

2017

Abschlussbericht



Projekt: RÜWOLA „Rückegassen als Feinerschließungssysteme im Wald – Optimierung durch natürliche Regeneration und technische Maßnahmen unter Berücksichtigung der Belange von Naturschutz und Landschaftsplanung“

Interdisziplinäres Verbundprojekt der Hochschule Osnabrück und der HAWK Hildesheim/ Holzminden/ Göttingen mit Graduiertenförderung

Laufzeit: 01.01.2012 – 31.05.2017

Kontakt:
hc.fruend@hs-osnabrueck.de
gaertig@hawk-hhg.de

Datum: Mai 2017

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Formale Angaben.....	3
2.1	Präsidenten der Hochschulen.....	3
2.2	Projektgruppe.....	3
2.3	Kooperationspartner.....	4
2.4	Universitäre Kooperationspartner.....	5
2.5	RÜWOLA-Beirat.....	5
2.6	Gesamtprojektkosten.....	5
2.7	Geplante und tatsächliche Projektlaufzeit.....	5
3	Zusammenfassung des Gesamtprojekts.....	6
4	Verlauf des Gesamtprojekts.....	7
5	Ergebnisse der Teilprojekte, Ausgangslage und durchgeführte Arbeiten.....	9
6	Publikationen, wissenschaftliche Arbeiten.....	12
7	Fazit.....	17
8	Abschlussberichte der Teilprojekt.....	19
8.1	Abschlussbericht TP 1.....	19
8.2	Abschlussbericht TP 2.....	27
8.3	Abschlussbericht TP 3.....	30
8.4	Abschlussbericht TP 4.....	33
8.5	Abschlussbericht TP 5.....	37
8.6	Abschlussbericht TP 6.....	44

1 Einleitung

Der vorliegende Abschlussbericht des RÜWOLA-Projekts „Rückegassen als Feinerschließungssysteme im Wald – Optimierung durch natürliche Regeneration und technische Maßnahmen unter Berücksichtigung der Belange von Naturschutz und Landschaftsplanung“ fasst den Verlauf und die Ergebnisse der gesamten Projektlaufzeit von Januar 2012 bis Mai 2017 zusammen. Das Projekt wird somit mit einer kostenneutralen Verlängerung von fünf Monaten gegenüber der ursprünglich geplanten Laufzeit abgeschlossen. Eine Versuchsfläche des Projekts läuft unter der Führung der *Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt* weiter. Im Folgenden werden der Verlauf und die Ergebnisse des Projekts in Bezug zum Projektantrag vom 05.04.2011 sowohl zusammengefasst wie auch einzeln von den Teilprojektverantwortlichen dokumentiert.

2 Formale Angaben

2.1 Präsidenten der Hochschulen

Prof. Dr. Andreas Bertram, Stiftung Hochschule Osnabrück, Postfach 1940, 49009 Osnabrück, Telefon: +49(0)541 969-2100, Telefax: +49(0)541 969-2066, E-Mail: Praesident@hs-osnabrueck.de

Dr. Marc Hudy, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen, Hohnsen 4, 31134 Hildesheim, Telefon: +49(0)5121 881-0, Fax: +49(0)5121 881-132, E-Mail: praesident@hawk-hhg.de

2.2 Projektgruppe

Prof. Dr. Heinz-Christian Fründ i.R. (Sprecher), Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, hc.fruend@hs-osnabrueck.de

Prof. Dr. Thorsten Gaertig (stellvertretender Sprecher), HAWK - Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Ressourcenmanagement, Büsgenweg 1a, 37077 Göttingen, Tel. 0551 5032-171, Telefax 0551 5032-299, gaertig@hawk-hhg.de

Prof. Dr. Bettina Kietz, HAWK - Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Ressourcenmanagement, Büsgenweg 1a, 37077 Göttingen, Telefon 0551 5032-2285, Telefax 0551 5032-299, kietz@hawk-hhg.de

Prof. Dr. Hubert Merkel, HAWK - Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Ressourcenmanagement, Büsgenweg 1a, 37077 Göttingen, Tel. 0551 5032-254, Telefax 0551 5032-299, hubert.merkel@hawk-hhg.de

Prof. Dr. Rainer Blohm, HS Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften & Informatik, Postfach 1940, 49009 Osnabrück, Telefon 0541 969-2930, R.Blohm@fh-osnabrueck.de

Prof. Dr. Olaf Hemker, HS Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, Tel. 0541 969-5185, Telefax 0541 969-5170, o.hemker@hs-osnabrueck.de

Prof. Dr. Henning Schacht, HS Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur,

Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, 0541 969-5120, Telefax 0541 969-5170, h.schacht@hs-osnabrueck.de

Prof. Hubertus von Dressler, HS Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, 0541 969-5180, Telefax 0541 969-5170, h.von-dressler@hs-osnabrueck.de.

2.3 Kooperationspartner

P&P Dienstleistungs GmbH & Co KG, Forstdienstleistungen, Dr. Dirk Landgraf, Maschhof 4, 37431 Bad Lauterberg, Tel. 05524 2562, info@energieholanlagen.de.

Von Beyme Beratung GbR, Hintergasse 51, 06547 Schwenda, Herr Jörg von Beyme, Tel. 034658 90810,, Telefax 034658 90812, Beratung@v-Beyme.de,

Niedersächsische Landesforsten, Husarenstraße 75, 38102 Braunschweig, Herr Peter Winkelmann, Tel. 0531 1298-110, Telefax 0531 1298-55, Peter.Winkelmann@nlf.niedersachsen.de

Stadt Göttingen, Stadtforstamt, Pfarrweg 1, 37075 Göttingen, Herr M. Levin, Tel. 0551 21022, m.levin@goettingen.de

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW FVA), Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen, Axel Noltensmeier Tel 0551 69401-178, Telefax 0551 69401-160, Axel.Noltensmeier@nw-fva.de

Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF), Spremberger Straße 1, 64823 Groß-Umstadt, Dr. Hans-Ulrich Dietz, Tel. 06078 785-27, Telefax 06078 785-39, dietz@hwfonline.de

Landkreis Northeim, Medenheimer Straße 6-8, 37154 Northeim, Herr Fred Marten, Tel. 05551 708-146, Telefax 05551 708-133, fmarten@landkreis-northeim.de

Landkreis Göttingen, Reinhäuser Landstraße 4, 37083 Göttingen, Herr Günther Helberg, Tel. 0551 525-450, Telefax 0551 525-6450, helberg.guenther@landkreisgoettingen.de

Röntgen-Nuclear-Institut Drewes + Partner, Möserstraße 50, 49074 Osnabrück, Dr. Hans-Gerd Drewes, Tel. 0541 60010-0, Telefax 0541 60010-10,

2.4 Universitäre Kooperationspartner

Prof. Dr. Christoph Emmerling, Universität Trier, FB VI - Bodenkunde, Campus II, 54286 Trier, emmerling@uni-trier.de. Betreuer der Promotion in TP5.

Prof. Dr. E.E. Hildebrand † 2012, Universität Freiburg, Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Bertoldstr. 17, 79085 Freiburg, Betreuer der Promotion in TP1.

Prof. Dr. Friederike Lang, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Bodenökologie, Bertoldstraße 17, 79098 Freiburg i. Br., 0761 203-3625, Telefax 0761 203-3618, fritzi.lang@bodenkunde.uni-freiburg.de, Nachfolgerin der Promotionsbetreuung von TP1.

Prof. Prof. h.c. Dr. Dr. h.c. Rainer Horn, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Olshausenstraße 40, 24118 Kiel, 0431 880-3190, Telefax 0431 880-2940, rhorn@soils.uni-kiel.de. Betreuer der Promotion in TP4.

Prof. Dr. Jörn Erler, TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Dresdner Straße 24, 01737 Tharandt. Betreuer der Promotion in TP6.

2.5 RÜWOLA-Beirat

Prof. Dr. Jörn Erler, TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Dresdner Straße 24, 01737 Tharandt, erler@forst.tu-dresden.de.

Klaus Jänich, Vizepräsident der Niedersächsischen Landesforsten, Bienroder Weg 3
38106 Braunschweig, 0531 - 1298-101, Klaus.Jaenich@nlf.niedersachsen.de

Hans-Jürgen Zietz, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Brake-Oldenburg, Ratsherr-Schulze-Str. 10, 26122 Oldenburg, 0441 799-2332, hans-juergen.zietz@nlwkn-ol.niedersachsen.de

2.6 Gesamtprojektkosten

890.912 € (Fördermittel + Leistungen der Kooperationspartner)

Beantragte Fördermittel 746.412 €

Beantragte Stipendien für Graduierte (Anzahl): 3 (drei)

2.7 Geplante und tatsächliche Projektlaufzeit

Die Projektlaufzeit laut Antrag lief bis zum 31.12.2016. Durch die Bewilligung einer kostenneutralen Verlängerung wurde das Projekt am 31.05.2017 beendet (s. Tabelle 1). Die unterschiedlichen Gründe der Verzögerungen, sind den Berichten der Teilprojekte sowie dem Kapitel 4 zu entnehmen. Die Hauptursachen liegen in der krankheitsbedingten Verzögerung bei der Erstellung/ Abbruch der Dissertation im TP 5 sowie in der fehlenden Besetzung der Dissertationsstelle im TP 6.

Tabelle 1: Darstellung der geplanten und tatsächlichen Laufzeiten der Einzelprojekte

Teilprojekt	Projektbeginn	geplantes Projektende	tatsächliches Projektende (Abgabe des Projektberichts)
1	01.01.2012	31.12.2014	Februar 2017 Abgabe der Dissertation Juni 2017 Disputationstermin
2	01.01.2012	30.06.2012	Juni 2017
3	01.01.2012	31.12.2012	Juni 2014
4	01.01.2012	31.12.2014	August 2015
5	01.01.2012	31.12.2016	März 2017
6	01.01.2014	31.12.2016	April 2017
Projektkoordination	01.01.2012	31.12.2016	Mai 2017

3 Zusammenfassung des Gesamtprojekts

Das Befahren von Waldböden bewirkt Bodenschäden, die die Standortqualität nachhaltig beeinträchtigen können. Andererseits ist der Einsatz von fahrenden Forstmaschinen für eine rationelle Waldbewirtschaftung unvermeidlich. Dies führte bei den Forstverwaltungen zur Einrichtung dauerhafter Befahrungslinien („Rückegassen“) bei gleichzeitigem Ausschluss des Befahrens von der übrigen Fläche. Rückegassen zählen nicht zu den dauerhaften Infrastruktureinrichtungen des Waldes sondern zur produktiven Holzbodenfläche. Bei ihnen wird gegenwärtig eine Einschränkung von Bodenfunktionen in Kauf genommen.

Im Projekt „RÜWOLA“ „Rückegassen als Feinerschließungssysteme im Wald – Optimierung durch natürliche Regeneration und technische Maßnahmen unter Berücksichtigung der Belange von Naturschutz und Landschaftsplanung“ wurden praktische und planerische Maßnahmen entwickelt, mit denen die Bodenfunktionen auf forstlichen Rückegassen nachhaltig gesichert werden können. Der Schwerpunkt des Gesamtprojekts lag auf dem Erkenntnisgewinn zur Regeneration von Befahrungsschäden im Waldboden. Im Rahmen von sechs Teilprojekten (TP) wurden hierzu verschiedenen Aspekte intensiv beleuchtet. Der Themenbereich Befahrungsbedingte Bodenschäden im Wald wurden durch die Teilprojekt 1, 2 und 5 abgedeckt. Hier wurde das natürliche Regenerationspotenzial der Böden systematisch erfasst und standortangepasste Verfahren zur biotechnischen Unterstützung der Waldbodenregeneration entwickelt. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit einer Wertschöpfung von sich regenerierenden Rückegassen geprüft (TP 3). Dem Aspekt der Schadensvermeidung, durch die Wirkung wurzelintensiver Pflanzen auf die Tragfähigkeit der Böden bei Belastung durch Forstmaschinen, wurde im TP 4 in Form von Befahrungsversuchen und Messungen von Druckübertragungen nachgegangen. Die planerische Interpretation der Ergebnisse aus TP 1 bis TP 5 und des allgemeinen Erkenntnisstandes wurde schließlich im TP 6 zusammengefasst. Hier fand eine Abstimmung der Maßnahmen mit ökonomischen, ökologischen und sozialen Belangen statt. Mit der Integration der verschiedenen Aspekte, insbesondere der Schadensregeneration und der landschaftsplanerischen Bewertung verfolgte das Vorhaben somit einen innovativen Ansatz zum Umgang mit dem Problem der forstwirtschaftlich unumgänglichen Befahrung von Waldböden. Methodische Innovationen finden sich in der Erprobung des Konzepts der Bodenperforation auf Rückegassen (s. Abbildung 1, TP5) sowie im Monitoring des Rückegassenzustands in Bezug auf die Parameter CO₂-Gehalte der Bodenluft und allgemeiner Belüftungszustand des Bodens (TP 1 und TP 5).

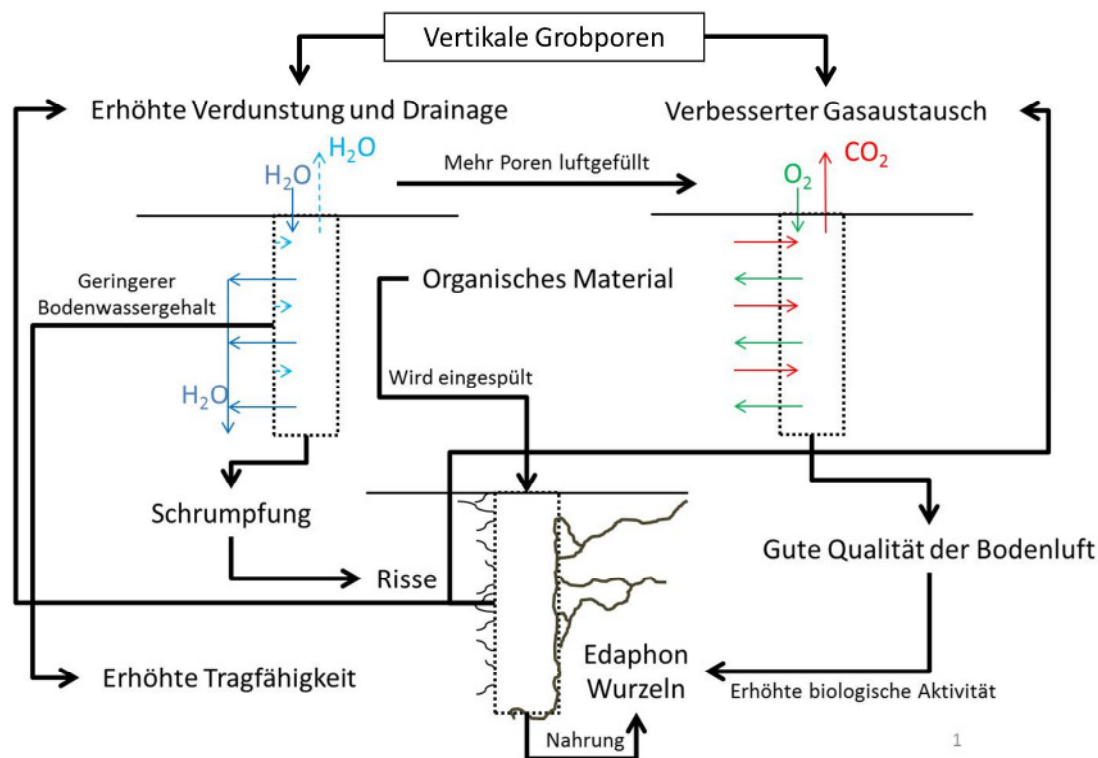


Abbildung 1: Hypothetisches Schema der Wirkung einer vertikalen (künstlichen) Pore im Boden zur Förderung der natürlichen Bodenregeneration (Abbildung: M. Müller-Inkmann).

4 Verlauf des Gesamtprojekts

Alle Teilprojekte wurden durch die eingerichtete Koordinationsstelle (01.01.2012-31.12.2012 P. Große Erdmann, danach A. Averdiek, HS OS) begleitet. Allgemeine Abstimmungen zwischen den Projektgruppen und der Informationsaustausch zwischen den Projektgruppen und den Kooperationspartnern sowie die Öffentlichkeitsarbeit wurden von hier aus getätigt. Um den Informationsfluss unter den einzelnen Teilprojekten zu gewährleisten, wurde ein gemeinsames Projektverzeichnis angelegt, welches für jedes Mitglied der Projektgruppen frei zugänglich war. Ebenso wurde ein gemeinsam nutzbares Literaturverwaltungsprogramm eingerichtet.

Im März 2012 fand das Auftakttreffen des RÜWOLA-Projekts statt. Hier wurde neben der Vorstellung des Gesamtprojektziels und seiner Teilziele vor allem den Kooperationspartnern Raum für einen Wissensaustausch gegeben. Vorstellung, Ansprüche und Wünsche wurden hier gemeinsam diskutiert.

Im September 2012 erfolgte mit insgesamt sieben Personen aus allen Teilprojekten eine Rundreise, mit dem Ziel der Kontaktaufnahme mit Arbeitsgruppen in Belgien, Frankreich, Schweiz und Deutschland, die sich ebenfalls mit der Befahrung, Verdichtung und Restrukturierung von Böden beschäftigen.

Um die interessierte Öffentlichkeit über RÜWOLA zu informieren wurde ein Informationsflyer entworfen und gedruckt, der bei Treffen und Konferenzen verteilt und bei weiteren Veranstaltungen ausgelegt wurde.

Eine weitere Informationsplattform stellt der Aufbau der RÜWOLA-Internetseiten dar. Hier wird das RÜWOLA-Projekt ausführlich vorgestellt. Es wird sowohl über Hintergründe und Zielsetzungen, wie

auch über aktuelle Unternehmungen informiert. Alle Projektverantwortlichen können durch die Internetpräsenz teilprojektspezifisch zugeordnet und kontaktiert werden.

Folgende Treffen und Seminare wurden durchgeführt:

- 16.01.2012: Kennenlernetreffen der Projektgruppe in Osnabrück
- 16.03.2012: Auftakttreffen der Projektgruppe und der Kooperationspartner in Göttingen, 26 Teilnehmer
- 25.10.2012: Statusseminar in Osnabrück, 20 Teilnehmer
- 16.02.2014: Statusseminar in Göttingen, 27 Teilnehmer
- 29.10.2015: Internationaler Workshop: „Regeneration of Compacted Forest Soils“, 30 Teilnehmer aus den Ländern Belgien, Schweiz, Frankreich, Polen und Deutschland.

Zusätzlich zu den oben genannten Treffen wurde ausgehend vom TP 5 und TP 6 am 14.02.2013 zu einem *Förster-Treffen* an der HS OS eingeladen. Es wurde über den geplanten Maßnahmenkatalog des TP 5 und über das Thema Schadensklassifikation diskutiert. Anwesend waren Förster der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, der Landesforsten Niedersachsen, ein Privat-Forstmeister sowie ein Waldökologe des Forstamtes Ankum.

Im September 2014 hat sich das RÜWOLA-Projekt auf der fünften *Forest Engineering Conference* in Gerardmer, Frankreich präsentiert.

Im März 2017 war der RÜWOLA-Sprecher zu einem internationalen Workshop über „Trafficability“ des EU-Projekts EFFORTE „Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry“ eingeladen und stellte dort die Ergebnisse des RÜWOLA-Projekts vor.

Für die zweijährige Schlussphase des RÜWOLA-Projekts, wurde im März 2015 der RÜWOLA-Beirat gegründet. Der Beirat besteht aus einem Vertreter der Forstwirtschaft, einem Vertreter des Naturschutzes und einem Vertreter der Wissenschaft (s. Kapitel 2.5). Der Beirat hat sich an drei Terminen getroffen, um im Projekt erarbeitete Ergebnisse in einen breiten wissenschaftlichen Kontext zu stellen und um die praktische Umsetzbarkeit von möglichen Empfehlungen zu diskutieren.

