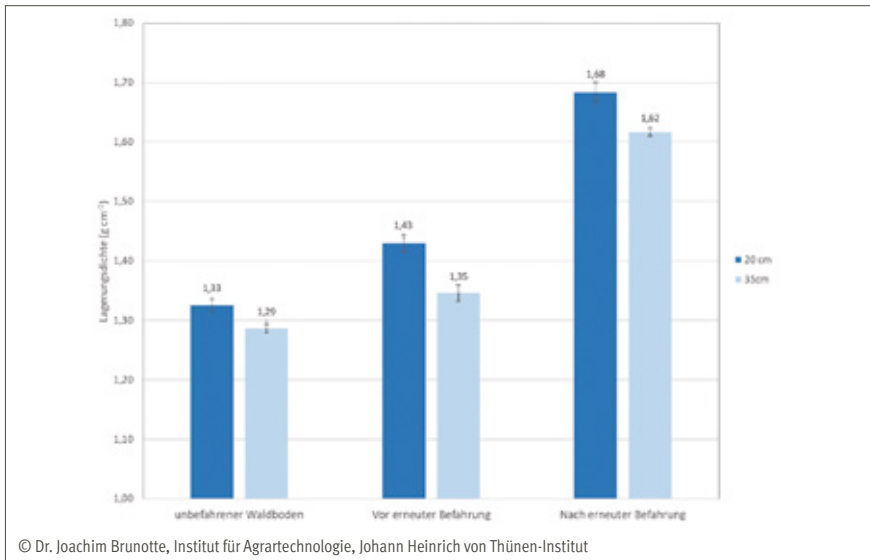


Abb. 9.3: Vergleich der mittleren Lagerungsdichte (mit Angabe des Standardfehlers) eines Fichtenstandortes im Solling im unbefahrenen Waldboden (links), einer bestehenden Rückegasse (mittig) und nach erneuter Befahrung dieser Rückegasse (rechts) in den Probenahmetiefen 20 und 35 cm.

Die deutlichen Änderungen in der Lagerungsdichte belegen eine zunehmende Verdichtung des Bodens durch hohe Maschinengewichte bei hoher Bodenfeuchte (ca. 100 % nFK) während der Befahrung. Werden Holzerntemaschinen an ihrer Leistungsgrenze eingesetzt, ohne die aktuellen Bodenbedingungen zu berücksichtigen, steigt das Risiko für Bodenschäden an. Vor diesem Hintergrund ist die Planung von Investitionen und des Einsatzes bei der Holzernete enorm wichtig.

Ein hilfreiches Planungsinstrument wird im Folgenden vorgestellt. Dabei wird die mechanische Belastung der Verdichtungsempfindlichkeit von Standorten gegenübergestellt. Die mechanische Belastung von Maschinen ist durch die Parameter Radlast/Reifeninnendruck/Kontaktflächen-
druck/Schlupf/Überrollhäufigkeit/Rückegassenlänge und Holzeinschlag definiert (Brunotte, 2010). Zahlreiche Befahrungsversuche mit nachfolgend bodenphysikalischen Untersuchungen ermöglichen eine Bewertung/Einstufung der mechanischen Belastung (Abb. 9.4) – aufgetragen an der Y-Achse.

Entsprechend den Ergebnissen dieser Untersuchungen erfolgt eine Zuordnung der verschiedenen Holzerntemaschinen entsprechend der Verdichtungsempfindlichkeit von Standorten (AG Bodenschutz, 2016) – aufgetragen an der X-Achse (Abb. 9.4). Die Einstufung der Verdichtungsempfindlichkeit beruht hier auf Standortkartierungen am Beispiel niedersächsischer Waldböden. Für jede Fahrzeug-Standort-Kombination, aus-



Setzungsmessung im forstlichen Einsatz

gedrückt als X-Y-Punkt in der Matrix, kann die mögliche Höhe der Beeinträchtigung der Bodenfunktionen abgelesen werden. Dieses Instrument soll bei der standortangepassten Befahrung während der Holzernete bei der Auswahl entsprechender Maschinen, Maschinenkonfigurationen und Arbeitsverfahren behilflich sein. So weist beispielsweise ein herkömmlicher Forwarder eine deutlich höhere mechanische Belastung auf Böden

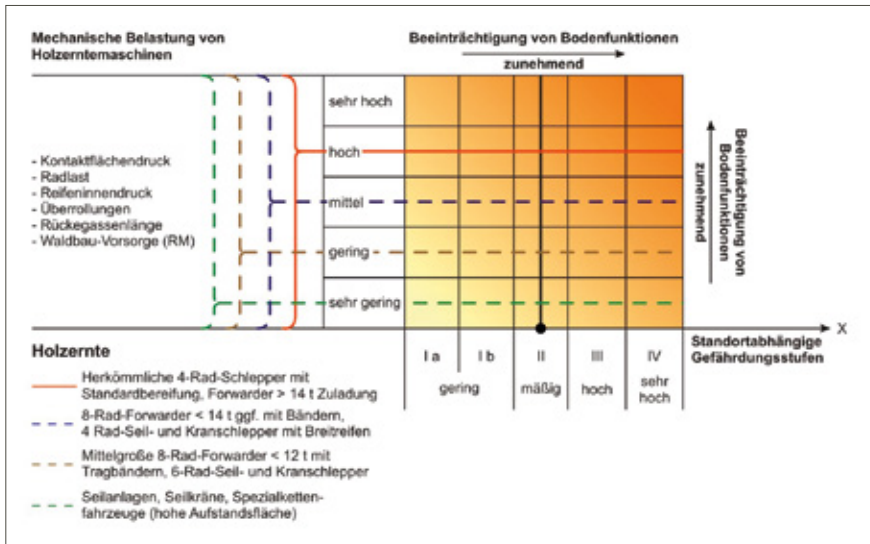


Abb. 9.4: Anpassung von forstlichen Erntemaschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit der Standorte (Niedersächsische Landesforsten, 2016).