Veränderungen und Abweichungen gegenüber dem Projektplan

Die ursprüngliche Stelle des wissenschaftlichen Mitarbeiters aus TP 4 wurde in eine Dissertation ausgeweitet. Die Betreuung des Doktoranden wurde von Prof. Dr. h.c. Rainer Horn, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, übernommen.

Durch das Ableben von Prof. Dr. E. Hildebrand, Universität Freiburg, musste die Betreuung der Dissertation aus TP 1 neu besetzt werden. Diese Aufgabe wurde von Prof. Dr. Friederike Lang, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, übernommen.

Herr Prof. Dr. Rainer Wallmann hatte die HAWK verlassen und stand dem RÜWOLA-Projekt in TP 3 nicht mehr zur Verfügung. Die Federführung in TP 3 wurde von Prof. Dr. H. Merkel und Prof. Dr. T. Gaertig übernommen.

Das dem TP 5 zugeordnete Promotionsvorhaben (Graduiertenstipendium 2, geplante Laufzeit 2012 – 2014) hat sich zunächst bis in das Jahr 2017 krankheitsbedingt verzögert. Am 11.04.2017 teilte der Doktorand den Abbruch seines Promotionsvorhabens mit.

Der Kandidat des dem Teilprojekt 6 zugeordneten Promotionsvorhabens (Graduiertenstipendium 3) hat nach einem Jahr gekündigt. Es konnte kein weiterer Kandidat zur Fortführung des Stipendiums

gefunden werden. Aus diesem Grund wurde die Position des Stipendiums, in eine Verlängerung der ursprünglich für ein Jahr vorgesehenen Stelle des Projektengineurs im TP 6, auf zwei Jahre ausgeweitet.

Der Kooperationspartner 3N-Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe ist noch vor dem Start des Projekts zurückgetreten.

Es gab keine weitere Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern „Von Beyme Beratung GbR“ und Herrn Landgraf von „P&P Dienstleistungen“. Mit beiden Partnern war ein Bepflanzungsversuch zu den Themen Wurzelarmierung und nachwachsende Rohstoffe (NawaRos) geplant. Herr Landgraf stand dem Projekt nicht weiter zur Verfügung, da er einen Ruf auf eine Professur in Erfurt erhalten hatte und die Von Beyme Beratung GbR erwies sich für das Thema NawaRos nicht weiter zugänglich.

5 Ergebnisse der Teilprojekte, Ausgangslage und durchgeführte Arbeiten

Das Befahren von Waldböden bewirkt Bodenschäden, die die Standortqualität nachhaltig beeinträchtigen können. Andererseits ist der Einsatz von fahrenden Forstmaschinen für eine rationelle Waldbewirtschaftung unvermeidlich. Dies führte bei den Forstverwaltungen zur Einrichtung dauerhafter Befahrungslinien („Rückegassen“) bei gleichzeitigem Ausschluss des Befahrens von der übrigen Fläche. Rückegassen zählen nicht zu den dauerhaften Infrastruktureinrichtungen des Waldes sondern zur produktiven Holzbodenfläche. Bei ihnen wird gegenwärtig eine Einschränkung von Bodenfunktionen in Kauf genommen. Der in sechs Teilprojekte untergliederte Forschungsschwerpunkt hat daher zum Ziel, praktische und planerische Maßnahmen zu entwickeln, mit denen die Bodenfunktionen auf forstlichen Rückegassen nachhaltig gesichert werden können. Durch die sechs Teilprojekte werden in Bezug zu diesem übergeordnetem Ziel folgende Arbeitspakete bzw. Fragestellungen bearbeitet:

TP 1: Ob und wie eine natürliche Regeneration von Rückegassen auf unterschiedlichen Waldstandorten erfolgt. Hierfür wurden Untersuchungen an Waldstandorten durchgeführt, die vor 5, 10, 20 und 30 Jahren das letzte Mal befahren wurden.

Ergebnisse Teilprojekt 1: Spontane Regeneration von Fahrspuren im Wald

- Bei Rückegassen auf biologisch sehr aktiven und tonhaltigen Standorten konnte eine Regeneration innerhalb von 10-20 Jahren nachgewiesen werden.
- Rückegassen auf sandigen Standorten wiesen noch vierzig Jahre nach der letzten forstlichen Nutzung starke Strukturstörungen auf.
- Die Ergebnisse von bodenchemischen und bodenbiologischen Analysen deuten auf eine Entkopplung der P-Mineralisierung und P-Aufnahme auf den Fahrspuren aufgrund einer verringerten Aktivität von Pflanzenwurzeln in den Fahrspuren hin.

TP 2 und TP 3: Welche Möglichkeiten bestehen, die Bodenschutzvegetation auf Rückegassen wirtschaftlich zu nutzen (stofflich oder energetisch). Hierfür wurden stoffliche Eigenschaften von Pflanzen untersucht und Nutzungsszenarien ökonomisch geprüft. Weiterhin wurde eine systematische Recherche nach Pflanzenarten durchgeführt, die auf Rückegassen angesiedelt werden können.

Ergebnisse Teilprojekt 2 + 3: Ermittlung geeigneter Pflanzenarten für Bodenschutz und Wertschöpfung auf Rückegassen

- Eine erweiterte Liste geeigneter Pflanzenarten sowie ein Ertragsrechner wurden erstellt.

TP 4: Kann durch die armierende Wirkung von wurzelintensiven Gehölzen die technische Befahrbarkeit von Rückegassen erhalten werden? Hierfür wurde auf bereits bestehenden Energieholzplantagen geprüft, ob und bei welchen Maschinenspezifikationen Stöcke und Wurzeln von Kurzumtriebsgehölzen die auf den Boden einwirkenden Kräfte ableiten können, so dass schädliche Fahrspureintiefungen verringert und somit schädliche Bodenveränderungen abgewehrt werden können.

Ergebnisse Teilprojekt 4: Schadensvermeidung bei mechanischer Belastung

- Im Vergleich zu einer konventionellen Maschine sind Spezial-Ketten-Maschine in der Lage die Spannungseinträge deutlich zu reduzieren.
- Variable Laufwerke können Hindernisse im Gelände bodenschonender Überfahren.
- Bei den Versuchen zur Wurzelarmierung konnten keine positiven Effekte des Wurzelflechtes zur Spannungsreduktion dokumentiert werden.

TP 5: Kann die Regeneration der Bodenstruktur durch aktive flankierende Maßnahmen initiiert, unterstützt und gefördert werden? Hierfür wurden Experimente mit Bodenperforation, Kalkungsmaßnahmen, Regenwürmern, und Pflanzen angestellt.

Ergebnisse Teilprojekt 5: Entwicklung von Verfahren zur Steigerung des Regenerationspotenzials der Böden von Rückegassen

- Während des Versuchszeitraums wurde in den Gassen, in denen Maßnahmen zur Regenerationsförderung zur Anwendung kamen, kein Regenerationsvorsprung gegenüber den unbehandelten Referenzgassen nachgewiesen.
- Eine Regenerationsförderung der angewandten Maßnahmen ist in Detailuntersuchungen feststellbar, in der Fläche aber noch nicht nachweisbar.
- Ein Maßnahmenkatalog zur Sicherung und zur Regeneration von Bodenfunktionen in Rückegassen wurde erstellt.

TP 6: Wie sind die entwickelten Maßnahmen zur Nutzung und Regeneration des Bodens landschaftsökologisch zu bewerten? Hierfür wurden in ausgewählten Testgebieten Szenariobetrachtungen durchgeführt. In einem interdisziplinären Ansatz unter Beteiligung von Landschaftsplanern und Forstökonomern wurden aus den Ergebnissen der Teilprojekte planerische Gestaltungsspielräume identifiziert. Darauf aufbauend wurden Verfahren für die Optimierung der Wald-Feinerschließung unter Beachtung des Bodenschutzes entwickelt.

Ergebnisse Teilprojekt 6: Landschaftsökologische Bewertung und Entwicklung eines Optimierungskonzepts zur Wald-Feinerschließung

- Die Aufarbeitung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Waldfeinerschließung ergab, dass die bestehenden gesetzlichen Vorgaben, für eine nachhaltige Wald-Feinerschließung einen allgemeinen Rahmen setzen. Die Rechtsbegriffe seien aber unbestimmt und weisen je nach Zielprioritäten mehr oder weniger weite Interpretationsspielräume auf. Entscheidend sei auch stets, welche allgemein anerkannten Standards sich in Wissenschaft und Praxis herausgebildet haben, denn damit unterliege der Inhalt der „ordnungsgemäßen Forstwirtschaft“ einer stetigen Entwicklung.
- Erarbeitung eines Schemas zur Bestimmung von Schadensschwellen der Bodenverdichtung durch Befahrung und mögliche Handlungsreaktionen.

- Erstellung eines Bewertungsrahmens zur Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens eines forstlichen Bestands, der in die Ableitung von Maßnahmen zum Erhalt der forsttechnischen Befahrbarkeit bzw. zum Erhalt eines produktiven Waldbodens mündet.

Durch die Untersuchungen des TP 6 konnten zwei Forderungen zur Verbesserung des Bodenschutzes in der Holzerntepraxis besonders herauskristallisiert werden:

1. Ordnungsgemäße Forstwirtschaft bedeutet keine Befahrung bei hoher Bodenfeuchte (Grenzwert für die Befahrbarkeit über Ausrollgrenze oder andere Verfahren ermittelte Bodenfeuchte)
2. Verringerung des Vollzugsdefizits bei der Umsetzung der bodenschutzrelevanten Anforderungen durch Einführung eines Qualitätsmanagements bei der Holzernte durch eine bodenschutzorientierte Holzerntebegleitung in Verantwortung des Revierleiters, ggf. im Benehmen mit den Förstern für Waldökologie.

6 Publikationen, wissenschaftliche Arbeiten

Die Tabelle 2 fasst die im gesamten Projekt angefertigten wissenschaftlichen Arbeiten und Publikationen zusammen. In den Berichten der Einzelprojekte werden diese weiter erläutert.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Abschlussarbeiten und Publikationen

Art	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
Dissertation	Ebeling ¹			Riggert ²	Müller-Inkmann (abgebrochen) ³	Moczia (abgebrochen) ⁴
Masterarbeit		Goronzi ⁵		Dietl ⁶	Evers ⁷ Rinne ⁸ Pollmeier ⁹ Sparrer ¹⁰	
Bachelorarbeit	Struckmeyer ¹¹ Weidner ¹² Küblbeck ¹³ Gutsche ¹⁴ Franke und Wörmann ¹⁵ Wiedermann ⁷	Schwarz ¹⁷ Marderwald ¹⁸ Düchting ¹⁹ Freude-Waltermann ²⁰		Wrosch ²¹	Steedmann ²² Kolkman ²³	Engwer ²⁴ Schäfer ²⁵ Herrmann ²⁶ Holzberg ²⁷
Diplomarbeit					Bielski ²⁸	
Vorträge	Ebeling et al. ²⁹ Ebeling, Gaertig ³⁰ Ebeling, Gaertig ³¹ Kohn et al. ³²	Goronzi et al. ³³	Statusseminar 2014	Riggert ³⁴ Riggert ³⁵	Averdiek ³⁶ Averdiek ³⁷ Averdiek et al. ³⁸ Averdiek, Fründ ³⁹ Müller-Inkmann ⁴⁰ Müller-Inkmann ⁴¹ Müller-Inkmann ⁴² Müller-Inkmann ⁴³	Clemens ⁴⁴
Poster	Ebeling et al. ⁴⁵	Goronzi et al. ⁴⁶		Gaertig et al. ⁴⁷ Riggert ⁴⁸ Riggert et al. ⁴⁹ Riggert ⁵⁰ Riggert ⁵¹ Riggert ⁵² Riggert ⁵³	Averdiek et al. ⁵⁴ Fründ et al. ⁵⁵ Fründ et al. ⁵⁶	
Veröffentlichungen nicht begutachtet	Kohn et al. ⁵⁷ Ebeling, Gaertig ⁵⁸ Ebeling et al. ⁵⁹	Goronzi et al. ⁶⁰		Riggert et al. ⁶¹ Riggert et al. ⁶²	Fründ et al. ⁶³ Müller-Inkmann, Fründ ⁶⁴ Müller-Inkmann et al. ⁶⁵ Fründ et al. ⁶⁶	Averdiek et al. ⁶⁷
Veröffentlichungen peer reviewed	Ebeling et al. ⁶⁸ Ebeling et al. ⁶⁹ Ebeling et al. ⁷⁰			Riggert et al. ⁷¹ Riggert ⁷²	Müller-Inkmann et al. ⁷³ Fründ, Averdiek ⁷⁴	
Weitere Ausarbeitungen					Averdiek, Fründ ⁷⁵	

Promotionsvorhaben

¹ Ebeling, C. (2017): Spontane Regeneration von Bodenspuren im Wald – standörtliche Voraussetzungen, Prozesse und Zeiträume. Dissertation, HAWK HHG und Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

² Riggert, R. (2015): Spannungseinträge unter Holzerntemaschinen und Auswirkungen auf bodenphysikalische Parameter. Dissertation, HAWK HHG und Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

³ Müller-Inkmann, M.: Gefügebildung durch Regenwürmer und Pflanzenwurzeln in verdichtetem Waldboden und Möglichkeiten der Förderung für eine beschleunigte Regeneration von Fahrspuren

im Wald. Dissertation Hochschule Osnabrück und Universität Trier. Promotionsvereinbarung vom 25.01.2012, abgebrochen 11.04.2017.

⁴ Moczia, F: Optimierung der Wald-Feinerschließung unter Berücksichtigung der Belange des Bodenschutzes, der Forstökonomie, der Erholungsvorsorge, des Arten- und Biotopschutzes sowie der standortangepassten Regenerationsmöglichkeiten des Bodens. Dissertation Hochschule Osnabrück und Technische Universität Dresden. Exposé vom 30.03.2014, abgebrochen 31.10.2014.

Abschlussarbeiten

⁵ Goronzi, K. (2014): Prüfung des Potentials von vier Baumarten zum Erschließen von Bodenverdichtungen unter Schattenbedingungen – Validierung eines Versuchsdesigns.

Betreuer: Prof. Dr. Fründ (HS OS), Prof. Dr. Schacht (HS OS).

⁶ Dietl, A. (2014): Spannungseinträge unter Forstmaschinen – Wie wirken sich mehrfach Überfahrten auf die Bodenfunktionen aus? Sind Bogiebänder in der Lage Spannungseinträge zu reduzieren. Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

⁷ Evers, F. (2013): Untersuchungen zur Auswirkung von Lochstanzen und Kalkausbringung auf Wassergehalt und Tragfähigkeit eines verdichteten Lößbodens. Masterarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. Dr. Hemker (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

⁸ Rinne, D. (2013): Untersuchungen zum Verlauf von Baumwurzeln (*Fagus sylvatica*) im Einflussbereich von Fahrspuren im Wald. Masterarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. Dr. Hemker (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

⁹ Pollmeier, M. (2012): Humusformen und bodenbiologische Aktivität im Waldgebiet „Im Hone“. Masterarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. Dr. Fründ (HS OS), Prof. Dr. Gaertig (HAWK HHG).

¹⁰ Sparrer, J. (2017): Auswirkung von Bodenperforation und Kalkung auf Bodeneigenschaften von Rückegassen in einem Buchenbestand des Sollings. Masterarbeit, Hochschule Osnabrück und Universität Osnabrück. Betreuer: Prof. Dr. Fründ (HS OS), Dr. Talkner (NW FVA).

¹¹ Struckmeyer, C. (2013): Der Einfluss von Bodenart, Geländeform und Substratmächtigkeit auf die Fahrspurtiefe in einem Buchenjungbestand auf lössüberlagerten Buntsandstein im Forstamt Dassel. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, M.Sc. C.Kohn.

¹² Weidner, A. (2014): Bodenstruktur, Durchwurzelung und Baumwachstum auf aufgegebenen Rückegassen in einem etwa dreißigjährigen Laubholz-mischbestand auf tonig-lehmigen Substrat. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, M.Sc. C. Kohn.

¹³ Küblbeck, M. (2015): Bodenrespiration auf unterschiedlich alten Rückegassen in Abhängigkeit vom Strukturbildungspotenzial des Bodens Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, M. Sc. C. Ebeling.

¹⁴ Gutsche, E.-M. (2016): Die CO₂-Konzentrationen der Bodenluft in fünf und zehn Zentimeter Tiefe unter unterschiedlich lange nicht mehr befahrenen Fahrspuren auf lössbeeinflussten Muschelkalkstandorten im Göttinger Wald. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, Dr. Koch-Neumeyer.

¹⁵ Franke L. Wörmann P., (2016): Dendroökologische Untersuchungen von Buchen und Eschen auf unterschiedlich verdichteten Böden. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, Prof. Dr. Merkel.

¹⁶ Wiedermann, H., (in Planung, Abgabe 2017): Die Eignung von Redoxmerkmalen an Eisenstäben zur Beurteilung der Bodenbelüftung. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, Dr. Koch-Neumeyer.

¹⁷ Schwarz, C. (2012): Pflanzenwahl zur Regeneration von Rückegassen. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Merkel, : Prof. Dr. Gaertig.

¹⁸ Marderwald, K. (2012): Eignung krautiger und verholzender Pflanzen für die Restrukturierung verdichteter Böden in der Forstwirtschaft. Bachelorarbeit, Betreuer: Prof. Dr. Schacht (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

¹⁹ DÜCHTING, S. (2013): Entwicklung und Bewertung eines Untersuchungsverfahrens zur Beobachtung des Eindringvermögens von Baumwurzeln in verdichteten Böden. Bachelorarbeit, Betreuer: Prof. Dr. Schacht (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

²⁰ Freude-Waltermann, F., (2013): Untersuchung der Wuchsleistung von Untersaatmischungen bei unterschiedlichen Standortbedingungen. Bachelorarbeit, Betreuer: Prof. Dr. Schacht (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

²¹ Wrosch, M. (2014): Technische Verfahren zum Schutz des Bodens bei mechanischer Belastung. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Kietz, Prof. Dr. Gaertig,.

²² Steegmann, T. (2012): Bestimmung bodenmechanischer Eigenschaften eines Waldbodens in einer Rückegasse. Bachelorarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. Dr. Hemker (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS)

²³ Kolkman, J. (2012): Erfassung der Oberbodenverhältnisse und des Vorkommens Bodenstruktur schaffender Fauna an Fahrspuren in zwei Waldbeständen. Bachelorarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. Dr. Fründ (HS OS), Prof. Dr. Rück (HS OS).

²⁴ Engwer, M. (2012): Bodenschutz im Wald – Vergleichende, GIS-gestützte Untersuchungen zum Ausmaß von Bodenschäden in der forstlichen Feinerschließung am Beispiel des „Forst Palsterkamp“ bei Bad Iburg (Landkreis Osnabrück). Bachelorarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. von Dressler (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

²⁵ Schäfer, N. (2016) *: Vergleich des Einflusses von Feinerschließungssystemen auf die Fahrspurausprägung und die Waldbodenvegetation auf Löss beeinflussten Buntsandsteinstandorten im Solling im Rahmen des RÜWOLA-Projektes. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, Dr. Koch-Neumeyer.

²⁶ Herrmann, F. (2016): Moderne Holzernte und Naturschutz im Spannungsfeld Bewertung der Feinerschließung einer Abteilung im FFH-Gebiet "Teutoburger Wald, Kleiner Berg" unter Berücksichtigung ökologischer, naturschutzrechtlicher und forstwirtschaftlicher Gesichtspunkte. Bachelorarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. von Dressler (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

²⁷ Holzberg, J. (2016) *: Der Vergleich von Bodenschäden bei zwei unterschiedlichen Holzernteverfahren auf lössbeeinflussten Muschelkalkstandorten im Südniedersächsischen Bergland. Bachelorarbeit, HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig, Dr. Koch-Neumeyer.

²⁸ Bielski, M. (2012): Untersuchungen zur Wirkung von Glucose und Kalk auf die Aktivität der Regenwurmart *Aporrectodea caliginosa*. Diplomarbeit, Hochschule Osnabrück. Betreuer: Prof. Dr. Fründ (HS OS), Prof. Dr. Anlauf (HS OS).

Vorträge

²⁹ Ebeling, C., Lang, F., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (29.09.2016): Regeneration von Bodenverdichtung auf Fahrspuren im Wald und Auswirkungen auf das Baumwachstum. Forstwissenschaftliche Tagung, 2016, Freiburg.

³⁰ Ebeling, C., Gaertig, T. (09.09.2015): Natürliche Regeneration von Fahrspuren im Wald: Bodenphysikalische und bodenbiologische Betrachtungen. Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 2015, München

³¹ Ebeling, C., Gaertig, T. (25.08.2015): Natürliche Regeneration von Bodenverdichtung im Wald. Interdisziplinäres Expertentreffen zur Forschung im Rahmen der Biodiversitätskonvention, 2015, Bundesamt für Naturschutz, Vilm.

³² Kohn, C., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (10.09.2013): CO₂-Konzentration der Bodenluft und Phosphatase-Aktivität als Indikatoren der natürlichen Regeneration auf Rückegassen im Kalkbuchenwald. Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 2013, Rostock.

³³ Goronzi, K., DÜCHTING, S., FRÜND, H.-C., SCHACHT, H. (31.10.2013): Untersuchungen zur Prüfung des Eindringvermögens von Baumwurzeln in verdichteten Boden. Kontaktstudientage Gartenbau der Hochschule Osnabrück 2013.

³⁴ Riggert, R. (2014): Stress distribution under forestry machinery and consequences on physical soil functions. 20th World Congress of Soil in Südkorea.

- ³⁵ Riggert, R. (09.09.2015): Technische Optimierungsmöglichkeiten von Holzerntemaschinen zur Reduktion von Spannungseinträgen und ihre Auswirkungen auf die Bodenstruktur von Waldböden. DBG Tagung in München.
- ³⁶ Averdiek, A., (10.09.2013): Bodenperforation (Lochstanzen) als Maßnahme zur Behandlung von Fahrspurverdichtungen im Wald. Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock
- ³⁷ Averdiek, A. (10.10.2012): RÜWOLA – Überblick über ein Forschungsprojekt zur Reduzierung von Bodenverdichtung im Wald. Vortragsreihe „Praxisfeld Boden“ der Hochschule Osnabrück.
- ³⁸ Averdiek, A., Fründ, H.-C., Müller-Inkman, M., Hemker, O. (09.09.2015): Maßnahmen zur Behandlung von Fahrspurverdichtung im Wald. Jahrestagung der DBG 2015, München.
- ³⁹ Averdiek, A., Fründ, H.-C. (29.10.2015): Effects of Soil Perforation, Liming and Grass Seeding on Soil Aeration and Matric Potential in Skidding Trails during 3 Years After Trafficking. International Workshop: Regeneration of Compacted Forest Soils. Osnabrück, Germany.
- ⁴⁰ Müller-Inkman, M., (10.09.2013) Verhalten von drei Regenwurmarten in einem oberflächlich verdichteten Bodenvolumen. Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", Rostock
- ⁴¹ Müller-Inkman, M. (20.09.2012): Untersuchungen zur Wirkung von Glucose auf die Aktivität von *Aporrectodea caliginosa* bei unterschiedlichen Bodenwassergehalten. Tagung der DBG Kommission III, Bodenbiologie und Bodenökologie "Lebensraum Boden", Hohenheim
- ⁴² Müller-Inkman, M. (02.12.2014): Bodenperforation als Maßnahme zur Behandlung von Fahrspurverdichtungen im Wald. Universität Trier: Bodenkundliches Kolloquium, Trier
- ⁴³ Müller-Inkman, M. (03.05.2015): Bodenverdichtung im Wald – welche Möglichkeiten gibt es zur Förderung der Strukturregeneration des Bodens? Universität und Hochschule Osnabrück: Osnabrücker Geographisches Kolloquium, Osnabrück
- ⁴⁴ Moczia, F., Clemens, G., von Dressler, H. (14.05.2014): Rückegassen in Wald-Feinerschließungssystemen - Optimierung durch natürliche Regeneration und technische Maßnahmen unter Berücksichtigung der Belange von Naturschutz, Erholungsvorsorge und Forstökonomie. Campus-Konferenz Hochschule Osnabrück

Poster

- ⁴⁵ Ebeling, C., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (2015): Soil air CO₂ concentration as an integrative parameter of soil structure. EGU2015-5010, EGU General Assembly Wien. Und: International Workshop Regeneration of Compacted Forest Soils, Osnabrück, 30.10.2015.
- ⁴⁶ Goronzi, K., Müller-Inkman, M., Schacht, H., Fründ, H.-C. (2013): Versuchsdesign zur Prüfung des Potenzials von Bäumen zur Auflockerung von Bodenverdichtung. Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock.
- ⁴⁷ Gaertig, T, Funke, H. und Kietz B (2013): Anforderungen der Landesforstbetriebe an eine bodenpflegliche Waldbewirtschaftung. Jahrestagung der DBG, Rostock. 07-12.09.2013
- ⁴⁸ Riggert, R. (2013): Spannungsmessungen auf Parabraunerden aus Löss unter verschiedenen Forstmaschinen - RÜWOLA-Projekt. 2. KWF Thementage in Stralsund
- ⁴⁹ Riggert, R., Fleige, H., Kietz, B, Gaertig, T., Horn, R. (2013): Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und –stabilität. Jahrestagung der DBG, Rostock.,
- ⁵⁰ Riggert, R. (2013): Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und –stabilität. 63. Hochschultagung in Kiel.
- ⁵¹ Riggert, R. (2013): Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und –stabilität. Agritechnika 2013 in Hannover.
- ⁵² Riggert, R. (2014): Spannungsmessungen auf Parabraunerden aus Löss unter verschiedenen Forstmaschinen - RÜWOLA-Projekt. Interforst in München.
- ⁵³ Riggert, R. (2015): An assessment scheme for soil deformation processes caused by different forestry machinery. SUSTAIN in Kiel.
- ⁵⁴ Averdiek, A., Engwer, F., von Dressler, H. (2013): Zustandserfassung von Befahrungslinien in einem Landesforst und im Privatwald. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock.

⁵⁵ Fründ, H.C., Gaertig, T., Averdiek, A., Clemens, G., Ebeling, C., Hemker, O., Moczia, F., Müller-Inkmann, M., von Dressler, H. (2015): Skidding tracks as forest infrastructure - promoting natural regeneration processes with regard to economic and ecological issues. FORMEC, Gerardmer, Frankreich.

⁵⁶ Fründ, H.-C., Averdiek, A., Clemens, G., Ebeling, C., Moczia, F., Müller-Inkmann, M., Hemker, O., von Dressler, H., Gaertig, T. (2014): Rückegassen als Wald-Infrastruktur – Förderung natürlicher Regenerationsprozesse unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Belage. Jahrestagung der DBG 2015, München.

Veröffentlichungen (ohne peer review)

⁵⁷ Kohn, C., Gaertig, T., Fründ, H.-C. (2013) CO₂-Konzentration der Bodenluft und Phosphatase-Aktivität als Indikatoren der natürlichen Regeneration auf Rückegassen im Kalkbuchenwald. In: Jahrestagung 2013: Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung, 7.-12.09.2013, Rostock. http://eprints.dbges.de/879/1/DBG_Tagung_2013_Kohn.pdf

⁵⁸ Ebeling, C., Gaertig, T. (2015) Natürliche Regeneration von Fahrspuren im Wald: Bodenphysikalische und bodenbiologische Betrachtungen. In: DBG-Jahrestagung "Unsere Böden - Unser Leben", 05.09.2015 - 10.09.2015, München.

http://eprints.dbges.de/1128/1/DBG_Tagung_Ebeling2015.pdf

⁵⁹ Ebeling, C., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (2015): Soil air CO₂ concentration as an integrative parameter of soil structure. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-5010, EGU General Assembly 2015.

⁶⁰ Goronzi, K., Müller-Inkmann, M., Schacht, H., Fründ, H.-C. (2013) Prüfung des Potentials von Bäumen zur Erschließung von Bodenverdichtungen – Entwicklung eines Versuchsdesigns. In: Jahrestagung der DBG, 07.-12.09.2013, Rostock.

http://eprints.dbges.de/901/1/Pr%C3%BCfung_des_Potentials_von_B%C3%A4umen_zur_Erschlie%C3%9Fung_von_Bodenverdichtungen_%E2%80%93_Entwicklung_eines_Versuchsdesigns.pdf

⁶¹ Riggert, R., Fleige, H., Kietz, B., Gaertig, T., Horn, R. (2013) Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und –stabilität. In: Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 07.-12.09.2013, Rostock.

http://eprints.dbges.de/969/1/Beitrag_Roland_Riggert.pdf

⁶² Riggert, R., Fleige, H., Kietz, B., Gaertig, T., Horn, R. (2015) Technische Optimierungsmöglichkeiten von Holzerntemaschinen zur Reduktion von Spannungseinträgen und ihre Auswirkungen auf die Bodenstruktur von Waldböden. In: DBG-Jahrestagung "Unsere Böden - Unser Leben", 05.09.2015 - 10.09.2015, München. http://eprints.dbges.de/1072/1/Riggert_DBG15.pdf

⁶³ Fründ, H.-C., Averdiek, A., Müller-Inkmann, M., Hemker, O. (2013) Bodenperforation (Lochstanzen) als Maßnahme zur Behandlung von Fahrspurverdichtungen im Wald. In: Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung, 9-12 September, 2013, Rostock.

http://eprints.dbges.de/965/1/Bodenperforation_final.pdf

⁶⁴ Müller-Inkmann, M., Fründ, H.-C. (2013) Verhalten von drei Regenwurmartens in einem oberflächlich verdichteten Bodenvolumen. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock.

http://eprints.dbges.de/880/1/Mueller-Inkmann_Fruend_2013.pdf

⁶⁵ Müller-Inkmann, M., Averdiek, A., Fründ, H.-C. (2016): Eisenstäbe zur einfachen Erfassung der Bodenbelüftung. AFZ-DerWald 8/2016.

⁶⁶ Fründ, H.C., Gaertig, T., Averdiek, A., Clemens, G., Ebeling, C., Hemker, O., Moczia, F., Müller-Inkmann, M., von Dressler, H. (2015): Skidding tracks as forest infrastructure - promoting natural regeneration processes with regard to economic and ecological issues.

<https://www.formec.org/images/proceedings/2014/a51.pdf>

⁶⁷ Averdiek, A., Engwer, M., von Dressler, H. (2013) GIS-gestützte Zustandserfassung von Befahrungslinien in einem Landesforst und einem Privatwald. In: Jahrestagung der DBG, September 2013, Rostock. http://eprints.dbges.de/958/1/DBG_Tagung_2013_Averdiek_Engwer.pdf

Veröffentlichungen (peer reviewed)

⁶⁸ 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* Vol. 359, pp. 74–82, doi 10.1016/j.foreco.2015.09.045.

⁶⁹ Ebeling C, Franke L, Merkel H, Weidner A, Wörmann P, Gaertig T (2016): Baumwachstum auf Rückegassen – Beeinflussen Bodenstrukturstörungen das Wachstum von Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Esche (*Fraxinus excelsior* L.)? In: *ALLG FORST JAGDZTG* 187 (7/8), S. 146–156.

⁷⁰ Ebeling, C., Fründ, H.—C., Lang, F., Gaertig, T. (2017): Evidence for increased P availability on wheel tracks 10 to 40 years after forest machinery traffic. In: *Geoderma* 297, S. 61–69. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.03.003.

⁷¹ Riggert, R., Fleige, F., Kietz, B., Gaertig, T., & Horn, R. (2016): Stress Distribution under Forestry Machinery and Consequences for Soil Stability. In: *Soil Science Society of America Journal*. Online verfügbar unter doi:10.2136/sssaj2015.03.0126.

⁷² Riggert, R. (2015): Spannungseinträge unter Holzerntemaschinen und Auswirkungen auf bodenphysikalische Parameter. Band 107 Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

⁷³ Müller-Inkmann, M., Fründ, H.-C., Hemker, O. (2013): An experimental setup to assess earthworm behaviour in compacted soil. In: *Biol Fertil Soils* 49 (3), S. 363–366. DOI: 10.1007/s00374-012-0730-1.

⁷⁴ Fründ, H.-C., Averdiek, A. (2016): Soil aeration and soil water tension in skidding trails during three years after trafficking. In: *Forest Ecology and Management* 380, S. 224–231. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.09.008.

Weitere Ausarbeitungen

⁷⁵ Averdiek, A., Fründ, H.-C. (2017): Maßnahmen zur Sicherung und zur Regeneration von Bodenfunktionen in Rückegassen. Zusammenstellung von Empfehlungen und Praxiserfahrungen, 36 Seiten. Zum download verfügbar auf <https://www.hs-osnabrueck.de/Ruewola/>)

7 Fazit

Alle Projekte wurden bis zum Ende der Projektlaufzeit, dem 31.05.2017, abgeschlossen. Aus den Erkenntnissen der kurz vor Projektende abgebrochenen Dissertation (TP 5) soll seitens des Doktoranden eine Veröffentlichung mit folgendem Titel angefertigt werden: Einfluss von Glucose auf die Restrukturierung verdichteter Bodenblöcke bei verschiedenen Boden-Umfeld-Bedingungen (s. auch Kapitel 8.5).

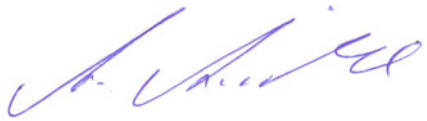
In den Teilprojekten wurden insgesamt über 70 Weiterqualifikationen und Veröffentlichungen erarbeitet. Es wurden Messgeräte zur Dauerbeobachtung (z.B. CO₂-Sonden) sowie Versuchsdesigns (z.B. zur Beobachtung der Reaktion von Baumwurzeln auf Bodenverdichtung) entwickelt. Weiterhin wurden Handreichungen (Maßnahmenkatalog und Optimierungskonzept zur Feinerschließung von Rückegassen) mit den Kooperationspartnern entwickelt und den forstlichen Institutionen zur Verfügung gestellt.

Die Arbeiten und Ergebnisse des RÜWOLA-Projekts wurden auf internationaler Ebene präsentiert und nachgefragt.

Die vor Projektbeginn nicht abzusehende Ausweitung der Zertifizierungssysteme führt dazu, dass die Projektziele eine besondere gesellschaftliche und wirtschaftliche Relevanz bekommen haben.

Osnabrück, den 31.05.2017

Prof. Dr. Heinz-Christian Fründ, Sprecher der Antragstellergruppe

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'A. Averdiek', written in a cursive style.

M. Sc. Audrey Averdiek, Projektkoordinatorin

8 Abschlussberichte der Teilprojekte

8.1 Abschlussbericht TP 1

Titel: Spontane Regeneration von Fahrspuren im Wald – Standörtliche Voraussetzungen, Prozesse und Zeiträume.

Federführung: Gaertig (HAWK)

Beteiligt: Fründ (HS OS), NW FVA, Niedersächsische Landesforsten, von Beyme GbR,

Erste Promotionsstelle: Corinna Ebeling (geb. Kohn).

Laufzeit: 3 Jahre im 1. bis 3. Projektjahr

In Teilprojekt 1 wurde geprüft, ob und wie eine natürliche Regeneration von Rückegassen auf unterschiedlichen Standorten erfolgt. Diese Untersuchung wird auf drei unterschiedlichen Standorten in einer unechten Zeitreihe durchgeführt (Kalksteinverwitterungsböden im Göttinger Wald, Lösslehme über Buntsandstein im Solling und verlehnte Sande in der Heide).

Arbeitsziele laut Projektantrag

1. Nach Standortstypen differenziert ist beschrieben, wie sich auf unterschiedlich lang nicht mehr befahrenen Rückegassen das Oberflächenrelief, die Bodenstruktur, die Bodenvegetation, die Durchwurzelung und der Bodengashaushalt von ungestörten Waldböden unterscheidet.
2. Nach Standortstypen differenziert kann dargestellt werden, ob und in welchen Zeiträumen sich die bodenphysikalischen und bodenökologischen Verhältnisse der strukturgestörten Böden wieder denen der ungestörten Referenzböden annähern, d.h. die Böden natürlich regenerieren.
3. Standortspezifisch kann dargestellt werden, welches die Schlüsselprozesse der spontanen natürlichen Regeneration sind.
4. Aus den Ergebnissen der Punkte 1) bis 3) können Standortskombinationen abgeleitet werden,
 - a) die sehr befahrensempfindlich sind
 - b) die wenig befahrensempfindlich sind
 - c) bei denen ein hohes natürliches Regenerationspotential vermutet wird.
 - d) bei denen ein geringes natürliches Regenerationspotential zu erwarten ist.

Durchführung des Projektes

Die Suche der unterschiedlich alten Rückegassen erfolgte in Kooperation mit dem Stadtforstamt Göttingen, den Niedersächsischen Landesforsten, dem Niedersächsischen Forstplanungsamt sowie der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Während der Recherche erwies es sich als schwierig Rückegassen zu finden, die seit 15 Jahren und länger nicht mehr befahren wurden, da dieser Zeitraum im bewirtschafteten Wald nicht erreicht wird. Diese Rückegassen konnten ausschließlich in Naturwaldreservaten, in denen keine forstliche Nutzung mehr stattfindet, gefunden werden. Aus diesem Grund wurden die Untersuchungen in den oben genannten Regionen Göttinger Wald, Solling und Heide durchgeführt, da hier eine ausreichende Anzahl an Untersuchungsflächen mit unterschiedlichem Befahrungsalter auf gleichen Standorten zu finden ist. Die detaillierten Standortseigenschaften der insgesamt 11 Untersuchungsflächen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

In jeder der drei Regionen wurden in einer unechten Zeitreihen Rückegassen ausgewählt, die seit 10-40 Jahren nicht mehr befahren wurden. Die Regeneration der Bodenverdichtung wurde in dieser Untersuchung jeweils aus bodenphysikalischer (Gasdiffusivität, CO₂-Gehalt der Bodenluft, Lagerungsdichte), bodenchemischer (pH-Wert, Phosphor- und Phosphatgehalt), sowie aus bodenbiologischer Perspektive (saure Phosphatase-Aktivität, Aktivitätsspuren von Regenwürmern, Feinwurzel-dichte) untersucht.

Die CO₂-Konzentration in der Bodenluft in 5 cm Tiefe und die Regenwurmaktivität wurden im Gelände entlang von drei Transekten quer über die Rückegassen erhoben. Für die Analyse der Lagerungsdichte, des relativen scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten, der Phosphatase-Aktivität, des pH-Werts und des Kohlenstoffgehalts wurden entlang eines Transekters auf jeder Untersuchungsfläche gestörte und ungestörte Bodenproben entnommen.

Zusätzlich zu den im Projektantrag beschriebenen Parametern CO₂-Konzentration, Lagerungsdichte, Gasdiffusionskoeffizient, Phosphatase-Aktivität, pH-Wert und Kohlenstoffgehalt erwies es sich im Projektverlauf als notwendig, die Phosphor- und Phosphat-Gehalte des Bodens zu bestimmen. Der Phosphor- und Phosphat-Gehalt wurde an jeweils drei zusätzlichen Proben pro Untersuchungsfläche in Zusammenarbeit mit der Professur für Bodenökologie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg bestimmt. Darüberhinaus wurden in der Region Göttingen zusätzlich auf einer ausgewählten Untersuchungsfläche durch Bachelorarbeiten an der HAWK untersucht, inwiefern sich eine Befahrung durch Forstmaschinen in einem reduzierten Baumwachstum widerspiegelt.