und deren Funktionen als leichte 6-Rad-Seil- und Krans Schlepper. Letztere können noch auf Standorten mit ungünstigeren Gefährdungsstufen eingesetzt werden, ohne dass eine kritische Überschreitung der Beeinträchtigung der Bodenfunktionen stattfindet.

Fazit: Die hochmechanisierte Holzernerte ist gehalten, hohe Auslastungsgrade mit

bodenschonendem Befahren der Rückegassen zu kombinieren. Dafür sind sowohl Kenntnisse zur Verdichtungsempfindlichkeit von Standorten als auch zur mechanischen Belastung der Mechanisierungsketten erforderlich. Nur so wird es gelingen, die Bodenfruchtbarkeit und den Erholungswert im Wald zu erhalten.

Literatur/Quellen:

- [40] KWF (2010): „Bodenschonende Holzernerte“, Abschlussbericht zum Auftrag der FCK an das KWF, 40 S.
- [41] Forsttechnische Informationen (FTI) 1&2 2010 S. 4–17
- [42] Bodenschonung beim Forstmaschineneinsatz in der Holzernerte – Tagungsführer der 1. KWF-Thementage, AFZ/DerWald Nr. 18 2010
- [43] AG Bodenschutz (2016): Bodenschutz bei der Holzernerte in den Niedersächsischen Landesforsten. Merkblatt der Niedersächsischen Landesforsten, S. 16.
- [44] NOLTING, K. et al. (2006): Bodenverdichtung: Bewegt sich was? – Setzungsmessung im Unterboden unter hoher Radlast. LANDTECHNIK – Agricultural Engineering, 61, Nr. 4, S. 190–191.



TEIL III



ANLAGEN

10 PRÜFSHEMA „OPTIMALE“ HOLZERNTE

*Martin Grüll, Dr. Thomas Schmidt-Langenhorst,
Jürgen Weis, Werner Wernecke*

Arbeitsphase	Prüfmerkmale	Prüfkriterien
Arbeitsvorbereitung	Holzerntebestände/ Pflegeblöcke	Räumlich und zeitlich zusammenhängende Holzerntebestände auswählen und Auftragslose oder Pflegeblöcke bilden Holzmenge ggf. durch gemeinsame Auftragsvergabe mehrerer Waldbesitzer erhöhen, Zur Vermeidung witterungsbedingter Arbeitsunterbrechung Ausweicarbeiten planen
	Entnahmemenge, Holzdimension, Auftragsvolumen	Nutzungsmenge der Erntebestände aus Forstbetriebswerk oder aus Ertrags- und Sortentafeln entnehmen Baumdimensionen und (Mittleres) Stückvolumen ermitteln; ggf. Probekluppung durchführen
	Holzsortimente	Holzsortimente und Losgrößen für Auftragsvergabe und Holzverkauf ermitteln Standardisierte Kurz-/Langholzsortimente bevorzugen und Sortimentsvielfalt beschränken Mindestmenge je Holzsortiment beachten und mögliche Holzkäufer auswählen
	Technische Gelände- und Standortsklassifizierung	Befahrungsbehinderung durch Hangneigung, Oberflächenform und Bodenfeuchte feststellen Geländetaugliche Feinerschließungsmittel (Rückegasse, Maschinenweg, Seiltrasse) auswählen Befahrungsempfindliche, technisch problematische Standorte dokumentieren

Arbeitsphase	Prüfmerkmale	Prüfkriterien
	Maschinenbefahrbarkeit	Spezielle technische Befahrbarkeitskarte vorhanden? (Kartenangaben im Erntebestand bestätigen) Ggf. vereinfachte Befahrbarkeitseinstufung mit Hilfe der Bodenfeuchte vornehmen Mögliche (jahres)zeitliche Veränderung der Bodentragfähigkeit beachten
	Funktionstüchtigkeit von Grob- und Feinerschließung	Erhaltungszustand technischer Anlagen (Brücken, Straßen, Wege, Gassen, Lagerplätze) prüfen Zu-/Abfuhr von (Groß)Maschinen und Holztransportfahrzeugen zu Einsatz- und Lagerorten gewährleisten und Infrastrukturschäden vor Maßnahmenbeginn beseitigen Dauerhafte, waldortübergreifende Feinerschließung planen und dokumentieren
	Schutzfunktionen	Naturschutzstatus und Schutzfunktion (Boden, Wasser) der Erntebestände ermitteln Waldbiotopkartierung prüfen und ggf. Naturschutz- und Forstbehörde nach Einschränkungen fragen Zeitliche und örtliche Beschränkungen bei der Holzernteplanung berücksichtigen (Horstschtzonen, Gesetzlich geschützte Biotope, ...)
	Holzernteverfahren	Standörtliche und technische Einsatzeignung möglicher Arbeitsmittel und Arbeitsverfahren abwägen (Hangneigung, Bodentragfähigkeit, Fahrgassenverlauf/-abstand, Sortimente, ...) Verfügbarkeit mehrerer Holzernteverfahrensvarianten prüfen und ggf. kompetenten Forsttechnikberater beiziehen
	Einsatzkarte	Einsatzkarte (Maßnahmen- und Flächenübersichtskarte) für Forstunternehmer und Maschinenführer erstellen
Bestandesvorbereitung	Auszeichnung	Ausscheidende und/oder verbleibende Bäume farblich kennzeichnen Besonders schützenswerte oder wertvolle Bäume (Horst-, Biotopbäume) temporär markieren Uneingeschränkte Erkennbarkeit für Walдарbeiter/ Harvesterfahrer durch gut sichtbare Farbmarkierung gewährleisten Bei Bedarf Hiebsordnung/Fällrichtung vorgeben

Arbeitsphase	Prüfmerkmale	Prüfkriterien
	Feinerschließung Gassenmarkierung	Eindeutige Wiederauffindbarkeit der Fahrgassen im Gelände gewährleisten und alle zur Befahrung freigegebenen Gassen markieren Technische Funktionsfähigkeit der Fahrgassen überprüfen (Befahrungsschäden) Bei erstmaligem Feinaufschluss Mittellinie des Gassenverlaufs kennzeichnen Gefahr- und Problemstellen mit Warnhinweis versehen
	Polter- und Lagerplätze	Anschluss an ganzjährig LKW-befahrbaren Weg beachten, Hiebmenge und Lagervolumen abgleichen oder Holzabfuhr Zug um Zug planen
Auftragsvergabe (Werkvertrag)	Leistungsbeschreibung	Umfassende, genaue Beschreibung des Arbeitsauftrages (Waldorte, Erschließung, Topografie, Befahrbarkeit, Restriktionen, Aushaltung, Sortimente, Aufmaß, Zeitfenster, Besonderheiten, Arbeitsunterbrechung...)
Beginn der Maßnahme	Örtliche Einweisung Auftragnehmer	Ausführungshinweise zu Arbeitsauftrag, Verkehrssicherung und Arbeitsschutz (Gefährdungen) geben; Rettungspunkte benennen; Einsatzkarte übergeben
	Ansprechpartner benennen	Aufsichtsführende/r bzw. Koordinator/in für den Arbeitsschutz benennen, telefonische Verständigung mit Arbeitsteam sicherstellen
	Gefährdungsbeurteilung	Bei Regiearbeit erforderliche Betriebsanweisungen benennen. Auftragnehmer bei Erstellung der Gefährdungsbeurteilung durch Hinweis auf lokale Gefährdungen und Besonderheiten unterstützen
	Ordnungsgemäßer Zustand von Maschinen und Geräten	Vertraglich vereinbarte Maschinen im Einsatz? Maschinen betriebssicher/zugelassen? Öl-Havarie-Set vorhanden? Mitgeführte Tankanlage in Ordnung?
Begleitung der Maßnahme	Kontrolle Verkehrssicherung	Betretungsabspernung, Gefahrstellenbeschilderung, Ausweisung von Umwegen
	Kontrolle Arbeitsschutz	Persönliche Schutzausrüstung, Unfallverhütung, Gefährdungsbeurteilung /Maßnahmen, Rettungspunkte, Rettungskette, Verständigung im Arbeitsteam
	Kontrolle Arbeitsqualität	Fälltechnik, Stöcke, Entastung, Maßhaltigkeit, Sortierung, Bestandespfleglichkeit, Bodenpfleglichkeit

Arbeitsphase	Prüfmerkmale	Prüfkriterien
	Verhinderung von Infrastrukturschäden	Rückegassen, Wege, Gräben, Durchlässe, Grenzsteine vor Techniks Schäden bewahren, Flächenbefahrungsverbot und Gassenschonungsgebot einhalten
	Polterplätze, Polterqualität, Poltergröße	Einhaltung überwachen Lostrennung der Holzsortimente überprüfen
	Holzaufmaß	Ggf. kontinuierliches Aufmessen der gepolterten Sortimentsmenge
	Verstöße	Bei Verstößen gegen Arbeitssicherheit und Bodenschutz oder bei Gefahr im Verzug Einstellung der Arbeit, bei Nichtberücksichtigung Abmahnung und ggf. Vertragskündigung,
Abschluss der Maßnahme	Ermittlung von Schäden und Mängeln	Bestandesschäden an Wurzel, Stammanlauf und Stamm, Bodenschäden im Bestand und auf Fahrgassen, Infrastrukturschäden, ggf. Schadensaufnahme nach Checkliste
	Schlussaufnahme	Holzaufmaß, Erstellung Holzliste/Nummernbuch, Erfassung Polterkoordinaten
	Abfuhrkontrolle	Holzentwertung (Käfer, Pilze) vermeiden, Einhaltung Abfuhrfristen kontrollieren
	Nachkalkulation	Kosten-Erlös-Vergleich nach Abrechnung des Einsatzes und Verkauf des Holzes
	Nachbetrachtung	Wirtschaftlichkeitsanalyse, Vergleich Aufwand/Nutzen, Zielerreichung, Verbesserungspotenzial
	Ggfs. Erstellung Lieferantenbeurteilung	Einhaltung Arbeitsauftrag, Zuverlässigkeit, Termintreue, Kommunikation, Arbeitsqualität, Bodenschutz, Bestandesschutz