Tabelle 3: Übersicht der Untersuchungsflächen in den drei Regionen Göttingen, Heide und Solling. Die Bodentypen wurden entsprechend der WRB (FAO, 2014) klassifiziert. Die Textur, der pH-Wert sowie die Kationenaustauschkapazität wurden im Oberboden in 0-5 cm Tiefe bestimmt.

Region	Göttingen				Heide			Solling			
Bezeichnung der Untersuchungsfläche	G10	G20	G30	G40	H10	H30	H40	S10	S20	S30	S40
Alter der Fahrspur	8	18	24	34	7	28	42	7	19	24	41
Gebietsbezeichnung	Stadt-wald Göttingen	Stadt-wald Göttingen, Natur-wald Wallmanns-ort	Forst-amt Rein-hau-sen, Na-tur-wald Hünstollen	Forst-amt Rein-hau-sen, DFG-Fläche Göttinger Wald	Forst-amt Unter-lüß, Rfö Kemp-elhorn	Forst-amt Unter-lüß, Natur-wald Lüßberg	Forst-amt Unter-lüß, Natur-wald Lüßberg	Forst-amt Dassel, Rfö Stein-born	Forst-amt Dassel, Natur-wald Winterlieth	Forst-amt Münden, Natur-wald Totenberg	Forst-amt Dassel Na-tur-wald Lim-ker Strang
Lage	51°33'N, 10°1'E	51°33'N, 10°1'E	51°34'N, 10°2'E	51°31'N, 10°3'E	52°50'N, 10°19'E	52°50'N, 10°19'E	52°50'N, 10°19'E	51°43'N, 9°31'E	51°47'33"N, 9°36'E	51°31' " N, 9°39'E	51°43'N, 9°40'E
Höhe ü.N.N.	358	392	382	298	119	106	118	401	482	418	391
Bodentyp (WRB)	Eutric Cambisols				Haplic Podzols			Haplic Cambisols			
Sand [%]	1	1	13	1	76	86	86	23	24	19	24
Schluff [%]	44	42	28	40	18	13	10	56	57	78	53
Ton [%]	55	57	59	59	5	1	4	21	19	3	23
Humusform	Mull				Rohhumusartiger Moder			Mullartiger Moder			
pH-Wert _{H2O}	6.5	6.0	7.4	6.5	4.7	3.9	4.0	4.0	4.1	3.7	4.8
KAK _{eff} [mmolc kg ⁻¹]	738	388	509	524	73	50	23	117	129	84	106

Ergebnisse

Regeneration des verdichteten Bodens

Abbildung 2 zeigt die CO₂-Konzentrationen der Bodenluft auf den unterschiedlich alten Rückegassen beispielhaft für die Region Göttingen. Im ungestörten Referenzbereich im Bestand betrug der CO₂-Gehalt auf allen Untersuchungsflächen 0,2%. Das entspricht den Werten eines gut durchlüfteten Bodens. Die Fläche G10 zeigte signifikante Unterschiede zwischen der Referenz und der Fahrspur. Mit zunehmendem zeitlichem Abstand zur letzten Befahrung wurden die CO₂-Gehalte geringer. Der Gasdiffusionskoeffizient zeigte die Restrukturierung des verdichteten Bodens im Göttinger Wald auf ähnliche Weise an: Auf der Fläche G10 waren signifikante Unterschiede in der Gasdiffusivität auf der Fahrspur (arithmetisches Mittel: 0,04) und im ungestörten Bereich (arithmetisches Mittel: 0,06) zu finden. Auf den Flächen G20 und G30 waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

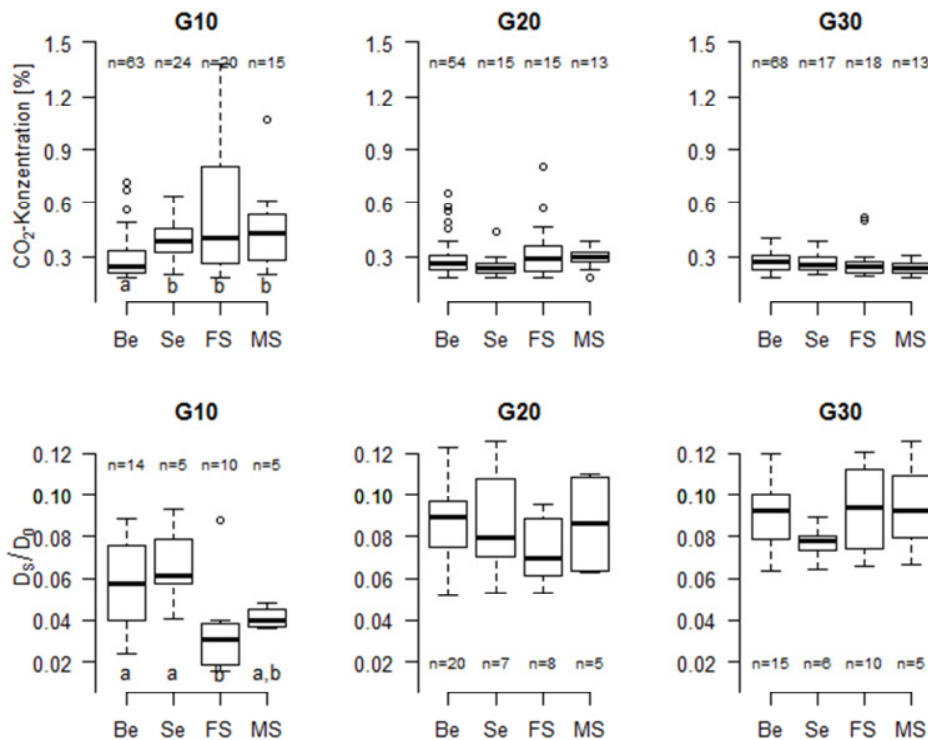


Abbildung 2: CO₂-Konzentration in der Bodenluft in 5 cm Tiefe und Gasdiffusionskoeffizient in der Untersuchungsregion Göttingen (Be: Bestand, Se: Seitenstreifen, FS: Fahrspur, Se: Seitenstreifen). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0.05$).

In der Untersuchungsregion Solling konnten keine signifikanten Unterschiede in der Gasdiffusivität auf den unterschiedlich alten Rückegassen nachgewiesen werden. Zehn Jahre nach der letzten Befahrung war die CO₂-Konzentration auf der Fahrspur (arithmetisches Mittel: 1,2%) signifikant höher als im unbefahrenen Bestand (arithmetisches Mittel: 0,4%). Auf den anderen Flächen konnten keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden.

Die Fahrspuren in der Untersuchungsregion Heide unterschieden sich nach 10 und 30 Jahren signifikant in der CO₂-Konzentration von der Referenz. Der CO₂-Gehalt betrug jeweils 0,5% im unbefahrenen Bereich, aber 1,2%, bzw. 1,0% auf den Fahrspuren. Der Gasdiffusionskoeffizient war 30 und 40 Jahre nach

der letzten Befahrung signifikant geringer auf der Fahrspur als im Referenzboden. Zehn Jahre nach Befahrung konnten jedoch keine Unterschiede gezeigt werden.

Unabhängig vom Standort und vom Alter der Rückegassen wurden höhere P-Konzentrationen und höhere pH-Werte in den Fahrspuren im Vergleich zur Kontrolle beobachtet. Der Kohlenstoffgehalt war überwiegend höher in den Fahrspuren, aber es wurden auch geringere Kohlenstoffgehalte festgestellt. Insbesondere in der Region Solling war die Menge des mineralisierten Phosphats deutlich höher in den Fahrspuren im Vergleich zu den Kontrollbereichen. Darüberhinaus wurden sowohl eine höhere als auch eine geringere Phosphatase-Aktivität in den Fahrspuren festgestellt. Die Phosphatase-Aktivität korrelierte stark mit dem Kohlenstoffgehalt, jedoch nicht mit der Zeit seit der letzten Befahrung und dem Gasdiffusionskoeffizienten des Bodens.

Waldwachstumskundliche Untersuchung

In einer dendroökologischen Untersuchung wurde der Einfluss der Bodenverdichtung und der Strukturregeneration auf das Wachstum von Buche (*Fagus sylvatica L.*) und Esche (*Fraxinus excelsior L.*) auf einem tonhaltigen, basenreichen Standort untersucht. Dazu wurde eine Untersuchungsfläche ausgewählt, auf der nach einer Endnutzung 1971 eine gleichmäßige Aufforstung sowohl der befahrenen als auch der unbefahrenen Bereiche erfolgte. Somit konnte das Wachstum gleichaltrer Bäume, die im verdichteten und im unverdichteten Boden stocken, miteinander verglichen werden und Randeffekte waren im Vorhinein auszuschließen. In einer Bestandesaufnahme wurden der BHD und die Höhe der Bäume in den befahrenen und unbefahrenen Bereichen des Bestandes erfasst. In einer weiteren orientierenden Untersuchung wurde an 12 ausgewählten Bäumen eine Stammanalyse durchgeführt, um die Höhen- und Durchmesserentwicklung zu rekonstruieren.

Die Bestandeswerte Oberhöhe und Mittelhöhe sowie die Bestandeshöhenkurve zeigten ein geringeres Höhenwachstum der Buchen in den befahrenen Bereichen, aber keine Unterschiede bei der Baumart Esche. Die Ergebnisse der Stammanalyse zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Höhen- und Durchmesserentwicklung bei den beiden Baumarten an. Auffällig ist jedoch, dass sowohl die Durchmesser- als auch die Höhenentwicklung im befahrenen Bereich in den ersten 10-15 Jahren unterhalb der Durchmesser- und Höhenkurve im unbefahrenen Bereich lag. Nach 15 Jahren kam es zu einem Überholungseffekt der Bäume im befahrenen Bereich.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Wir konnten eine Regeneration innerhalb von 10-20 Jahren auf biologisch sehr aktiven und tonhaltigen Standorten nachweisen. Wir nehmen an, dass diese schnelle Regeneration v.a. auf die Aktivität von Regenwürmern und auf das Quellen und Schrumpfen des tonhaltigen Bodens zurückzuführen ist. Vierzig Jahre nach der letzten forstlichen Nutzung wiesen Rückegassen auf den sandigen Standorten noch starke Strukturstörungen auf, obwohl sie generell als befahrungsunempfindlich gelten und sogar eine flächige Befahrung des Bestandes als eine Möglichkeit der Bewirtschaftung gesehen wird¹. Der geringe pH-Wert und die ungünstige Humusform schränken die Aktivität von Regenwürmern auf diesen Standorten ein². Der Tongehalt beträgt 1-3% und ist für eine physikalische Restrukturierung des Bodens nicht von Bedeutung. Entgegen unseren Erwartungen konnten wir auf den schluffhaltigen Standorten kaum Unterschiede in der Bodenverdichtung und keinen gerichteten Regenerationsverlauf feststellen, was

¹ S. Brais, C. Camiré: Soil compaction induced by careful logging in the claybelt region of northwestern Quebec (Canada). In: Can. J. For. Res. 78 (1998), H. 1, S. 197–206

² M. Sommer, O. Ehrmann, J. K. Friedel, K. Martin, T. Vollmer, G. Turian: Böden als Lebensraum für Organismen. Regenwürmer, Gehäuseschnecken und Bodenmikroorganismen in Wäldern Baden-Württembergs. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Hohenheim 2002

jedoch nicht bedeutet, dass diese Standorte keine Bodenstrukturschäden aufweisen. Es ist möglich, dass bereits eine hohe Vorverdichtung durch vormals flächiges Befahren vorliegt, sodass der Boden nicht weiter verdichtet werden kann. Darüberhinaus weist der Boden eine hohe Aluminiumsättigung von 84% auf, die stabilisierend auf die Bodenstruktur wirken kann^{3,4}.

Die Ergebnisse der bodenchemischen und bodenbiologischen Analysen deuten auf eine Entkopplung der P-Mineralisierung und P-Aufnahme auf den Fahrspuren aufgrund einer verringerten Aktivität von Pflanzenwurzeln in den Fahrspuren hin. Die Ergebnisse zeigen, dass die Phosphatase-Aktivität kein geeigneter bodenbiologischer Indikator für die Regeneration nach Bodenverdichtung ist und eine Verknüpfung der bodenbiologischen und –physikalischen Parametern nicht möglich ist.

Aus den Ergebnissen der waldwachstumskundlichen Untersuchung lässt sich ableiten, dass sich auf dem untersuchten Standort die Bodenverdichtung und die Strukturregeneration auf das Wuchsverhalten der Buchen und Eschen auswirken. Sowohl bei der Buche als auch bei der Esche konnte eine Änderung im Wachstumsverlauf im befahrenen Bereich 15-20 Jahre nach der letzten Befahrung beobachtet werden, sodass die Bäume im befahrenen Bereich mit den Bäumen im unbefahrenen Kollektiv sowohl in der Höhe als auch im Durchmesser gleichziehen. Ein Erklärungsansatz für dieses Phänomen lässt sich in der Resilienz der Bäume, d.h. der Fähigkeit auf unterschiedliche Störungen oder Bedingungen zu reagieren und diese elastisch zu tolerieren, finden⁵. Dieser Annahme zufolge tolerieren die Bäume in den ersten Jahren die schlechteren Bodenbedingungen und reagieren bei einer regenerierten Bodenstruktur mit verbessertem Wachstum. Diese dendroökologische Untersuchung versteht sich als orientierende Studie, aus der sich weitere Forschungsfragen ableiten lassen. EBELING et al. (2016) untersuchten das Regenerationspotential drei verschiedener Standorte mit kontrastierenden Standortseigenschaften (pH-Wert und Bodenart) und fanden auf verlehmtten Sanden auch 40 Jahre nach der letzten Befahrung keine vollständige Regeneration der Bodenstruktur vor⁶. Demzufolge sind weitere umfangreiche waldwachstumskundliche Untersuchungen auf weiteren Standorten erforderlich, um Prognosen zur Entwicklung des Baumwachstums auf verdichteten Böden abzuleiten.

Fortschritte gegenüber dem Stand des Wissens

Ein maßgebliches Ziel des Teilprojektes 1 war es, den lückenhaften Kenntnisstand zur natürlichen Regeneration von Fahrspuren im Wald durch Untersuchungen auf Standorten unterschiedlichem natürlichen Strukturbildungspotenzial zu erweitern. Die Ergebnisse zeigen, dass auf Böden mit hoher biologischer Aktivität etwa 20 Jahre nach der letzten Befahrung der Gashaushalt und die mikrobielle Aktivität der ehemaligen Fahrspuren mit denen der Referenz vergleichbar sind. Vierzig Jahre nach der letzten forstlichen Nutzung wiesen Rückegassen auf den sandigen Standorten hingegen noch starke Strukturstörungen auf. Die Ergebnisse zur Regeneration des lössgeprägten Standorts sind hingegen nicht eindeutig.

Auf Grundlage der Ergebnisse lässt sich gemäß den Zielen dieses Teilprojektes das Regenerationspotential verschiedener Standorte ableiten: Entsprechend der Niedersächsischen Standortskartierung^{7,8} kann

³ Thorsten Gaertig, Ernst E. Hildebrand: Der Einfluss der Bodenversauerung auf die Bodenstruktur der Wälder. In: Allg. Forst- u. J.-Ztg. 174 (2003), 2-3, S. 44–49

⁴ E. Ampoorter, L. van Nevel, B. de Vos, Martin Hermy, Kris Verheyen: Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. In: Forest Ecol. Manag. 260 (2010), H. 10, S. 1664–1676

⁵ Brian Walker, Ann Kinzig, Jenny Langridge: Plant Attribute Diversity, Resilience, and Ecosystem Function: The Nature and Significance of Dominant and Minor Species. In: Ecosystems 2 (1999), H. 2, S. 95–113

⁶ Corinna Ebeling, Friederike Lang, Thorsten Gaertig: Structural recovery in three selected forest soils after compaction by forest machines in Lower Saxony, Germany. In: Forest Ecology and Management 359 (2016), S. 74–82

⁷ Niedersächsisches Forstplanungsamt: Forstliche Standortaufnahme. Geoökologischer Schätzrahmen - Anwendungsbereich Mittelgebirge, Bergland und Hügelland, Wolfenbüttel 2007

Standorten mit den Nährstoffzahlen 5 und 6 ein hohes Regenerationpotential aufgrund der biologischen Aktivität zugeschrieben werden. Standorte mit einem hohen Tongehalt, wie beispielsweise Standorte der Substratgruppe 5.1 oder 5.2 des Berglandschemas der Niedersächsischen Standortskartierung, weisen ein hohes Regenerationpotential aufgrund des Tongehalts auf. Ein geringes Regenerationpotential ist auf Standorten der Substratgruppen 3.1, 3.3 oder 3.4 des Tieflandschemas zu erwarten. Um das Regenerationpotential weiterer Standorte und Standortskombinationen zuverlässig ableiten zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Für die boden- und naturschutzfachliche Bewertung von Befahrungen liegen damit Beurteilungsmaßstäbe zur zeitlichen Dauer von Bodenfunktionsstörungen vor. Es hat sich gezeigt, dass die Regeneration der Bodenstruktur durch Messung der Parameter CO₂-Konzentration in der Bodenluft und Gasdiffusivität gut abgebildet werden kann. Die Lagerungsdichte und die Enzymaktivität (saure Phosphatase-Aktivität) scheinen hingegen kein geeigneter Parameter zu sein, um den Regenerationsverlauf des verdichteten Bodens zu untersuchen.

Interdisziplinäre Forschung und Lehre

Die Ergebnisse des Teilprojektes wurden auf zahlreichen nationalen und internationalen Fachtagungen im Form von Vorträgen oder Poster präsentiert (Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 2013 und 2015, Jahrestagung der European Geosciences Union 2015, Forstwissenschaftliche Tagung 2016). Darüberhinaus wurden die Ergebnisse auf einer interdisziplinären Expertentagung des Bundesamts für Naturschutz im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt vorgestellt. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Hochschule Osnabrück und der Universität Freiburg konnten im Bereich der Forschung Methoden, die bislang nur an einer Hochschule genutzt wurden, an den Partnerhochschulen etabliert und gemeinsam weiterentwickelt werden. Im Teilprojekt 1 sind dabei folgende Bereiche besonders zu nennen:

Die an der HAWK etablierte Methode zur Beurteilung der Bodenbelüftungen über punktuelle Messungen der CO₂-Konzentration der Bodenluft wurde auch an der Hochschule Osnabrück verwendet und dort um ein kontinuierliches CO₂-Monitoring ergänzt. Diese Messungen finden nun an beiden Standorten statt. Die an der HS Osnabrück vorhandene Methodenkompetenz im bodenbiologischen Bereich konnte durch den Austausch von technischen Angestellten und Wissenschaftlern an die HAWK transferiert werden. Die an der Universität Freiburg genutzten Methoden zur Beurteilung der Phosphor- und Phosphatverfügbarkeit im Boden wurden durch die Projektkooperation nun auf den Standorten des Teilprojekts 1 genutzt.

Im Bereich der Lehre hat die Beteiligung von Studierenden am RÜWOLA-Projekt über Abschlussarbeiten und Arbeitsverträge als studentische Hilfskräfte dazu geführt, dass die jeweilige Partnerhochschule stärker in den Fokus dieser Studierenden gelangt ist. So wählen Bachelorstudenten der einen Hochschule heute Masterstudiengänge der Partnerhochschule, die vorher nicht in Betracht gekommen wären.

Kooperationen mit Praxispartnern

Insbesondere die Kooperationspartner der öffentlichen Betriebe und Verwaltungen waren in hohem Maße an dem Projekt interessiert. So wäre ohne die logistische und fachliche Unterstützung der Kooperationspartner „Niedersächsische Landesforsten“, „Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt“ sowie der „Stadt Göttingen“ die umfassende Bearbeitung im Teilprojekt 1 nicht zu erreichen gewesen. Mitarbeiter der Kooperationspartner haben in vielen Projektphasen vor Ort mitgearbeitet oder das Projekt durch eigene Recherchen und Arbeiten unterstützt.