11 GLOSSAR

Martin Grüll, Prof. Dr. Jörn Erler

Glossar bodenschutzrelevanter, forsttechnischer Fachbegriffe

Befahrbarkeitsklassifizierung/Technische Befahrbarkeitsklasse (T-Klasse)

Die Bodenfeuchte zum Befahrungszeitpunkt hat maßgeblichen Einfluss auf das Risiko gravierender Bodenschäden auf der Gasse. Mit Hilfe der ökologischen Feuchtestufen der forstlichen Standortserkundung kann die technische Befahrbarkeit von Waldböden in fünf Klassen von befahrbar (T1) bis nicht befahrbar (T5) eingeteilt werden. Witteungsbedingte Veränderungen der Normalfeuchtestufe durch Regen oder Trockenheit

werden durch einstufigen Zu- oder Abschlag berücksichtigt. Mit abnehmender technischer Befahrbarkeit werden bestimmte zeitliche, technische oder organisatorische Restriktionen für den Forstmaschineneinsatz verbunden.

Befahrungskritische Standorte

Befahrungskritisch sind Standorte mit feuchtebedingt geringer Bodentragfähigkeit und erhöhtem Risiko für nicht tolerierbare Befahrungsschäden (Befahrbarkeitsklasse T4 stark eingeschränkt befahrbar“ und T5 „kaum befahrbar“). Schonende Gassenbefahrung mit Radmaschinen ist in Klasse

T4 mit Reisigarmierung, Zusatzausrüstung (Bogiebänder) und zeitlicher Einschränkung möglich. In Klasse T5 ist eine schonende Gassenbefahrung nur im seltenen Ausnahmefall (extreme Trockenheit, starker Bodenfrost) oder mit technisch aufwändiger Gassenbefestigung (Knüppeldamm mit Bodenschutzmatte) möglich.

Befahrungsschäden, tolerierbar

Durch Befahrung verursachte Bodenverdichtungen mit langfristiger Beeinträchtigung oder Schädigung der biologischen Wurzelraumfunktion werden im Bereich der Fahrgassen als unvermeidbar toleriert. Die Konzentration auf festgelegte Fahrgassen setzt jedoch voraus, dass deren technische Funktionsfähigkeit dauerhaft gewährleistet bleibt. Auf Fahrgassen ist eine trockene Sackungsverdichtung (Spurbildung) ohne seitliche Spurrandaufwölbung, ohne sekundäre Vernässung (Wasser in der Fahrspur) und ohne Bodenerosion technisch tolerierbar.

Befahrungsschäden, nicht tolerierbar

Gassenschäden, die zur Gefährdung der dauerhaften technischen Funktionsfähigkeit des Feinerschließungssystems führen. Die technische Funktionsfähigkeit ist nicht mehr gewährleistet, wenn auf der Gasse – unabhängig von der Spurtiefe – Gleisbildung oder viskoplastische Verformung mit seitlicher Spurrandaufwölbung oder sekundäre Vernässung (Wasser in der Fahrspur) oder Bodenerosion auftritt.

Bodenfunktionen

Das 1998 in Kraft getretene Bundesbodenschutzgesetz unterscheidet folgende Bodenfunktionen:

- **Produktionsfunktion:** Boden als Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzung
- **Lebensraumfunktion:** Boden als Lebensraum und Lebensgrundlage für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen
- **Regelfunktion:** Boden als Filter-, Puffer-, Speicher-, Umwandlungs-Medium sowohl für Nährstoffe als auch für (anthropogene) Schadstoffe
- **Bestandteil des Naturhaushaltes:** Boden als Medium in Wasser-, Energie- und Stoffkreisläufen
- **Archivfunktion:** Boden als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

Für technische Betrachtungen kann zusätzlich die Funktion des Bodens als Widerlager für die Aufnahme der von Maschinen ausgeübten Druck-, Scher- und Hebelkräfte ergänzt werden (siehe unter Technische Bodenfunktion).

Bodenfunktionswertklassen

Mit Hilfe der Bodenfunktionsbewertung sollen bei Planungs- und Zulassungsverfahren besonders wertvolle, schützenswerte oder seltene Böden erkannt, kartographisch dargestellt und nicht-monetär bewertet werden, um eine wirksame Bodenschutzvorsorge und einen Interessenausgleich herbeiführen zu können.

Die Umweltbehörden der Länder haben Handlungsanleitungen zur Bewertung der

Bodenfunktionen erstellt. Als Grundlage für die Zuordnung von Bodenfunktionen zu fünf Wertklassen von „sehr gering“ bis „sehr hoch“ werden ausgewählte Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung genutzt.

Bodenverformung, elastisch

Wenn die Bodentragfähigkeit größer oder gleich dem von der Maschine ausgeübten Kontaktflächendruck ist, reagiert der Boden weitgehend elastisch. Bei Befahrung im Druckgleichgewicht von Boden und Maschine kommt es zu (fast) keiner Spurbildung. Diese Bodenbelastung ist mittelfristig biologisch regenerierbar und die Wurzelraumfunktion ist nur temporär beeinträchtigt.

Bodenverformung, plastisch

Wenn die Bodentragfähigkeit geringer als der von der Maschine ausgeübte Kontaktflächendruck ist, reagiert der Boden plastisch. Durch die Befahrung kommt es zur Sackungsverdichtung mit +/- deutlicher Spureintiefung. Dies führt zu einer langfristigen Bodenstruktur- und Bodenfunktionsbeeinträchtigung, die nicht oder nur schwer regenerierbar ist. Die technische Funktion der Gasse als Widerlager für die einwirkenden Maschinenkräfte ist noch gewährleistet.

Bodenverformung, viskoplastisch

Bei sehr hoher Bodenfeuchte bzw. sehr geringer Bodentragfähigkeit verformt sich der Boden bei Druckbelastung. Durch die Befahrung kommt es zur extremen Spureintiefung (Gleisbildung) mit seitlicher Spurrandaufwölbung. Dies führt zu einem irreversiblen technischen Bodenschaden. Die technische Funktion der Gasse als Widerlager für Ma-

schinenkräfte ist verloren bzw. ohne Gassenanierung nicht mehr gewährleistet.

Bodengebundene Holzerntetechnik/ Holzernteverfahren

- a. Hoch- oder vollmechanisierte Arbeitsverfahren unter Verwendung von Forstspezialmaschinen mit Rad-, Raupen- oder Schreitfahrwerken, die auf unbefestigten Waldböden i. d. R. auf festgelegten Gassen zum Einsatz kommen.
- b. Teilmechanisierte Arbeitsverfahren mit getrenntem oder kombiniertem Einsatz von Arbeitspferden im Bestand und Forstspezialmaschinen auf festgelegten Fahrgassen.

Nicht bodengebundene Holzerntetechnik/Holzernteverfahren

- c. Hochmechanisierte Arbeitsverfahren unter Verwendung von Mobilseilkrananlagen auf befestigten Maschinenwegen oder Waldstraßen. Rückung erfolgt schwebend oder schleifend auf Seiltrassen ohne Befahrung des Waldbodens.
- d. Hochmechanisierte Arbeitsverfahren unter Verwendung von Seilwindenschleppern (mit/ohne Kran) auf Maschinenwegen. Rückung erfolgt schleifend ohne Befahrung des Waldbodens.

Forsttechnische Geländeklassifizierung

Technische Standortsbewertung unter Verwendung von Informationen der forstlichen Standortserkundung zur Kennzeichnung von

- Bodenmechanischer Belastbarkeit (natürliche Bodentragfähigkeit)
- Technischer Befahrbarkeit (bei verschiedenen Witterungsbedingungen)

- Geländebedingter Befahrungsbehinderung (Hangneigung, Oberflächenform)
- Bodenökologischer Verdichtungsempfindlichkeit

Die Zuordnung von Standorten zu forsttechnischen Geländeklassen ist Grundlage für die Feinerschließungsplanung und die technische Produktionsplanung zur Wahl geeigneter Arbeits-/Holzernteverfahren.

Modifizierte forsttechnische Geländeklassifizierung

Erweiterung der konventionellen, forsttechnischen Standortsbewertung durch Einbeziehung von nicht-monetären Wertkategorien für die natürlichen Bodenfunktionen (Produktion, Regelung, Lebensraum). Die modifizierte forsttechnische Geländeklasse beinhaltet neben den technischen Komponenten Geländeausformung (S-Klasse) und Befahrbarkeit (T-Klasse) auch eine Wertkategorie für einzelne oder mehrere Bodenfunktionen. Bei vorrangig wirtschaftlicher Zielsetzung wird der Produktionsfunktionswert (P-Klasse) des für technische Zwecke beanspruchten Waldbodens in den Vordergrund gestellt. Jede forstökologische Standortseinheit kann mit Hilfe eines speziellen Bewertungsschlüssels einer modifizierten forsttechnischen Standortsklasse zugeordnet werden.

Feinerschließungsmittel

Die zum Einsatz moderner Holzernte- und Holzrücketechnik notwendige, i. d. R. dauerhaft angelegte Bestandeserschließung. Es werden drei Varianten von Feinerschließungsmitteln unterschieden:

• **Rückegasse**

Max. 4 m breiter Trassenaufrieb temporärer oder permanenter Linien im Bestand zur Befahrung mit geländegängigen Forstspezialmaschinen, ohne Entfernung der Wurzelstöcke, ohne Erdbaumaßnahmen und ohne Einbringung von mineralischem Befestigungsmaterial.

Es werden drei Varianten der Linienführung unterschieden:

- streng systematisch, äquidistant, gerade (in ebenem Gelände)
- geländeangepasst, möglichst äquidistant (in wellig-kuppigem Gelände bzw. unter Berücksichtigung negativer Kardinalpunkte)
- in Hangfallrichtung gerade (in mäßig bis stark geneigtem Gelände).

• **Maschinenweg**

Max. 5 m breite, permanente Trassen zur Befahrung mit geländegängigen Fahrzeugen in tragfähigen Hanglagen oder eingeschränkt tragfähigen Flachlagen, mit Entfernung der Wurzelstöcke, mit Erdbaumaßnahmen zur Profilierung und Entwässerung und mit Einbringung von Wegebaumaterial zur (Teil)Befestigung. Mit regelmäßiger Instandsetzung nach technischer Überlastung.