⁸ Niedersächsisches Forstplanungsamt: Forstliche Standortaufnahme. Geoökologischer Schätzrahmen - Anwendungsbereich: Pleistozänes (diluviales) Tiefland, Wolfenbüttel 2006

Weiterqualifikation der Mitarbeiter/innen

Dissertation

Corinna Ebeling: Spontane Regeneration von Bodenspuren im Wald – standörtliche Voraussetzungen, Prozesse und Zeiträume (Abgabe der Dissertation Februar 2017, Disputationstermin Juni 2017).

Bachelorarbeiten

Constantin Struckmeyer, 2013: Der Einfluss von Bodenart, Geländeform und Substratmächtigkeit auf die Fahrspurtiefe in einem Buchenjungbestand auf lössüberlagerten Buntsandstein im Forstamt Dassel. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig (HAWK), M. Sc. Kohn (HAWK).

André Weidner, 2014: Bodenstruktur, Durchwurzelung und Baumwachstum auf aufgegebenen Rückegassen in einem etwa dreißigjährigen Laubholzmischbestand auf tonig-lehmigen Substrat. Prof. Dr. Gaertig (HAWK), M. Sc. Kohn (HAWK).

Martin Küblbeck, 2015: Bodenrespiration auf unterschiedlich alten Rückegassen in Abhängigkeit vom Strukturbildungspotenzial des Bodens. Prof. Dr. Gaertig (HAWK), M. Sc. Kohn (HAWK).

Eva-Maria Gutsche, 2016: Die CO₂-Konzentrationen der Bodenluft in fünf und zehn Zentimeter Tiefe unter unterschiedlich lange nicht mehr befahrenen Fahrspuren auf lössbeeinflussten Muschelkalkstandorten im Göttinger Wald. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig (HAWK), Dr. Koch-Neumeyer (HAWK)

Lisa Franke und Pascal Wörmann, 2016: Dendroökologische Untersuchungen von Buchen und Eschen auf unterschiedlich verdichteten Böden. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig (HAWK), Prof. Dr. Merkel (HAWK).

Hauke Wiedermann, (in Planung, Abgabe 2017): Die Eignung von Redoxmerkmalen an Eisenstäben zur Beurteilung der Bodenbelüftung. Betreuer: Prof. Dr. Gaertig (HAWK)

Publikationen

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* Vol. 359, pp. 74–82, doi10.1016/j.foreco.2015.09.045.

Ebeling, C., Fründ, H.-C., Lang, F., Gaertig, T.(2017): Evidence for increased P availability on wheel tracks 10 to 40 years after forest machinery traffic. *Geoderma*, Volume 297, 1 July 2017, Pages 61–69, Elsevier GmbH, München, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.003>.

Ebeling, C., Franke, L., Merkel, H., Weidner, A., Wörmann, P., Gaertig, T.(2016): Baumwachstum auf Rückegassen – Beeinflussen Bodenstrukturstörungen das Wachstum von Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Esche (*Fraxinus excelsior* L.)?, *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung (AFJZ)*, Heft 7 und 8, 529.41 KB, J.D. Sauerländers Verlag, Bad Orb.

Ebeling, C. und Gaertig, T. (2016): Natürliche Regeneration von Bodenverdichtung im Wald. In: Korn, H. & Bockmühl, K. (Hrsg.): *Treffpunkt Biologische Vielfalt XV - Interdisziplinärer Forschungsaustausch im*

Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt, BfN-Skripten 436, S. 61-66, Bonn - Bad Godesberg 2016, ISBN 978-3-89624-172-6.

Ebeling, C., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (2015): Soil air CO₂ concentration as an integrative parameter of soil structure. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-5010, EGU General Assembly 2015.

Vorträge:

Ebeling, C., Lang, F., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (29.09.2016): Regeneration von Bodenverdichtung auf Fahrspuren im Wald und Auswirkungen auf das Baumwachstum. Forstwissenschaftliche Tagung, 2016, Freiburg.

Ebeling, C., Gaertig, T. (09.09.2015): Natürliche Regeneration von Fahrspuren im Wald: Bodenphysikalische und bodenbiologische Betrachtungen. Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 2015, München

Ebeling, C., Gaertig, T. (25.08.2015): Natürliche Regeneration von Bodenverdichtung im Wald. Interdisziplinäres Expertentreffen zur Forschung im Rahmen der Biodiversitätskonvention, 2015, Bundesamt für Naturschutz, Vilm.

Kohn, C., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (10.09.2013): CO₂-Konzentration der Bodenluft und Phosphatase-Aktivität als Indikatoren der natürlichen Regeneration auf Rückegassen im Kalkbuchenwald. Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 2013, Rostock.

Poster:

Ebeling, C., Fründ, H.-C., Gaertig, T. (2015): Soil air CO₂ concentration as an integrative parameter of soil structure. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-5010, EGU Gen

8.2 Abschlussbericht TP 2

Titel: Ermittlung geeigneter Pflanzenarten für Bodenschutz und Wertschöpfung auf Rückegassen

Federführung: Merkel (HAWK)

Beteiligt: Schacht (HS OS), NW FVA, von Beyme GbR, P&P Dienstleistungen

Studienabschlussarbeiten

Laufzeit: 6 Monate im 1. Projektjahr

In Teilprojekt 2 wurde eine Liste von Pflanzen, die eine primäre Zielerreichung (positive lockernde und/oder stabilisierende Wirkung auf das Bodengefüge) aussichtsreich erscheinen lassen, erarbeitet.

Arbeitsziele laut Projektantrag

Am Ende der Projektphase existiert eine Liste von Pflanzen einschließlich ihrer Standortansprüche und (soweit verfügbar) ihrer ertragskundlichen Kenndaten sowie Beschaffungshinweise, die über eine aus-

reichende Wurzelaktivität und Schattentoleranz verfügen. Neben dieser zentralen Liste werden in einem Projektbericht die Methoden und Aktivitäten dokumentiert.

Verlauf der Durchführung

Aus den Auswirkungen die eine Bodenverdichtung auf die Bodeneigenschaften und das Pflanzenwachstum haben, lassen sich Merkmale von Pflanzenarten ableiten, die zur Bodenlockerung verdichteter Horizonte geeignet erscheinen. Das heißt, sie sollten tolerant gegenüber Überflutungen sein, zum Beispiel durch Lentizellen, adventive Bewurzelung, Rhizobien. Sie sollten Flachwurzler sein, um die vorrangig betroffenen Schichten des Bodens zu durchwurzeln, sowie eine intensive Seitenwurzelsbildung mit starkem Feinwurzelbesatz aufweisen, damit eine hohe Anzahl Bioporen gebildet werden kann. Auch Pflanzen, die zur Polwurzelsbildung mit Vorwüchsigkeit neigen und somit einen großen Wurzeldurchmesser sowie eine hinreichende Scherfestigkeit und langlebigere Poren in größerer Tiefe erzielen, können in Betracht gezogen werden. Die Scherfestigkeit kann auch durch Verdickungsleisten oder Phizellen (Zellen mit band- bzw. schnurförmig verdickten Wänden) erreicht werden, wenn Pflanzen diese ausbilden. Dadurch gilt ein sekundäres Dickenwachstum der Wurzeln als vorteilhaft und es können Monokotyledonen ausgeschlossen werden. Nach diesen Suchkriterien wurde eine systematische Recherche nach Pflanzenarten durchgeführt, die auf Rückegassen angesiedelt werden können.

Im Projekt wurden vier Bachelorarbeiten und eine Masterarbeit erstellt, die sich mit der Pflanzenwahl zur Regeneration, der Aussaat von krautigen Pflanzen im Wald sowie mit der Entwicklung eines Versuchsdesigns zur Beobachtung der Reaktion von Baumwurzeln auf Bodenverdichtung befassen (Abbildung 3 und Abbildung 4).



Abbildung 3: Die sogenannte Dichtung-Box, welche in situ um die lebende Baumwurzel angebracht wird.

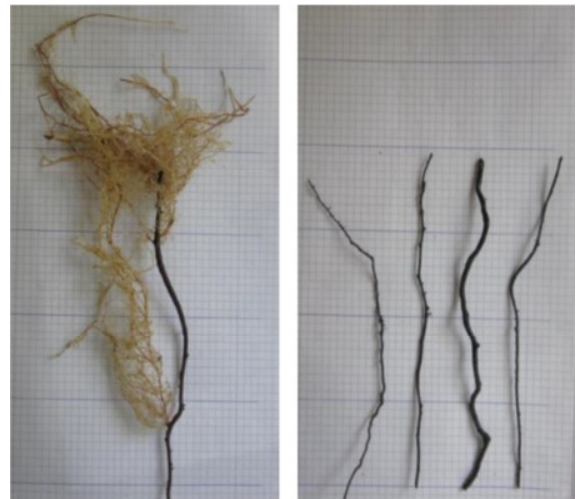


Abbildung 4: Wurzelwachstum in der Dichtung-Box; Links: In lockerem gelagertem Boden. Rechts: In verdichtetem Boden.

Fortschritte gegenüber dem Stand des Wissens

Das Spektrum der regenerierenden Arten konnte auf Grund der Literaturrecherchen erweitert werden. Ein Erkenntnisgewinn auf der theoretischen Ebene ist zu verzeichnen. Während sich bei der Rückegassenanlage auf Freiflächen (Windwurfflächen) weitere Perspektiven ergeben, sind die Möglichkeiten in Beständen nach wie vor sehr begrenzt.

Mit der Entwicklung eines Versuchsdesigns zur Beobachtung der Reaktion von Baumwurzeln auf Bodenverdichtung, ist ein grundsätzlich geeignetes Tool entwickelt worden, mit dem das Eindringvermögen von Baumwurzeln in den Boden überprüft, bewertet und verglichen werden kann.

Perspektiven

Durch das Anforderungsprofil an die zur Regeneration geeigneten Pflanzenarten ergab sich eine nur sehr geringe Anzahl potentiell geeigneter Pflanzen. Das Pflanzenspektrum konnte daher nur geringfügig erweitert werden.

In Bezug auf die *Düchting-Box* ist eine Optimierung und Evaluierung des Versuchsdesigns anzustreben.

Interdisziplinäre Forschung und Lehre

Besonders durch die Vergabe der Pflanzenversuche in den Studiengang Gartenbau der Hochschule Osnabrück wurde die Verknüpfung der Disziplinen Forst und Bodenkunde, um das Fachgebiet Gartenbau erweitert. Die an der Hochschule Osnabrück angefertigten Bachelorarbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit mit TP5.

Kooperationen mit Praxispartnern

Über das Teilprojekt 3 sollte das Projekt in den Praxisversuch auf den Rückegassen einer Windwurffläche in Kooperation mit der *Von Beyme Beratung GbR* und der *P&P Dienstleistungs GmbH & Co KG* eingebunden werden. Diese Versuche fanden jedoch nicht statt (v. Kapitel 4).

Weiterqualifikation der Mitarbeiter/innen

- **Masterarbeit**

Karina Goronzi (2014): Prüfung des Potentials von vier Baumarten zum Erschließen von Bodenverdichtungen unter Schattenbedingungen – Validierung eines Versuchsdesigns. Betreuer: Prof. Dr. Fründ (HS OS), Prof. Dr. Schacht (HS OS).

- **Bachelorarbeiten**

Christian Schwarz (2012): Pflanzenwahl zur Regeneration von Rückegassen. Betreuer: Prof. Dr. Merkel (HAWK).

Karolin Marderwald (2012): Eignung krautiger und verholzender Pflanzen für die Restrukturierung verdichteter Böden in der Forstwirtschaft. Betreuer: Prof. Dr. Schacht (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

Simon Düchting (2013): Entwicklung und Bewertung eines Untersuchungsverfahrens zur Beobachtung des Eindringvermögens von Baumwurzeln in verdichteten Böden. Betreuer: Prof. Dr. Schacht (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

F. Freude-Waltermann (2013): Untersuchung der Wuchsleistung von Untersaatmischungen bei unterschiedlichen Standortbedingungen. Betreuer: Prof. Dr. Schacht (HS OS), Prof. Dr. Fründ (HS OS).

- **Forschungs- und Entwicklungsprojekt**

Karina Goronzi (2013): Wann wachsen Erlenwurzeln in verdichtete Bodenzonen? – Entwicklung eines Versuchsdesigns.: Prof. Dr. Fründ (HS OS), Prof. Dr. Schacht (HS OS), M. Eng. Müller-Inkmann (HS OS).

- **Arbeiten im Rahmen von Hilfskraftverträgen**

Annette Gräff (2013): Regeneration verdichteter Waldböden durch Anpflanzung. Betreuer: Prof. Dr. Merkel (HAWK).

Publikationen

Goronzi, K., M. Müller-Inkmann, Schacht, H., H.-C. Fründ (2013): Prüfung des Potentials von Bäumen zur Erschließung von Bodenverdichtungen – Entwicklung eines Versuchsdesigns. Jahrestagung der DBG, 07.-12.09.2013, Rostock. <http://eprints.dbges.de/901/>

K. Goronzi, S. Düchting, H.C. Fründ und H. Schacht: Untersuchungen zur Prüfung des Eindringvermögens von Baumwurzeln in verdichteten Boden. Vortrag bei 42. Osnabrücker Kontaktstudientage, 09.11.2013.

8.3 Abschlussbericht TP 3

Titel: Prüfung der wirtschaftlichen Nutzung durch stoffliche oder energetische Verwertung der auf regenerierenden Rückegassen erzeugten Biomasse.

Federführung: Gaertig (HAWK)

Beteiligt: Schacht (HS OS), Merkel (HAWK), Kietz (HAWK), KWF, 3N, von Beyme GbR

Wissenschaftliche Mitarbeiterin: Schneider. Studienabschlussarbeiten.

Laufzeit: 6 Monate im 1. Projektjahr

In Teilprojekt 3 wurde geprüft, ob und unter welchen Bedingungen eine stoffliche bzw. energetische Nutzung von auf regenerierenden Rückegassen produzierter Biomasse unter pflanzenbaulichen, technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten möglich ist.

Arbeitsziele laut Projektantrag

In Abhängigkeit von den verschiedenen Bestandestypen, Standorten und Märkten für Nachwachsende Rohstoffe wurden auf Basis der Ergebnisse des Teilprojektes 2 Szenarien zur Realisierung der pflanzenbaulichen Rückegassennutzung unter ganzheitlichen Aspekten definiert und bewertet.

In diesem Zusammenhang wurden insbesondere folgende Bewertungskriterien erarbeitet bzw. berücksichtigt: Wachstums- und Standortbedingungen, Arbeitsorganisation, Flächenerträge, Verwertungstechniken, Logistikparameter, Produktions- und Verwertungskosten sowie Klimarelevanz.

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde zunächst der aktuelle Kenntnisstand dokumentiert und auf dieser Basis eine Machbarkeitsstudie erstellt. Neben krautigen Pflanzenarten, die sowohl stofflich (z.B. Fasern, Öl, Futter, etc.) als auch energetisch (z.B. Biogas) verwertet werden können, wurden dabei auch holzige Pflanzen, die ebenfalls stofflich (z.B. Holz als Baustoff) oder energetisch (z.B. Verbrennung oder Pyrolyse) berücksichtigt.

Verlauf der Durchführung

Zur Beurteilung unterschiedlichster Szenarien in Bezug auf Nutzungspotentiale, Erntekosten, Erlöse und Deckungsbeiträge sowie die Analyse des Marktpotentials im Zusammenhang mit der Erarbeitung einer Logistikkette zur Nutzung der Rückegassenprodukte ist in TP 3 ein digitales Tool (Ertragsrechner) entwickelt worden. Nach den Ergebnissen aus TP 2 beschränkt sich der Ertragsrechner auf die Nutzungsszenarien der Rückegassen mit holzigen Pflanzen.

Fortschritte gegenüber dem Stand des Wissens

Kommen krautige Pflanzen und/oder Gehölze auf Rückegassen zum Einsatz, die über eine Durchwurzelungsfähigkeit verdichteter Böden verfügen, können diese zur Förderung der biologischen Bodenaktivität beitragen. Sie sollen der Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit auf strukturgeschädigten Rückegassen dienen und den Regenerationsprozess des Bodens beschleunigen. Der Ertragsrechner umfasst die Abschätzung der Kosten, Erlöse und Deckungsbeiträge aus der energetischen Nutzung der auf Rückegassen produzierten Biomasse. Eine Betrachtung der stofflichen Nutzung kommt hierbei nicht zum Tragen, da davon auszugehen ist, dass die Zuwächse, die zwischen zwei Ernte- bzw. Durchforschungsphasen eines Bestandes gebildet werden, selten zu Umfängen führen, die eine stoffliche Nutzung ermöglichen.

Perspektiven

Bedingt durch die veränderten klima- und energiepolitischen Rahmensetzungen ist anzunehmen, dass der Trend künftig die Entwicklungen weiterer energiebezogener Produkte und Anwendungen zu etablieren, anhält. Vor allem energetisch verwertbare Produkte werden verstärkt nachgefragt, wie z.B. Hackschnitzel, Pellets oder Biokraftstoffe. Als ein zu identifizierendes „Zukunftsprodukt“ können die auf Rückegassen produzierten Biomasseprodukte angesehen werden.

Laut Nationalem Biomasseaktionsplan für Deutschland betrug der Anteil der Bioenergie am Primärenergiebedarf im Jahr 2007 rund 790 Petajoule und soll bis 2020 gemäß der Leitstudie des BMU mindestens auf 1.309 PJ/a erhöht werden. Welchen Anteil insgesamt künftig vor allem Holz aus deutschen Wäldern zur Energieversorgung leisten könnte, wurde in den letzten Jahren durch diverse Potentialanalysen aufgearbeitet.

Die Ergebnisse des Teilprojektes 3 sowie der Ertragsrechner können dazu beitragen, im Vorfeld Abwägungen vorzunehmen, welche Kosten diese Form der Bodenschutzmaßnahme verursacht oder ob möglicherweise sogar ein positiver Saldi aus dem Erlös des Hackschnitzelverkaufs erzielt werden kann. Der Ertragsrechner kann als Entscheidungshilfe dienen, so dass künftig auch durch auf regenerierenden Rückegassen produzierter Biomasse einen Beitrag zur Abdeckung der stetig steigenden Nachfrage nach nutzbarer Bioenergie leisten kann.

Interdisziplinäre Forschung und Lehre

Der Ertragsrechner umfasst in seinen Funktionen mehrere Szenarien zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von auf regenerierenden Rückegassen produzierter Biomasse. Er berücksichtigt hierbei die Anforderungen der pflanzenbaulichen, technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte, die durch eine Bestockung von Rückegassen zur Diskussion stehen.

Kooperationen mit Praxispartnern

Der geplante Praxisversuch zur Evaluation des Ertragsrechners auf den Rückegassen einer Windwurffläche in Kooperation mit Herrn Jörg von Beyme (Von Beyme Beratung GbR) sowie Herrn Dr. Dirk Landgraf (P&P Dienstleistungs GmbH & Co KG) fand nicht statt (v. Kapitel 4).

Weiterqualifikation der Mitarbeiter/innen

- Wissenschaftliche Angestellte: Dana Schneider
- Bachelorarbeit

Publikationen

Als Zusammenfassung wird der Projektbericht zur Verfügung stehen.