• **Seiltrasse**

Geradliniger Aufrieb von temporären Seillinien ohne Maschinenbefahrung. Der Einsatz mobiler Seilkräne oder Seilwindenschlepper erfolgt entweder von der Waldstraße oder vom befestigten Maschinenweg aus. Reversible Oberbodenstörungen auf der Seiltrasse durch Schleifrückung werden toleriert.

Feinerschließung – Kardinalpunkte

Zur Vorplanung eines Feinerschließungssystems gehört auch die Erfassung vorhandener Kardinalpunkte in der Fläche, d.h. Geländepunkte/-bereiche, die die Festlegung der Trassen bestimmen. Dazu gehören zum Beispiel Felsen, Tobel, Vernässungen als negative Kardinalpunkte, die umgangen werden müssen, aber auch positive Kardinalpunkte wie die Randpunkte der Erschließung, Orientierungs- und Einhängpunkte).

Nährstoffnachhaltigkeit

Je nach Nutzungsintensität und damit verbundenem Biomasseentzug werden dem Wald Nährstoffe entzogen, die durch Gesteinsverwitterung oder Nährstoffeintrag wieder ersetzt werden müssen, um die Standortsproduktivität zu erhalten. Mit Übergang von der Derbholznutzung ohne Rinde zur Vollbaumnutzung lässt sich die Biomassenentnahme je nach Baumart um 40–70 % steigern, dabei erhöht sich der Entzug an Hauptnährelementen jedoch um > 300 %. Nur bei einer ausgeglichenen oder positiven Nährstoffbilanz (Biomasseexport + Sickerwasseraustrag $\leq$ Verwitterung + Deposition) ist die langfristige Nährstoffnachhaltigkeit gewährleistet.

Reisigarmierung

Temporäre Befestigung von permanenten Gassen insbesondere auf eingeschränkt befahrbaren Standorten mit den während der (mechanisierten) Holzernte anfallenden Hiebsresten (Schlagreisig, Gipfelstücke, Kronenderbholz, X-Holz) zur Sicherung der technischen Funktionsfähigkeit der Gasse bzw. zur Verhinderung nicht tolerierbarer

Befahrungsschäden. Für eine wirksame Bodendruckminderung muss die Materialstärke mind. 2 cm und die Lagenmächtigkeit (im konsolidierten Zustand) mind. 30 cm betragen. Wiederholte Reisigarmierung kann durch Humusanreicherung und verzögerte Abtrocknung die Gassenbefahrbarkeit verschlechtern sowie auf nährstoffarmen Standorten die Nährstoffnachhaltigkeit beeinträchtigen.

Standortstechnogramm

Für jede forsttechnische Standortsklasse wird ein Standortstechnogramm in Form einer 5x5-Matrix aus fünf Bodenwertklassen (P-Klasse) und fünf Befahrbarkeitsklassen (T-Klasse) erstellt. Jeder Bodenwertklasse (P-Klasse) wird ein maximal zulässiges Flächenbefahrungsprozent bzw. ein Mindestgassenabstand zugeordnet. Mit Hilfe des Standortstechnogramms werden die mit verschiedenen Stufen des vorsorgenden Bodenschutzes verbundenen Restriktionen für Feinerschließungsdichte und Befahrungszeitpunkt farblich gekennzeichnet.

Zur Kennzeichnung der Restriktionen wird folgende Ampelfarbensymbolik verwendet:

- **Rot** kennzeichnet den rechtlichen Ausschlussbereich (Maschinenbefahrung bzw. Arbeitsverfahren ist nicht ordnungsgemäß bzw. nicht gesetzeskonform)
- **Gelb** kennzeichnet den rechtlichen Zulässigkeitsbereich (Maschinenbefahrung bzw. Arbeitsverfahren ist ordnungsgemäß bzw. gesetzeskonform)
- **Grün** kennzeichnet den zertifizierungskonformen Zulässigkeitsbereich

(Maschinenbefahrung bzw. Arbeitsverfahren entspricht PEFC-/FSC-Standard)

- **Orange** kennzeichnet den speziellen Vorsorgebereich bei besonders hohem ökologischen Bodenfunktionswert (Maschinenbefahrung bzw. Arbeitsverfahren ist ökologisch besonders verträglich)
- **Grün/Orange** kennzeichnet die Deckungsgleichheit von Zertifizierungsvorsorge und spezieller Vorsorge (Maschinenbefahrung bzw. Arbeitsverfahren ist zertifizierungskonform und ökologisch besonders verträglich)

Gesetzliche Mindestvorsorge

Im Forstrecht werden mit den **Grundsätzen der ordnungsgemäßen Forstwirtschaft** auch bestimmte, deklaratorische Anforderungen an die boden- und bestandesschonende Waldbewirtschaftung gestellt. Zur Umsetzung dieser Bodenschutzvorgaben werden jedoch keine expliziten Gebote oder Verbote formuliert. Nach den **Grundsätzen des Bodenschutzes** sind alle Bodeneigentümer verpflichtet, Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen zu treffen und schädliche Bodenveränderungen abzuwehren. Unter diese Vorgabe fallen auch Bodenstrukturschäden (Bodenverdichtungen), die durch den Einsatz von Forstmaschinen verursacht werden. Das Bundesbodenschutzrecht trifft keine Detailregelungen für die Forstwirtschaft, sondern verweist hinsichtlich der Anforderungen an den vorsorgenden Bodenschutz zurück auf die im Forstrecht bestehenden Regelungen zur ordnungsgemäßen Forstwirtschaft.