8.4 Abschlussbericht TP 4

Titel „Schadensvermeidung bei mechanischer Belastung“

Bearbeiter: Roland Riggert

Projektverantwortung: Bettina Kietz, Thorsten Gaertig

Durchführung des Projekts

Projektziele laut Projektantrag:

1. Technische Verfahren zum Schutz des Bodens bei mechanischer Belastung sind in einer Literaturübersicht zusammengestellt und wurden bezüglich ihrer Einsetzbarkeit im Wald bewertet.
2. Die Boden schützende Wirkung des Wurzelsystems von Kurzumtriebsgehölzen (Wurzel-/Stockarmierung) wurde in Befahrungsversuchen mit unterschiedlichen Maschinenspezifikationen, bei unterschiedlichen Bodenfeuchten, auf vorhandenen Kurzumtriebsplantagen gemessen, und mit der Wirkung der gleichen Maschinen auf unbefahrenen Waldböden und Rückegassen ähnlicher Standorte verglichen.
3. Für die untersuchten Standorte ist standortspezifisch dargestellt, mit welchen Maschinen, über Wurzel-Stockarmierungen unerwünschte Fahrspurtypen vermieden werden können.
4. Exemplarisch wurde an einem Standorttyp die armierende Wirkung von Wurzeln des umgebenden Bestandes untersucht (Fahrspurtiefenmessung).

Ziel 1. wurde wie im Projektantrag beschrieben, bearbeitet und umgesetzt. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden technische Verfahren zum Schutz des Bodens zusammengestellt und bewertet.

Ziel 2: Ein typischer Arbeitseinsatz zur Holzernte wurde mit einem Harvester und einem Forwarder auf einem Acker als Referenz, einer Kurzumtriebsplantage und einem Waldstandort simuliert und diente als Basis für weitere Versuche. An diesen Standorten wurden neben Spannungsmessungen bei Überfahrungsversuchen zusätzlich Zylinderproben zur Bestimmung physikalischer Bodenparameter (gesättigte Wasserleitfähigkeit, Luftleitfähigkeit, Vorbelastung, Porengrößenverteilung) entnommen. Große Schwierigkeiten gab es bei der Auswahl von passenden Versuchsflächen. Ausgenommen von öffentlichen Einrichtungen (Niedersächsische Landesforsten, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Versuchsgut Universität Göttingen) konnten keine privaten Flächenbesitzer davon überzeugt werden, dass Versuche mit Forstmaschinen auf ihren Flächen durchgeführt werden dürfen! Aus diesem Grund liegen die Versuchsflächen geografisch relativ weit auseinander, so dass ein direkter Vergleich der Flächen untereinander schwierig ist. Die bodenkundliche Ausgangssituation wurde bei der Auswahl jedoch berücksichtigt. Die ausgewählten Flächen weisen alle Parabraunerden (Braunerden) aus Lösslehmen auf. Eine armierende Wirkung von Wurzeln der Kurzumtriebsgehölze konnte bei diesen Untersuchungen nicht festgestellt werden! Die Gesamtgewichte der modernen, typisch eingesetzten, radgetriebenen Forstmaschinen sind zu hoch (>20 Tonnen), weisen zu hohe Radlasten (ca. 4 Tonnen) auf und überlagern eine potenzielle wurzelarmierende Wirkung. Aus diesem Grund ist eine weitere Differenzierung nach Maschinentypen hinsichtlich Wurzelarmierung nicht möglich gewesen (Ziel 3).

Ziel 3: Der Gedanke der Wurzelarmierung wurde selbstverständlich an zwei weiteren Kurzumtriebsplantagen weiterverfolgt, jedoch konnte auch bei diesen Versuchen (s. Kap. 3.1.4/5 Kap. 3.2.2) keine

armierende Wirkung festgestellt werden. Für die untersuchten Standorte wurden die Maschinen aufgelistet. Die Einzel-Ergebnisse finden sich in den genannten Kapiteln.

Ziel 4: Die Fahrspurtiefenmessung wurde bei allen getesteten Standorten durchgeführt. Allerdings scheint dieser Parameter relativ ungeeignet, um auf eine potentielle Wurzelarmierung zu schließen. Besonders der aufgelockerte Oberboden ist empfindlich gegenüber Verdichtung. Seine heterogene und sehr lockere Zusammensetzung wird bei einer Überfahrt in jedem Fall komprimiert, insbesondere bei feuchten Verhältnissen. Aus diesem Grund wurden zusätzlich Proben aus dem Unterboden entnommen. [Theorie: Sollte tatsächlich eine Wurzelarmierung stattfinden, so sollte die Unterbodenverdichtung (Bodenbereich unter dem Wurzelpaket der KUP-Gehölze) weniger verdichtet sein, als ein Bereich ohne intensive Durchwurzelung.] Weitere Untersuchungen verfolgen anstatt der Fahrspurtiefenmessung, die Unterbodenverdichtung, um auf eine Wurzelarmierung zu schließen. Die Fahrspurtiefe wurde dennoch dokumentiert.

Da in diesem Teilprojekt die Möglichkeit bestand, mit einer speziellen Messtechnik (stress state transducer system) Spannungszustände unter verschiedenen Maschinen zu erfassen und zu bewerten, wurden neben den beschriebenen Überfahrungsversuchen weitere Überfahrten im Wald sowie auf Acker- und Wiesenflächen mit verschiedensten Forst- und Spezialmaschinen durchgeführt, wobei ebenso verschiedene Bodenfeuchtezustände erfasst worden sind. Da erste Ergebnisse der Spannungsmessungen auf Kurzumtriebsplantagen keine signifikanten Reduzierungen aufzeigten, wurde das Messspektrum auch auf technische Möglichkeiten zur Spannungsreduzierung erweitert. Es wurden mehrere Spezialmaschinen und Spezialmodifikationen getestet.

Insgesamt wurden ca. 3.000 Zylinderproben an acht Standorten genommen, um die Veränderung der Bodenstruktur zu belegen und 300 Spannungsmessungen in drei Tiefen (900 Spannungsdatensätze) an sechs Standorten durchgeführt.

Fortschritte gegenüber dem Stand der Wissenschaft und Technik

Siehe wissenschaftlicher Abschlussbericht (Dissertation)

Perspektiven, Verwertungspotenziale

Grundsätzlich kann das Teilprojekt 4, in der jetzigen Form, keine wirtschaftlichen Erfolge hinsichtlich der Anmeldung von Patenten oder Erschließung neuer Geschäftsfelder aufweisen. Das Projekt beteiligt sich eher an einer Grundlagenforschung. In diesem Projekt werden neben natürlichen Möglichkeiten auch technische Möglichkeiten ausgelotet, um Spannungseinträge zu reduzieren. Sollte sich ein Ansatz als sehr vielversprechend herausstellen, müssten die grundlegenden „Vorteile“ einer Technik in einem Folgeprojekt verifiziert werden.

Zum jetzigen Zeitpunkt erweisen sich alle Maßnahmen in Bezug auf übliche radgetriebene Forstmaschinen in der Reduktion von Spannungseinträgen als bedeutungslos. Vielmehr rücken alternative Antriebssysteme, wie Kufen oder Ketten, die auch in diesem Projekt untersucht worden sind, in den Vordergrund. Eine Kombination aus einem variablen, kettengetriebenen Antriebssystem bei gleichzeitiger Gewichtsreduktion, könnte eine aus bodenkundlicher Sicht „gute“ Alternative für Rückezüge darstellen. Die geringere Frachtkapazität könnte durch eine Erhöhung der durchschnittlichen Geschwindigkeit erzielt werden. Ein Folgeprojekt könnte sich dann mit der Untersuchung der Spannungszustände unter so einer Spezialmaschine befassen und die Auswirkungen auf die Bodenstruktur untersuchen.

Weiterqualifikation der Mitarbeiter/innen

1x Dissertation – Spannungseinträge unter Holzerntemaschinen und Auswirkungen auf bodenphysikalische Parameter (Roland Riggert)

1x Bachelorarbeit – Literaturübersicht : Technische Verfahren zum Schutz des Bodens bei mechanischer Belastung (Martin Wrosch)

1x Masterarbeit – Spannungseinträge unter Forstmaschinen – Wie wirken sich mehrfach Überfahrten auf die Bodenfunktionen aus? Sind Bogiebänder in der Lage Spannungseinträge zu reduzieren (Anne Dietl)

Nachhaltige Wirkungen für interdisziplinäre Forschung und Lehre

Zum jetzigen Zeitpunkt der Forschung lassen sich noch keine nachhaltigen Wirkungen für interdisziplinäre Forschung oder Lehre feststellen bzw. vorhersagen. Fakt ist, dass mit dem Bereich der Spannungsmessungen unter Holzerntemaschinen der Forschungsbereich der Bodenkunde eng mit dem Forschungsbereich Forstwissenschaften zusammenrückt. Strategien zur Reduzierung von Spannungseinträgen unter Forstmaschinen könnten sich relativ einfach auf andere Forschungsfelder übertragen lassen. So ist der Bereich der Agrarwissenschaften ähnlich stark von Bodenschäden betroffen und würde von neuen Erkenntnissen profitieren. Weitere Profiteure könnten das Militär oder das Bauwesen, z.B. Linienbaustellen (Erdkabelverlegung) sein.

Sollten sich in diesem Projekt gute Ansätze zur Spannungsreduktion und Schadenvermeidung entwickeln und eventuell in einem Folgeprojekt bestätigt oder konkretisiert werden, so sollte dies auch einen nachhaltigen Effekt auf die Lehre und Forschung in allen zuvor genannten Bereichen haben.

Kooperationen mit Praxispartnern

Die niedersächsischen Landesforste, als starker Projektpartner, haben einen großen Anteil an der Realisierung der Überfahrungsversuche. Ein Großteil der Maschinen wurde im Rahmen ihrer Projektbeteiligung für die Versuche gestellt. Ebenfalls waren die Landesforsten bei der Flächensuche über das Forstplanungsamt behilflich und haben nach Möglichkeit passende Waldstandorte zur Verfügung gestellt. Das Forschungsvorhaben, in diesem Teilprojekt, ist durch die enge Verknüpfung mit den Landesforsten und weiteren Projektpartnern als praxisnah zu bezeichnen. So waren neben den niedersächsischen Landesforsten auch die Norwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt sowie die Georg-August-Universität Göttingen an der Flächensuche und Bereitstellung beteiligt. Die Vermittlung von Spezialfahrzeugen und Spezialequipment wurde über forstliche Lohnunternehmer organisiert, sodass so gut wie alle getesteten Varianten und Modifikationen aus der Forstpraxis stammen.

Neben den materiellen und personellen Beiträgen wurde bei den Statusseminaren immer wieder Gedankengut ausgetauscht und bisherige Vorgänge und Untersuchungen von Seiten der Forstpraxis kritisch hinterfragt sowie neue Anregungen gegeben.

Publikationen

Poster auf Tagungen, 2013:

- 2. KWF Thementage in Stralsund, Oktober: „Spannungsmessungen auf Parabraunerden aus Löss unter verschiedenen Forstmaschinen - RÜWOLA-Projekt“

- DBG Tagung in Rostock , Oktober: „Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und – stabilität“
- 63. Hochschultagung in Kiel, November: „Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und – stabilität“
- Agritechnika 2013 in Hannover, November: „Einfluss von üblichen Forst- und Spezialmaschinen auf die Bodenstruktur und – stabilität“

2014:

- Interforst in München, Juli: „Spannungsmessungen auf Parabraunerden aus Löss unter verschiedenen Forstmaschinen - RÜWOLA-Projekt“

2015:

- SUSTAIN in Kiel, September: „An assessment scheme for soil deformation processes caused by different forestry machinery“

Vorträge auf Tagungen, 2014:

- 20th World Congress of Soil in Südkorea, Juni: “Stress distribution under forestry machinery and consequences on physical soil functions”

2015:

- DBG Tagung in München, September: „Technische Optimierungsmöglichkeiten von Holzerntemaschinen zur Reduktion von Spannungseinträgen und ihre Auswirkungen auf die Bodenstruktur von Waldböden“

Wissenschaftliche Artikel, 2015:

- Band 107 Schriftenreihe des Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, August: „Spannungseinträge unter Holzerntemaschinen und Auswirkungen auf bodenphysikalische Parameter“
- Soil Science of America Journal, (submitted): “Stress distribution under forestry machinery and consequences for soil stability”

8.5 Abschlussbericht TP 5

Titel: TP5. Entwicklung von Verfahren zur Steigerung des Regenerationspotenzials der Böden von Rückegassen

Federführung: Fründ (HS OS)

Beteiligt: Hemker (HS OS), Gaertig (HAWK), Blohm (HS OS), Schacht (HSOS), NW FVA, Niedersächsische Landesforsten,

Zweite Promotionsstelle: Michael Müller-Inkmann (geb. Müller)

Laufzeit: 5 Jahre (1. bis 5. Projektjahr)

Arbeitsziele laut Projektantrag

- 1) Möglichkeiten zur Förderung der Durchporung verdichteten Waldbodens durch Regenwürmer und Pflanzenwurzeln mit Hilfe von chemischen und/oder biologischen Maßnahmen sind im Labor und Technikum erprobt und beschrieben. Dies betrifft besonders die Effekte von Kalkung und Kompostausbringung, die geeigneten Regenwurm- und Pflanzenarten sowie die Notwendigkeit bzw. Möglichkeit der Ansiedlung dieser Arten.
- 2) Die Rahmenbedingungen hinsichtlich Standorteigenschaften und kritischer Verdichtungsintensität, innerhalb derer eine biologische Regeneration des Bodens Erfolg verspricht, sind ermittelt und beschrieben.
- 3) Zwei Feldversuche sind angelegt zur Validierung der entwickelten Verfahren für eine beschleunigte biologische Regeneration der Bodenverdichtung. Auswertungen für die ersten beiden Versuchsjahre liegen vor. Die Fortdauer der Versuche über eine Laufzeit von 5 bis 7 Jahren ist organisatorisch gewährleistet.
- 4) Aus den Ergebnissen des Teilprojekts 5 wurde ein Leitfaden entwickelt „Vorbeugende Maßnahmen zur Förderung der Regeneration von Bodenverdichtungen bei Befahrung im Wald“.

Durchführung des Projektes

Aktivitäten

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die in Teilprojekt 5 durchgeführten Untersuchungen. Die Spalte „Durchf.“ gibt an, in welchem Zusammenhang die Untersuchung stattfand (B.sc. = Bachelorarbeit, Dipl. = Diplomarbeit, Diss. = Dissertation, M.sc. = Masterarbeit, Stp. = Studienprojekt, TP5 = wiss. Mitarbeiter im Teilprojekt 5). Spalte Zuordn. ordnet die Untersuchungen den Projektzielen (Kernfragen) des Teilprojekts zu:

Aktivitäten im Arbeitsziel 1: Durchgeführte Untersuchungen zu den Möglichkeiten zur Förderung der Durchporung verdichteten Waldbodens durch (s. Arbeitsziele laut Projektantrag, Punkt 1):

- 1.1 Bodentiere
- 1.2 Pflanzenwurzeln
- 1.3 Chemische Maßnahmen
- 1.4 Mechanische Maßnahmen.

Aktivitäten im Arbeitsziel 2.: Durchgeführte Untersuchungen zu den Rahmenbedingungen einer biologische Bodenregeneration.

Aktivitäten im Arbeitsziel 3.: Durchgeführte Verfahrensvalidierung.

Tabelle 4 Im Teilprojekt 5 durchgeführte Untersuchungen

Durchf.	Thema	Zuordn.
M.sc.	Auswirkung einer Bodenperforation auf die Bodenparameter Wassergehalt und Druckstabilität, Technikum, der HS Osnabrück.	1.4
Dipl.	Förderung der Regenwurmaktivität (Küvettenversuche mit Kalk und Glucose), Labor für Bodenkunde der HS Osnabrück.	1.1; 1.3
Diss.	Förderung der Regenwurmaktivität (Gefäßversuch mit Glukose), Labor für Bodenkunde der HS Osnabrück.	1,1; 1.3
Stp.	Entwicklung und Validierung eines Versuchsdesigns zur Prüfung des Potentials von vier Baumarten zum Erschließen von Bodenverdichtungen, Freilandversuch.	1.2
Diss.	Verhalten von Regenwürmern in oberflächlich verdichteten Böden (Freiland und Labor für Bodenkunde, HS Osnabrück)	1.1
M.sc.	Verlauf von Baumwurzeln (<i>Fagus sylvatica</i>) im Fahrspurbereich (Freilanduntersuchungen)	1.2; 2
Diss.	Auflockerung verdichteter Bodenblöcke mit und ohne Glucosezugabe im Standortvergleich Fichtenforst / Rasenfläche	1,1; 1.2; 1.3; 2
TP5	Entwicklung und Herstellung von Einheiten zur kontinuierlichen Messung von CO ₂ in der Bodenluft	3.
TP5	Verlauf der CO ₂ -Konzentration in 6 cm Bodentiefe innerhalb von 3,5 Jahren nach einer Befahrung	3.
TP5	Verlauf der Wasserspannung in 6-10 cm Bodentiefe innerhalb von vier Jahren nach einer Befahrung	3.
TP5	Einsatz von Eisenstäben zur Erfassung der Bodenbelüftung über drei Jahre nach einer Befahrung	3.
TP5	Bonitierung der Vegetationsentwicklung in Rückegassen über 3,5 Jahre nach einer Befahrung unter dem Einfluss verschiedener Behandlungsvarianten	3.
Diss.	Durchwurzelung, Überleben von Regenwürmern und Bodenveränderung in Stanzlöchern und deren Umgebung in alten Rückegassen nach einem Jahr Wirkungszeit	1.1; 1.2; 1.4; 3.
Diss.	Wachstum von vier Baumarten in einer alten Rückegasse nach Bodenperforation	1.4: 2.; 3.
TP5, M.sc.	Durchwurzelung und Bodenveränderung in Rückegassen drei Jahre nach einer Befahrung unter dem Einfluss von Bodenperforation und Kalkung	1.2; 1.3; 1.4; 3.
TP5	Beprobungskampagnen mit dem Pürckhauer-Bohrstock 2013 und 2014 zur Erfassung von pH und Gehalt organischer Substanz in den Rückegassen des Feldversuchs Solling in drei Bodentiefen.	3.
TP5	Messungen zum Kronenschlussgrad in den Rückegassen des Feldversuchs Solling in den Jahren 2014 und 2016.	2.

Im ersten und zweiten Projektjahr lag der Schwerpunkt auf Labor- und Technikumsversuchen, um das Potenzial zur Auflockerung von Bodenverdichtungen durch verschiedene Regenwurm- und Baumarten zu ermitteln. Untersuchungen fanden an den häufigen bzw. unter Waldbedingungen zu erwartenden Regenwurmartens *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus* und *Aporrectodea caliginosa* statt. Bei den

Bäumen wurden Schwarzerle (*Alnus glutinos*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Weißtanne (*Abies alba*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*) untersucht. Verbunden waren die Untersuchung mit der Entwicklung neuer Methoden und konstruktiven Anpassungen von Messgeräten. Die bereits in der Masterarbeit des Doktoranden Müller-Inkman entwickelten Versuchskörper für Regenwurmversuche wurden um eine Überwachung der Konzentrationen von CO₂ und O₂ in der Bodenluft ergänzt. Es wurden weitere Versuchskörper konstruiert und hergestellt, mit denen die Wurzelausbreitung von Baumsetzlingen in verdichtetem Boden gemessen werden kann. Für die Untersuchung der Wurzelreaktion von Altbäumen wurden Kästen entwickelt, mit denen einzelne Baumwurzeln einer Verdichtung ausgesetzt werden können und ihre Reaktion sichtbar gemacht werden kann. Die Baumuntersuchungen geschahen in enger Kooperation mit dem Fachgebiet Baumschule der Hochschule Osnabrück (Prof. Dr. Henning Schacht). Eine Erfassung des Grobwurzelverlaufs von Buchen unter Rückegassen geschah in Kooperation mit dem Fachgebiet Bodenmechanik (Prof. Dr. Olaf Hemker).

Ausgehend von einer intensiven Literaturstudie zu Mechanismen der Bodenstrukturbildung in Wäldern wurde das Konzept der Bodenperforation als neuartige Maßnahme zur Unterstützung der Restrukturierung von Waldböden entwickelt und im bodenmechanischen Labor der Hochschule Osnabrück (Prof. Dr. Olaf Hemker) im Rahmen einer Masterarbeit einer ersten Prüfung unterzogen. Daneben fanden orientierende Vorversuche zur Dimensionierung der in den Boden zu stanzenden Löcher statt.