In Form von Befahrungs- oder Feinerschließungsrichtlinien oder Anleitungen für den Forstmaschineneinsatz haben einige Landesforstverwaltungen folgende „rechtliche“ Mindestmaßgaben für den Bodenschutz im öffentlichen Wald gesetzt:

- Unterlassung flächiger Befahrung insbesondere auf technisch problematischen und ökologisch sensiblen Feucht- und Nass-Standorten
- Maschineneinsatz bei Holzernte/Holzrückung und Bestandespflege nur auf festgelegten Fahrgassen
- Einhaltung des nach dem derzeitigen Stand der Forsttechnik möglichen Mindestgassenabstands (doppelte Harvesterkranreichweite = 20 m)
- Verringerung von Befahrungsschäden durch Reisigarmierung der Fahrgasse.

Erhöhte Forstzertifizierungsvorsorge

Zur Gewährleistung einer gegenüber der ordnungsgemäßen Forstwirtschaft erhöhten Bodenschutzvorsorge werden in den Forstzertifizierungsstandards (PEFC, FSC) explizite Gebote und Verbote für den Forsttechnikeinsatz formuliert. Unter dem Einfluss der zunehmenden Mechanisierung der Waldarbeit wird v.a. die Maschinenbefahrung reglementiert. Folgende Merkmale sind kennzeichnend für die erhöhte Bodenschutzvorsorge der zertifizierten Forstwirtschaft:

- Grundsätzliches Verbot der flächigen Maschinenbefahrung bei der Holzernte
- Gebot der ausschließlichen Maschinenbefahrung auf festgelegten Fahrgassen
- Eingeschränktes Verbot der flächigen Maschinenbefahrung außerhalb der Holzernte

- Gebot der systematischen Feinerschließung der Waldbestände
- Gebot der schonenden Gassenbefahrung zur dauerhaften Erhaltung der technischen Funktionsfähigkeit des Feinerschließungssystems
- Zeitliche Befahrungseinschränkung möglichst auf Trocken- oder Frostperioden
- Festlegung von Mindestgassenabständen zur „messbaren“ Einschränkung der Maschinenbefahrungsfläche in unterschiedlichen Restriktionsvarianten
- Vorgabe bestimmter, technischer Auflagen für Forstmaschinen
 - Verwendung von Breitreifen mit geringem Reifeninnendruck
 - Einsatz von biologisch schnell abbaubaren Hydraulikölen
 - Mitführung von Notfallsets zur Schadensbegrenzung bei Ölunfällen
- Bevorzugte Auftragsvergabe an zertifizierte Forstunternehmen mit definiertem Selbstkontrollsystem.

Spezielle Naturschutzvorsorge

Die spezielle Vorsorge beschreibt einen Präventionsstandard, der die forsttechnische Eingriffsintensität in Abhängigkeit von Wert und Empfindlichkeit des Waldbodens/ Waldökosystems soweit einschränkt, dass unvermeidbare negative Nebenwirkungen minimiert werden. Beurteilungsmaßstab ist die Inanspruchnahme von wertvoller Produktionsfläche für die permanente Feinerschließung. Mit zunehmendem Bodenfunktionswert ist der Rückegassenabstand von 20 m auf 40 m oder 60 m zu erweitern, bis zum Verzicht auf das Feinerschließungsmittel Rückegasse auf sehr wertvollen Böden

mit sehr hohem Bodenfunktionswert. Diese Erweiterung des Rückegassenabstands führt zwangsläufig zu einer Verringerung des Mechanisierungsgrads mit Produktivitätseinbußen bei der Holzernte. Eine über die Forstzertifizierung hinausgehende, spezielle Bodenschutzvorsorge erscheint nur in besonderen Ausnahmefällen vertretbar. Die mit der speziellen Vorsorge verbundenen forsttechnischen Restriktionen werden daher auf Waldflächen mit gesetzlichem Schutzstatus (Naturschutzgebiet, FFH-Lebensraumtyp, Geschütztes Biotop) beschränkt.

Verfahrensökogramm

Mit Hilfe von Ökogrammen werden die Standortsansprüche, die Konkurrenzstärke und die Eignungsgrenzen der verschiedenen Baumarten veranschaulicht. Dieses Modell kann auch auf die Bewertung verfahrenstechnischer Zusammenhänge übertragen werden. Vergleichbar mit der vom jeweiligen Standort abhängigen Anbaueignung der verschiedenen Baumarten („ökologische Nische“) hat jedes Holzernteverfahren einen bestimmten Einsatzbereich („technische Nische“) mit Optimum, Suboptimum, Grenz- und Ausschlussbereich, so dass für jedes Holzernte-Verfahren ein individuelles Ökogramm angefertigt werden kann. Hauptkriterien zur Eignungsbewertung der verschiedenen Holzernteverfahren sind die Feinerschließungsdichte mit fünf Gassenabstandsvarianten und die technische Befahrbarkeit mit fünf Befahrbarkeitsklassen, so dass sich eine 5x5-Matrix wie beim Standortstechnogramm ergibt.

Folgende technische Faktoren werden für die Verfahrensbewertung herangezogen:

- das Maschinengewicht
- die Fahrwerkskonstruktion (Rad-, Raupen-, Schreitfahrwerk)
- die Verwendung von Zusatzausrüstung (Bogiebänder, Gleitschutzketten)
- die Kranreichweite
- die Entfernung zum Vorrücken mit Seilwinde
- die Entfernung zum Vorrücken mit Arbeitspferd.

Zusätzlich fließen Produktmerkmale des Ernteguts (Baumart, Baumdimension, Aufarbeitungsgrad) mit ein.

Die Bewertung im Verfahrensökogramm erfolgt einheitlich mit folgender Symbolik:

„Stern“-Verfahren

Verfahren ist **technisch besonders geeignet**

„Plus“-Verfahren

Verfahren ist **technisch geeignet**

„Minus“-Verfahren

Verfahren ist **technisch wenig geeignet**

Ausschlussbereich

Verfahren ist **technisch ungeeignet bzw. nicht einsetzbar**

Zusatzausrüstung

Bei der Eignungsbewertung von Radmaschinen wird deren Einsatz ohne oder mit Zusatzausrüstung jeweils als eigene Verfahrensvariante getrennt betrachtet. In den Maschinenpiktogrammen sind die Darstellungsmöglichkeiten der Zusatzaus-

rüstung auf Bänder oder Ketten oder Breitreifen beschränkt.

Unter dem Begriff Zusatzausrüstung sind bei Radmaschinen mit Bogieachse vornehmlich Bogiebänder zur Vergrößerung der Aufstandsfläche (sog. Moorbänder) ohne Bauartdetails (Stahl, Stahl-Gummi, Kunststoff) zu verstehen. Im geneigten oder kuppigen Gelände sind bei eingeschränkter Befahrbarkeit Bogiebänder zur Aufstandsflächenvergrößerung und Traktionsverbesserung (sog. Universalbänder) vorzuziehen. Bei zusätzlicher Verwendung einer Traktionshilfswinde im stark geneigten Gelände (Hangverfahren) sind sog. Traktionsbänder als Zusatzausrüstung zu verwenden.

Technische Bodenfunktion

Erweiterung des Bodenfunktionsbegriffes auf die technische Funktion des Waldbodens als Widerlager für die Aufnahme aller durch Maschinen (technische Arbeitsmittel) einwirkenden physikalischen Kräfte (Zug-, Druck-, Scher-, Flieh-, Hebelkräfte).

Die technische Bodenfunktion ist gewährleistet, solange die Krafteinwirkung nur zu einer Verdichtung, aber nicht zu einer Auflösung der Bodenstruktur (viskoplastischen Verformung) führt. (siehe dazu auch Infokasten „Forsttechnische Befahrbarkeit/technische Funktionsfähigkeit“ auf S. 36)

Die Bewertung der technischen (Nicht)Eignung von Waldstandorten erfolgt mit Hilfe der forsttechnischen Geländeklassifikation unter Verwendung von Informationen der forstlichen Standortserkundung.

Technische Bodentragfähigkeitsgrenze

Die technische Bodentragfähigkeit kennzeichnet abweichend von der ökologischen Verträglichkeit (Verdichtungsempfindlichkeit) die technische Belastbarkeit der unterschiedlichen Waldstandorte.

Aufgrund der kleinräumigen Variantenvielfalt der Waldstandorte sowie der Vielzahl von Einflussfaktoren und Wirkungszusammenhänge kann die **ökologische Bodenfeuchtestufe der forstlichen Standortskartierung** (sehr trocken bis sehr nass) und deren mögliche witterungsbedingte Veränderung (trocken, normal, feucht) zur vereinfachten Klassifizierung der technischen Bodentragfähigkeit bzw. Befahrbarkeit (uneingeschränkt bis nicht befahrbar) verwendet werden.

Die technische Bodentragfähigkeitsgrenze wird auf (sehr) nassen Standorten regelmäßig überschritten; bereits auf (wechsel) feuchten Standorten besteht ein hohes Befahrungsrisiko.

Technischer Bodenschutz

Der technische Bodenschutz umfasst alle Vorsorgemaßnahmen zur Gewährleistung der dauerhaften technischen Funktionsfähigkeit des Feinerschließungssystems, d. h. alle technisch-organisatorischen Maßnahmen zur Umsetzung des Gebots einer schonenden Gassenbefahrung.

Hauptziel ist die Verhinderung von technischen Gassenüberlastungsschäden bzw. die Vermeidung von nachträglichen Gassensanierungsmaßnahmen.

Technische Unverträglichkeit

Die gemäß deutschem PEFC-Standard geforderte Sicherung der dauerhaften technischen Funktionsfähigkeit eines Feinerschließungssystems auf unbefestigten Waldböden erfordert die Festlegung von technischen Verträglichkeitsgrenzen für die Befahrung.

Alle Folgewirkungen von Befahrung die kurz-, mittel- oder langfristig Gassensanierungsmaßnahmen erforderlich machen, sind technisch unverträglich.

Als technisch unverträglich sind Befahrungsschäden einzustufen, die zur

- Bodenerosion (Rillenerosion)
- viskoplastischen Spureintiefung mit seitlicher Materialverlagerung (Spurrandaufwölbung)
- plastischen Spureintiefung mit nachfolgender sekundärer Vernässung auf den Fahrgassen führen.



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

OT Gülzow, Hofplatz 1

18276 Gülzow-Prüzen

Tel.: 03843/6930-0

Fax: 03843/6930-102

info@fnr.de

www.fnr.de

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 1.180

mediathek.fnr.de

FNR 2021