Zum Ende des ersten Projektjahres rückte die Anlage von Feldversuchen in den Vordergrund. An zwei Standorten im Teutoburger Wald (Raum Osnabrück) wurden Versuche angelegt, in denen im Rahmen des Promotionsvorhabens Müller-Inkman die Wirkung von Bodenperforation allein und in Kombination mit Regenwurmansiedlung und Kalkung nach einem Jahr betrachtet werden sollte. Die Auswahl der Versuchsflächen geschah mit Unterstützung durch die Niedersächsischen Landesforsten. Zusätzlich wurde ein Versuch angelegt, in dem die Auflockerung von künstlich verdichteten Bodenblöcken in einem sauren Waldboden mit der in einem Grünlandboden verglichen wird.

Für einen Feldversuch mit langfristiger Perspektive wurde in Zusammenarbeit mit der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt und den Niedersächsischen Landesforsten eine Waldabteilung im Solling festgelegt (Forstamt Dassel, Revier Hilwartshausen, Abt. 1052a).

Die auf den Versuchsflächen erprobten Regenerationsmaßnahmen sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Liste der angewandten Regenerationsmaßnahmen auf den Versuchsflächen

angewandte Regenerationsmaßnahmen	Teutoburger Wald	Solling
Bodenperforation (Lochdurchmesser 2,6 cm, 20 cm tief)	Stanzlöcher mit 10 cm Abstand	Stanzlöcher mit 20 cm und 50 cm Abstand.
Ausbringung von Regenwürmern	x	-
Anpflanzung von Jungbäumen in der Fahrspur	x	-
Ausbringung einer Saatmischung aus krautigen Pflanzen in der Gasse	-	x
Verfüllung der Stanzlöcher mit Branntkalk	x	x
Flächiges Ausbringen von kohlenstoffsaurem Kalk	-	x

x = angewandt; - = nicht angewandt

Für den Einsatz in den Feldversuchen musste ein Messgerät zur Überwachung der CO₂-Konzentration in der Bodenluft hergestellt werden. Dies geschah in Kooperation mit der feinmechanischen Werkstatt des Fachgebiets Bodenmechanik der Hochschule Osnabrück mit maßgeblicher Beteiligung von Prof. Dr. Rainer Blohm (Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik der Hochschule Osnabrück). Das entwickelte Messgerät ermöglicht Verlaufskurven der CO₂-Konzentration in einer bestimmten Bodentiefe und gewährleistet durch lange Standzeit und kabellose Datenübertragung eine störungsfreie Messung.

Es wurden 42 Stück zur Installation im Teilprojekt 5 und weitere 12 Stück für den Einsatz im Teilprojekt 1 (HAWK) produziert.

Aufgetretene Schwierigkeiten bei der Projektdurchführung und Lösungsansätze

Das Graduiertenstipendium 2 (geplante Laufzeit 2012 – 2014) hat sich zunächst bis in das Jahr 2017 krankheitsbedingt verzögert und wurde mit dem Schreiben vom 11.04.2017 seitens des Doktoranden abgebrochen. Die erarbeiteten Ergebnisse des Dissertationsvorhabens fließen in eine Veröffentlichung mit folgendem Titel und Inhalt ein:

Titel: Einfluss von Glucose auf die Restrukturierung verdichteter Bodenblöcke bei verschiedenen Boden-Umfeld-Bedingungen

In der Arbeit wird der Frage nachgegangen, ob durch Zugabe einer metabolisierbaren Energiequelle in künstlich verdichteten Bodenblöcken das Potential zur Bodenlockerung biogener Porenbildner gefördert werden kann. Dabei wurde Bodenmaterial mit unterschiedlichem biologischem Erschließungspotential (saurer Waldschluff und neutraler Ackerlehm) verwendet und Standorten mit starken und wenig bioturbierenden Umfeldbedingungen ausgesetzt. Als Modellstoff wurde Glucose gewählt, welche zum einen eine unmittelbar verfügbare Kohlenstoffquelle darstellt und zusätzlich eine Erhöhung der mikrobiellen Biomasse als Nahrungsquelle bewirken soll. Die positive Wirkung einer Glucose-Zugabe in lockeren Böden auf die Aktivität von Regenwürmern konnte bereits von zahlreichen Autoren aufgezeigt werden. Inwiefern diese Förderung bei verdichteten Böden eintritt und wie stark der evtl. Effekt ausfällt, wird im Rahmen dieses Experiments erstmalig untersucht.

Erzielte Ergebnisse TP 5

- Die Baumarten Erle und Bergahorn können verdichteten Boden besser durchwurzeln als Rotbuche und Weißtanne
- Die Regenwurmart *Aporrectodea caliginosa* ist toleranter gegenüber ungünstigem Bodengaszusammensetzungen als *Lumbricus terrestris* und *Lumbricus rubellus*
- Die Fähigkeit der Regenwürmer zum Durchdringen einer verdichteten Bodenzone wird durch erhöhtes CO₂ bzw. Sauerstoffmangel stark eingeschränkt
- In einem sauren Fichtenwald in Stanzlöcher mit Dungkompost angesiedelte *Aporrectodea caliginosa* ist nach einem Jahr noch vital und hat an das Stanzloch anschließenden Boden erschlossen
- Bei günstiger Bodengaszusammensetzung kann zugesetzte Glucose die Grabaktivität von *A. caliginosa* stimulieren
- Die Hypothese einer verbesserten Bodenabtrocknung durch Bodenperforation hat sich nicht bestätigt: Bodenperforation mit 20 cm tiefen Löchern (2,6 cm Durchmesser) in der Fahrspur bewirkte einen längeren Verbleib des Niederschlagswassers im Boden, weil die Löcher als Wasserreservoir wirkten.
- Eine Normalisierung der nach einer Befahrung extrem hohen CO₂-Konzentration in der Bodenluft der Fahrspur in 6 cm Tiefe wurde auf der Versuchsfläche im Solling bereits nach drei Jahren beobachtet, auch ohne Regenerationsmaßnahmen
- Klimatische Trockenphasen scheinen die Strukturregeneration des Bodens zu beschleunigen.
- Organische Substanz und evtl. oberflächlich aufgebracht Kalk werden auf den Grund der Stanzlöcher verlagert.
- Wurzeln wachsen verstärkt in die bei Bodenperforation erzeugten Löcher.
- Die Löcher werden von Regenwürmern aufgesucht / besiedelt

- Eine Branntkalkfüllung in den Stanzlöchern bleibt nach 3 Jahren noch visuell weitgehend unverändert.
- Ein pH-Effekt der Branntkalkfüllung auf den umgebenden Boden beschränkt sich auf den unmittelbaren Nahbereich (< 5 mm).
- Die Branntkalkfüllung scheint eine gewisse austrocknende Wirkung auf den umgebenden Boden zu haben.

Verwertungspotenziale/ Ausblick/ Zusammenarbeit mit Praxispartnern

Eine mögliche Geschäftsidee stellt die Entwicklung eines im Wald einsetzbaren Geräts zur maschinellen Bodenperforation von Rückegassen dar. Geräte zum Lochstanzen („Aerifizierung“) existieren derzeit nur in der Rasenpflege (Golf- und Sportrasenplätze) und sind auf die Bedingungen im Wald nicht übertragbar. Am Markt gibt es aber eine Reihe von Konstruktionen zur maschinellen Entnahme von Bodenproben, die als Ausgangspunkt für eine Vorrichtung zur Bodenperforation in Frage kommen. Ein positiver Einfluss der Bodenperforation auf die biologische Aktivität und die Strukturbildung in der Fahrspur von Rückegassen konnte im Projekt beobachtet werden, insbesondere in Verbindung mit einer Kalkung.

Die im Projekt vorgenommenen methodischen Entwicklungen zur Erfassung der Bodenbelüftung (Eisenstabmethode, CO₂-Monitoring) wurden auch in anderen Teilprojekten von RÜWOLA genutzt und können ebenso in anderen Zusammenhängen zum Einsatz kommen.

Weiterqualifikation der Mitarbeiter/innen

- Masterarbeiten
 Fabian Evers (2013): Untersuchungen zur Auswirkung von Lochstanzungen und Kalkausbringung auf Wassergehalt und Tragfähigkeit eines verdichteten Lößbodens.

 Denis Rinne (2013): Untersuchungen zum Verlauf von Baumwurzeln (*Fagus Sylvatica*) im Einflussbereich von Fahrspuren im Wald.

 Marco Pollmeier (2012): Humusformen und bodenbiologische Aktivität im Waldgebiet „Im Hone“.

 Jannis Sparrer (2017): Auswirkung von Bodenperforation und Kalkung auf Bodeneigenschaften von Rückegassen in einem Buchenbestand des Sollings.
- Diplomarbeit
 Mandy Bielski (2012): Untersuchungen zur Wirkung von Glucose und Kalk auf die Aktivität der Regenwurmart *Aporrectodea caliginosa*.
- Bachelorarbeiten
 Karolin Marderwald (2012): Eignung krautiger und verholzender Pflanzen für die Restrukturierung verdichteter Böden in der Forstwirtschaft.

 Tobias Steegmann (2012): Bestimmung bodenmechanischer Eigenschaften eines Waldbodens in einer Rückegasse.

 Julian Kolkmann (2012): Erfassung der Oberbodenverhältnisse und des Vorkommens Bodenstruktur schaffender Fauna an Fahrspuren in zwei Waldbeständen.

Publikationen

M. Müller-Inkman und H.C. Fründ (2013): Verhalten von 3 Regenwurmart in einem oberflächlich verdichteten Bodenvolumen. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock. Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation), <http://eprints.dbges.de/880/>.

H.C. Fründ, A. Averdiek, M. Müller-Inkman und O. Hemker (2013): Bodenperforation (Lochstanzen) als Maßnahme zur Behandlung von Fahrspurverdichtungen im Wald. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock. Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation), <http://eprints.dbges.de/965/>.

Goronzi, K.; Müller-Inkman, M.; Schacht, H.; Fründ, H.-C. (2013): Versuchsdesign zur Prüfung des Potenzials von Bäumen zur Auflockerung von Bodenverdichtungen – Entwicklung eines Versuchsdesigns. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock. Berichte der DBG unter <http://eprints.dbges.de/901/>

Müller-Inkman, M.; Fründ, H.-C.; Hemker, O. (2013) An experimental setup to assess earthworm behaviour in compacted soil. *Biol Fertil Soils* 49:363-366, Springer Verlag, Cham, doi:10.1007/s00374-012-0730-1.

Müller-Inkman, M., Averdiek, A., Fründ, H.-C. (2016): Eisenstäbe zur Erfassung der Bodenbelüftung. *AFZ-DerWald* 8:22-24. Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover.

Poster

A. Averdiek, F. Engwer und H. von Dressler: Zustandserfassung von Befahrungslinien in einem Landesforst und im Privatwald. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock.

K. Goronzi, M. Müller-Inkman, H. Schacht und H.-C. Fründ: Versuchsdesign zur Prüfung des Potenzials von Bäumen zur Auflockerung von Bodenverdichtung. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock.

H.-C. Fründ, T. Gaer_g, A. Averdiek, G. Clemens, C. Ebeling, O. Hemker, F. Moczia, M. Müller-Inkman, H. von Dressler (2015): Skidding tracks as forest infrastructure - promoting natural regeneration processes with regard to economic and ecological issues. FORMEC, Frankreich.

H.-C. Fründ, A. Averdiek, G. Clemens, C. Ebeling, F. Moczia, M. Müller-Inkman, O. Hemker, H. von Dressler, T. Gaertig (2014): Rückegassen als Wald-Infrastruktur – Förderung natürlicher Regenerationsprozesse unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Belage. Jahrestagung der DBG 2015, München.

Vorträge

A. Averdiek (2013): Bodenperforation (Lochstanzen) als Maßnahme zur Behandlung von Fahrspurverdichtungen im Wald. Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock

A. Averdiek (2012): RÜWOLA – Überblick über ein Forschungsprojekt zur Reduzierung von Bodenverdichtung im Wald. Vortragsreihe „Praxisfeld Boden“ der Hochschule Osnabrück.

Averdiek, A., Fründ, H.-C., Müller-Inkmann, M., Hemker, O. (2015): Maßnahmen zur Behandlung von Fahrspurverdichtung im Wald. Jahrestagung der DBG 2015, München.

Averdiek, A., Fründ, H.-C. (2015): Effects of Soil Perforation, Liming and Grass Seeding on Soil Aeration and Matric Potential in Skidding Trails during 3 Years After Trafficking. International Workshop: Regeneration of Compacted Forest Soils. Osnabrück, Germany.

Maßnahmenkatalog

Als Praxishilfe zur Förderung der Nachhaltigkeit in der Inanspruchnahme des Bodens bei der Holzernte wurde eine Zusammenstellung erstellt mit dem Titel: „Maßnahmen zur Sicherung und zur Regeneration von Bodenfunktionen in Rückegassen“. Der ca. 40-seitige Bericht wurde als Entwurf an mit der Thematik befasste Personen in Forstbetrieben, Forstämtern und Forstlichen Versuchsanstalten versandt. Die eingegangenen Rückmeldungen wurden in der Endfassung berücksichtigt. Der Maßnahmenkatalog wird den mit Planung und Durchführung von Holzerntemaßnahmen befassten Personen zum Download auf der Internetseite RUEWOLA zur Verfügung gestellt. Die Hochschule Osnabrück wird das Portal RUEWOLA weiterhin hosten.

Eine detaillierte Berichtsfassung (176 Seiten) zum Feldversuch Solling im Rahmen des Teilprojekts 5 wurde für die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt in Göttingen (Dr. Talkner, Dr. Mindrup) erstellt, die eine weiterführende Sicherung und Beobachtung des Versuches zugesagt hat.

8.6 Abschlussbericht TP 6

Titel: TP6. Landschaftsökologische Bewertung und Entwicklung eines Optimierungskonzepts zur Wald-Feinerschließung unter Berücksichtigung der Belange des Bodenschutzes, der Forstökonomie, der Erholungsvorsorge und des Arten- und Biotopschutzes

Federführung: von Dressler, H. (HS OS)

Beteiligt: Gaertig, T., Fründ, H.-C., Landkreis Northeim, Landkreis Osnabrück, Forstämter Ankum, Dassel, Münden, Reinhausen und Stadtforstamt Göttingen, Forstplanungsamt, NW-FVA, Niedersächsische Landesforsten, TU Dresden, Erler, J., NLWKN, Naturschutz Zietz, H.-J.

Bearbeiter: Dr. Gerhard Clemens

Dritte Promotionsstelle: Felix Moczia,

Laufzeit: 01.01.2014 – 31.12.16

Arbeitsziele laut Projektantrag

In Teilprojekt 6 werden in einem interdisziplinären Ansatz anhand der Ergebnisse aus den Teilprojekten 1-5 Vorschläge für die Optimierung der Wald-Feinerschließung unter Beachtung des Bodenschutzes entwickelt.

Konzeptionelle Grundlagen

1. Handlungsoptionen zur bodenökologischen Optimierung in Feinerschließungssystemen sind soweit konkretisiert, dass sie einer Grobbewertung unterzogen werden können;
2. Standortauswahl und –festlegung; Standorte für die räumlich konkrete Ermittlung von Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts und das Landschaftserleben und die Entwicklung des Optimierungskonzeptes sind ausgewählt und abgestimmt. Für die festgelegten Standorte sind die jeweiligen forstlichen, naturschutzfachlichen und raumordnerischen Planungsziele ermittelt;
3. Bewertung der Auswirkungen von Wald- Feinerschließungsmaßnahmen ohne Berücksichtigung der in TP 2-5 erarbeiteten Handlungsoptionen: Einwirkungsintensitäten durch die Art des Feinerschließungssystems nach NLF – „Bodenschutz bei der Holzernte in den Niedersächsischen Landesforsten“ (NLF, 2015) und dem Schweizer Merkblatt „Physikalischer Bodenschutz im Wald – Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen“ (Lüscher et al., 2010). Mit der Ermittlung besonders empfindlicher/ schutzbedürftiger Bereiche liegen Grundlagen für die Ableitung von Bereichen mit vorrangiger Schadensvermeidung vor;
4. Risikoeinschätzung der in TP 2-5 entwickelten Handlungsoptionen, soweit vorliegend;
5. Fachtechnische und rechtliche Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Sicherung des Naturhaushalts und des Landschaftserlebens für eine Optimierung der Wald-Feinerschließung sind zusammengestellt;
6. Ein Optimierungskonzept zur Feinerschließung und ein Leitfaden-Entwurf sind auf der Grundlage der standortbezogenen Bewertung unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Teilprojekten 1 und 5, differenziert nach standörtlichen Voraussetzungen und unter Einbeziehung technischer Optionen entwickelt und abgestimmt. Empfehlungen zur Anlage, Instandhaltung und Nutzung von Feinerschließungssystemen sind, soweit in den TP 1 – 5 vorbereitet, abgeleitet. Aus diesem Konzept sind Hinweise zur Ergänzung des Nds. Leitfadens zum Bodenschutz bei der Holzernte herausgestellt und mit dem Niedersächsischen Forstplanungsamt abgestimmt.

Aktivitäten

Tabelle 6 Im Teilprojekt 6 durchgeführte Untersuchungen

Thema
1. Aufarbeitung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Waldfeinerschließung
2. Eruieren der Interessenlagen unterschiedlicher Entscheidungsträger <ul style="list-style-type: none">- Durchführung eines „World Café“- Interviews mit Vertretern der Unteren Naturschutzbehörde in OS, NOM und dem Naturschutzbeauftragten des Forstamts Ankum- Interviews mit den Forstamtsleitern des FA Dassel und Rheinhausen- Diskussion der rechtlichen Rahmenbedingungen und der Schadensdefinition in der 1. Sitzung des Projektbeirates
3. Kartierung und Bewertung der Feinerschließung in ausgewählten Standorten unterschiedlicher niedersächsischer Waldgebiete Diskussion der Ergebnisse mit den Revierleitern der Untersuchungsstandorte
4. Analyse und Bewertung der existierenden Ansätze zur Charakterisierung der Verdichtungsempfindlichkeit
5. Bewertungskonzept <ul style="list-style-type: none">5.1 Schadensdefinition und Schadensschwellen5.2 Entwurf und Abstimmung Bewertungsrahmen<ul style="list-style-type: none">- Abstimmung mit den Teilprojekten und dem NFP- Vorstellung und Diskussion des Bewertungsrahmes in der 2. Sitzung des Projektbeirates

Ergebnisse

1. Aufarbeitung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Waldfeinerschließung

Geht man vom Bodenschutzgesetz aus (hier stellvertretend für andere relevante gesetzliche Grundlagen), so sind nutzungsbedingte schädliche Bodenveränderungen gekennzeichnet durch räumliche, langfristige oder komplexe Auswirkungen auf die Bodenfunktionen (BBodSchG, §7 Vorsorgepflicht). Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Feinerschließung unter den genannten Aspekten wurden ausgewertet, in Tabellenform dargestellt und werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

1. räumliche Auswirkungen:

- § 11 NWaldLG: *Bedarfsgerechte Walderschließung* unter größtmöglichen Schonung von Böden.
- LÖWE-Programm: *Erhaltung* bzw. *Wiederherstellung* der vollen *natürlichen Leistungskraft der Waldböden*

2. langfristige Auswirkungen:

- Ziele NWaldLG und BNatSchG(§1): dauerhafte *Sicherung/Erhalt* der *Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts* einschließlich seiner *Regenerationsfähigkeit* sowie der *Nutzungsfunktion* des Waldes.
- §11 NWaldLG: Kennzeichen der *ordnungsgemäßen Forstwirtschaft* ist die *Langfristigkeit* der forstlichen Produktion
- LÖWE (Kap. 2.1): Erhalt und die Wiederherstellung der natürlichen Leistungsfähigkeit der Waldböden
-

3. komplexe Auswirkungen:

- BNatSchG §5 (1): Bedeutung einer natur- und landschaftsverträglichen Forstwirtschaft für die Erhaltung der Kultur- und Erholungslandschaft.
- BNatSchG (§14): Definition von Eingriffen in Natur und Landschaft.
- LÖWE (Kap. 2.1): Verpflichtung der NLF zum *Erhalt und Entwicklung* der Vielfalt an *Lebensräumen* und zum *Erhalt* oder *Wiederherstellung günstiger Erhaltungszustände* der Lebensraumtypen,
- LÖWE (Kap. 2.13): Grundsatz eines *ökologisch verträglichen Einsatzes der Forsttechnik* ist die *Ausrichtung an den ökologischen Erfordernissen* und Berücksichtigung Boden- und Bestandeschutzaspekte.

Des Weiteren werden in den Gesetzen sozioökonomische Aspekte bezüglich Ökonomie, Erholung, und Ergonomie behandelt:

- Das BNatSchG (§1) benennt als *Ziele* den Schutzes von Natur und Landschaft als Grundlage für Leben und Gesundheit des Menschen durch *Sicherung* (auch) ... der *Schönheit*...sowie des *Erholungswertes*.
- Das NWaldLG definiert in § 1 als Gesetzeszweck die *Erhaltung und Sicherung des Waldes* wegen seines *wirtschaftlicher Nutzen, Bedeutung für die Umwelt und für Erholung* und *verpflichtet* die

Waldbesitzer (§11) zur *ordnungsgemäß Bewirtschaftung* unter Gewährleistung der Schutz- und Erholungsfunktion.

- Als *Leitbild der langfristigen Waldentwicklung* werde im Löwe-Erlass Wälder beschrieben, in denen alle Waldfunktionen im Sinne *ökologischer, sozialer (Erholung) und ökonomischer Nachhaltigkeit (mindestens kostendeckend)* in bestmöglicher Weise aufeinander abgestimmt sind.

Zur Klärung des Verhältnisses Bodenschutz-Waldrecht bezüglich der Begriffe „schädliche Bodenveränderung“ sowie „Ordnungsgemäße Forstwirtschaft“ und der durch die Kommentare von K. Thomas zum Bundeswaldgesetz (2012) entstandenen Unsicherheit wurde Frau Prof. Oestreich von der HAWK um eine diesbezügliche Stellungnahme gebeten mit folgenden Ergebnissen:

- Das zweite Kapitel des BWaldG und die entsprechenden Regelungen der Landeswaldgesetze enthalten Regelungen zur forstwirtschaftlichen Bodennutzung und insoweit zum Schutz der Bodenfunktionen; das BBodSchG ist danach gemäß § 3 Nr. 6 BBodSchG dem BWaldG nachgeordnet.
- Ordnungsgemäße Forstwirtschaft bedeutet nach § 11 Abs. 1 NWaldLG eine „Forstwirtschaft, die nach den gesicherten Erkenntnissen der Wissenschaft und den bewährten Regeln der Praxis den Wald nutzt, verjüngt, pflegt und schützt“. Entscheidend dabei ist, welche allgemein anerkannten Standards sich in Wissenschaft und Praxis herausgebildet haben. Damit unterliegt der Inhalt der „ordnungsgemäßen Forstwirtschaft“ einer stetigen Entwicklung.

Die Zusammenstellung der bestehenden gesetzlichen Vorgaben zeigte, dass die Gesetze für eine nachhaltige Wald-Feinerschließung einen allgemeinen Rahmen setzen. Die Rechtsbegriffe sind aber unbestimmt und weisen je nach Zielprioritäten mehr oder weniger weite Interpretationsspielräume auf.

2. Eruieren der die Interessenlagen unterschiedlicher Entscheidungsträger

Als Beitrag zu einer problemorientierten Ausgestaltung des TP 6 wurde die Interessenlagen unterschiedlicher Entscheidungsträger ermittelt. Dazu wurden Interviews mit Vertretern der Unteren Naturschutzbehörden und Forstämter geführt und das RÜWOLA-Statusseminar am 26.2.2014 an der HAWK genutzt, um mit den Vertretern aller Projektpartner unter Einsatz der Moderationsmethode „World Café“ die vier folgenden Diskussionsthemen zu behandeln:

1. Die produktive Holzbodenfläche ist um die Fläche des permanenten Feinerschließungssystems zu reduzieren!
2. Ungenutztes Potential - welche Chancen bieten Rückegassen für die Waldnutzung?
3. Welchen Nutzen hat bodenschonende Holzernte für die verschiedenen Akteure – was darf sie (wen) kosten?
4. Wie kann unser optimiertes Feinerschließungskonzept erfolgreich durchgesetzt werden?

Als Ergebnis der Diskussionsrunden war festzuhalten, dass, trotz zahlreicher Leitfäden und Richtlinien für die forstliche Praxis, erhebliche Unsicherheiten bei der Entwicklung und Abstimmung operationalisierbarer Zielvorgaben bestehen. Zudem zeigte sich, dass es zwischen Wissenschaftlern, öffentlichen Verwaltungen sowie Vertretern der forstbetrieblichen Praxis z.T. starke Unterschiede hinsichtlich der Bewertungsmaßstäbe relevanter Kriterien zur Beurteilung von Feinerschließungsmaßnahmen gibt.

In der **1. Sitzung des Projektbeirats** am 5.6.2015 wurden die Ergebnisse der Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen (s.o.), von Leitfäden unterschiedlicher (Bundes-) Länder und Zertifizierungsanweisungen vorgestellt und folgende Fragen diskutiert:

1. Soll, mit Hinweis auf Verfahren in Brandenburg (Grüll, 2014), die Produktivität der Standorte bei der Festsetzung der Rückgassenabstände berücksichtigt werden?
2. Muss nach Aufgabe von Rückgassen die vollständige Funktionsfähigkeit der Böden wiederhergestellt werden?

Der Beirat nahm wie folgt Stellung:

In Bezug auf die Festlegung von Rückgassenabständen wurden Arbeitsschutzaspekte betont und festgestellt, dass die NLF vor diesem Hintergrund in der Regel an einem Rückgassenabstand von 20m festhalten und dieser nur in Ausnahmefällen überschritten werden soll (zu den Ausnahmen vgl. die Regelungen in FFH-Gebieten).

Die Vertreter von Naturschutz und Produktion halten Kriterien und Schadensschwellen für ausreichend. Eine Einschränkung der Bodenfunktionen durch Befahren wird nicht ausgeschlossen, eine zeitweise, aber auch dauerhafte Einschränkung ökologischer Funktionen wird in Kauf genommen. Diese Auffassung entspricht weitgehend den Aussagen des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF, 2010) hierzu (s.u).

Seitens der NLF wird angeregt, dass sich das RÜWOLA-Projekt bei den Optimierungshinweisen auf die Ergänzung und Operationalisierung ggf. notwendiger Kriterien, zusätzlich zu den im niedersächsischen Bodenschutzmerkblatt verwendeten, konzentrieren soll.

Allgemein wurden das teilweise noch bestehende Vollzugsdefizit in Bezug auf Anforderungen des Leitfadens bzw. die unterschiedliche Auffassungen bei der Einstufung des Erhaltungszustands der nach der FFH-Richtlinie gesicherten Waldgebiete (kaum ausgewiesene Flächen der Kategorie A) angesprochen.

Die bestehenden Grenzwerte (Spurtiefe, Veränderung der Krautschicht) dokumentieren eine Zielerfüllungsstufe „Nachsorgeorientierte Gefahrenabwehr“. Angesichts der im Vorfeld zwischen den NLF und dem NLWKN – Naturschutz sowie auf ministerielle Ebene erfolgten Abstimmungsgesprächen und Kompromissfindungsprozessen waren im Rahmen dieses Vorhabens eventuell hiervon abweichende Zielstandards einer Diskussion mit den Beiratsvertretern nicht zugänglich

Der Beirat akzeptiert den gewählten Ansatz des Teilprojektes, eine Bewertung der Erschließung für bestimmte Standorts-Nutzung-Kombinationen vorzunehmen.

3. Kartierung und Bewertung der Feinerschließung in unterschiedlichen niedersächsischen Waldgebieten

Es ist wenig darüber bekannt, inwieweit Vorgaben und Empfehlungen unter den gegebenen Bedingungen in Revieren, die sich aus standörtlichen, waldbaulich und organisatorischen Gegebenheiten, naturschutzrechtlichen Vorgaben und den aktuellen Witterungsbedingungen in Erntephasen ergeben, umgesetzt werden. In vier Waldgebiete des niedersächsischen Berg- und Hügellandes, die sich hinsichtlich standörtlicher Voraussetzungen und Nutzungshierarchien unterscheiden, wurden die aktuellen Zustände der Feinerschließung und planerischer Rahmenbedingungen erhoben und beschrieben. Die Kartierungsergebnisse wurden mit den Revierleitern besprochen, um Handlungsbedarf sowie -spielräume zu identifizieren und zu lokalisieren.

Die Wahl repräsentativer UG in den Waldgebieten Teutoburger Wald (am **Freedden**, Herrmann, 2016) und **Bad Iburg** (Engwer, 2012, Nachkartierung Clemens, 2015, unveröffentlicht), **Solling** (Schäfer, 2016) und **Muschelkalkstandorte** im Südniedersächsischen Bergland (Brahmwald und *Göttinger Wald*, Flächen der NLF, (Holzberg, 2016) und Flächen im Gö-Stadtwald, (Clemens 2015, unveröffentlicht) erfolgte durch systematischen Vergleich von Daten zu Standorteigenschaften (Verdichtungsempfindlichkeit), ausgewiesenen Waldfunktionen (Schutzgebiete und Erholungszonen), Biotop- bzw. Lebensraumtypen sowie den Kategorien des Waldschutzkonzepts der NLF (Naturwald und Naturwirtschaftswald) und Daten zur Produktionstechnik (Ernteverfahren, Entnahmemengen).

Am **Freedden** betrug der Anteil von Rückegassenabschnitten mit Spurtiefen ≥ 20 cm rund 10%, wobei der größte Teil (93%) in steilen Lagen (N5, $>27\%$) gefunden wurden. Die Erschließung des Waldgebietes **Bad Iburg** mit teilweise stark staunasse Böden in eben bis schwach geneigter Lage ist charakterisiert durch lange Erschließungslinien, die quer zur Hangneigung verlaufen. Die Nachkartierung drei Jahre nach der Erstaufnahme der Feinerschließung bestätigte die Erwartung, dass eine Regeneration stark vernässter Fahrspuren nicht erfolgt. Im **Solling** wurden zwei Teilgebieten untersucht, die in 20 und 40 m Abständen erschlossen wurden. Spurtiefen > 20 cm wurden unabhängig von der Erschließungsdichte (fast) ausschließlich auf Rückewegen und Sammelgassen beobachtet. Auch auf den wenig verdichtungsgefährdeten **Muschelkalkstandorte** beschränkten sich die wenigen Bereiche mit Spurtiefen > 20 cm meist auf häufiger überrollte Abschnitte und Rückewege.

4. Analyse und Bewertung der existierenden Ansätze zur Charakterisierung der Verdichtungsempfindlichkeit

Die Belastbarkeit von Böden gegenüber Druck ist abhängig von

- der Anzahl der Korn-Kornkontakte, damit von der Korngröße,
- der Kornstabilität, damit vom Gefüge und dessen Stabilität,
- dem Schwerwiderstand an den Kontaktflächen, damit von Ko- und Adhäsionskräften zwischen den Bodenpartikeln, die beeinflusst werden vom Wassergehalt und früherer Auflast.

Ein Maß für die bodeneigene Stabilität von Böden ist die Vorbelastung (in kPa – Druck als Maßeinheit), die in Drucksetzungsversuchen mit Oedometern gemessen wird oder mittels Pedotransferfunktionen geschätzt wird.

Die meisten vorhandenen Ansätze zur Darstellung der Verdichtungsempfindlichkeit in der Fläche beruhen auf dem Konzept der Vorbelastung. Die Ansätze der folgenden Konzepte

- Belastungsquotient (DBQ) nach Werner und Paul (1999),
- Potentielle Verdichtungsempfindlichkeit (Sm) nach NIBIS/LBEG (LBEG, 2011),
- Gefährdung von Bodenfunktionen durch Verdichtung (Lebert / UBA),
- Verdichtungsgefährdungsklassen nach forstlicher Standortskartierung (NFP, 2007)

ergab folgendes **Fazit**:

1. Es existieren eine Reihe von Prüfkriterien, die zur Beschreibung der durch Verdichtung ausgelösten Effekte auf Bodeneigenschaften herangezogen werden, allgemein anerkannte Grenzwerte für die Bewertung einer Boden-schad-verdichtung fehlen jedoch.
2. Es gibt bisher keine abgesicherte, auf physikalischen Bodenkenngrößen beruhende Datengrundlage, um die Verdichtungsempfindlichkeit von Waldböden flächenhaft und im erforderlichen Maßstab ($\leq 1:25.000$) darzustellen.

3. Starke Effekte des Bodenwassergehalts auf die Verdichtungsempfindlichkeit sind bei aller Unsicherheit am Schätzverfahren der Vorverdichtung durch Pedotransferfunktionen nachgewiesen (Lebert 2010, Rücknagel, 2006). Die Berücksichtigung der aktuellen Bodenfeuchte bei einer Befahrung unbefestigter Wege ist daher unabdingbar
4. Aufgrund der Verfügbarkeit räumlich ausreichend aufgelöster Datengrundlagen muss das zu entwickelnde Feinerschließungskonzept auf der gutachterlichen Einschätzung der Verdichtungsempfindlichkeit des NFP aufbauen, da nur die forstliche Standortkarte 1:25.000 mit ausreichender Flächendeckung verfügbar ist.

5. Bewertungskonzept

Eine Aufnahme von Regelungen zur Gefahrenabwehr gegen Bodenschadverdichtungen in die Bundes-Bodenschutzverordnung, die als untergesetzliches Regelwerk die zu treffenden Maßnahmen und ihre Herleitung beschreibt, erfolgte bisher nicht. Es fehlt dazu bisher eine Definition des Gefahrenbegriffs in Form einer Operationalisierung des Schadenseintritts durch Verdichtung oder gar eines Prüfkonzepts zur Beurteilung einer konkreten Schadverdichtungsgefährdung (vgl. Lebert et al., 2004).

In der laufenden Diskussion über die Bodenschadverdichtung bezieht das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik in seinem Abschlussbericht zur Bodenschonenden Holzernte Stellung (KWF, 2010). Es unterscheidet:

- Temporäre Rückegassen – diese können optional aufgelassen werden, ihre biologische Funktionen werden vollständig wiederhergestellt, auf ihnen werden irreversible Schäden nicht in Kauf genommen.
- Permanente Rückegassen – bei ihnen werden Einschränkungen der biologischen Funktionen in Kauf genommen werden, nicht aber eine Einschränkungen technischer Funktion (Tragfähigkeit, Traktion) sowie Erosion und sekundärer Vernässung und Störung der Ästhetik.

Nach dem KWF-Papier umfasst die „Forsttechnische Befahrbarkeit“ die

- erforderliche Mobilität auf der Rückegasse,
- Vermeidung von Rillenerosion und Bodenabtrag,
- Erfüllung gesellschaftlicher Anforderungen („Waldästhetik“) sowie die
- Möglichkeit der zukünftigen Rekultivierung.

Es fordert den Erhalt der forsttechnischen Befahrbarkeit der Rückegassen bzw. deren Wiederherstellung nach Beeinträchtigung.

5.1 Schadensdefinition und Schwellen

Die Analyse der fachlichen Grundlagen der Bodenverdichtung war die Grundlage für die Gestaltung des Bewertungsrahmens (Abb. 5):

Durch das Aufbringen von Drücken auf den Boden werden insbesondere die groben Poren zusammengedrückt, es kommt zu einer Erhöhung der Lagerungsdichte und zu einer Verminderung der damit verbundenen ökologischen Funktionen, wie Wasser- und Luftleitfähigkeit. Es ergeben sich drei Bewertungsbereiche und damit verbundene Maßnahmenbereiche:

1. Reversible Verdichtung - Unbedenklichkeitsbereich
Solange der aufgebrachte Druck die Tragfähigkeit oder Elastizitätsgrenze eines Bodens nicht übersteigt, sind die Effekte reversibel. Die Befahrung befindet sich im Unbedenklichkeitsbereich, lediglich die Behandlung von Problemstellen ist als mögliche Maßnahme anzuführen.
2. Schwer reversible Verdichtung – Besorgnisbereich
Durch den eingetragenen Druck wird die Elastizitätsgrenze überschritten, die Wasserleitfähigkeit und der Gasaustausch werden weiter eingeschränkt. In solchen Fällen sind erhöhte Vorsorge-
maßnahmen angezeigt.
3. Irreversible Verdichtung – Schadensbereich
Übersteigt die Verdichtung einen kritischen Bereich, sind Gasaustausch und Wasserleitfähigkeit unzureichend. Es treten (messbar) hohe CO₂-Konzentrationen in der Bodenluft auf und es kommt zu (erkennbarer) Vernässung. Die Tiefe von Fahrspuren allein ist dabei ein relativ gut zu messendes, aber unsicheres Indiz, plastische Verformungen mit Randwülsten (Spurtyp 3 nach Lüscher et al., 2010) deuten mit großer Sicherheit auf einen Verdichtungsschaden.
Ist dieser Zustand erreicht, sind die oben formulierten Anforderungen an die forsttechnische Befahrbarkeit nicht mehr gegeben. Vernässung macht eine schadensfreie Befahrung unmöglich, die Vegetation verändert sich und entspricht nicht mehr dem ungestörten Bestand. Eine Regeneration des Bodens durch biologische Aktivität und/oder Quellen-Schrumpfen ist nicht möglich, eine aktive Sanierung der Gasse (technische Nachsorge) wird erforderlich

5.2 Entwurf und Abstimmung Bewertungsrahmen

Die Analyse der Verfahren zur Charakterisierung der Verdichtungsempfindlichkeit hat die große Bedeutung der Bodenfeuchte gezeigt. Weiter wurde klar, dass ein Feinerschließungskonzept auf einer möglichst großmaßstäbigen Verdichtungsgefährdungskarte beruhen muss und dass dafür nur die Forstliche Standortskarte in Frage kommt. Für die Beurteilung der Empfindlichkeit von Böden für die Befahrung war die vierstufige Beurteilung der Verdichtungsempfindlichkeit durch das Niedersächsische Forstplanungamt (NFP) der Ausgangspunkt.

Die Befahrungsempfindlichkeit wird im Bewertungsrahmen in der Weise berücksichtigt, dass die Gefährdungsstufe des NFP disaggregiert wurden. Substratbedingte und die wasserhaushaltsbedingte Gefährdung werden getrennt voneinander betrachtet (Abb. 6), um daraus spezifische Maßnahmen ableiten zu können. Die vorgenommenen Einstufungen wurden dazu vom NFP überprüft und erweitert.

Aufgrund der Kartiererergebnisse wurde ferner die Hangneigung berücksichtigt. Da sich gezeigt hatte, dass Gassen, die in schwach bis gering geneigte Flächen (bis 9%) hangparallel angelegt worden waren, zur Vernässung neigen, wurden solche Flächen gesondert dargestellt. Durch eine in Richtung des Gefälles erfolgende Anlage von Rückegassen in einem solchem Relieftyp kann das Wasser abfließen und wird eine Pfützenbildung vermieden. Des Weiteren werden Flächen mit einer Neigung von 35-45% dargestellt, differenziert danach, ob die Böden aufgrund des Substrates gering bis mäßig oder hoch befahrungsempfindlich sind. Für die Letzteren und Flächen mit einer Neigung >45% wird der Verzicht auf eine Erschließung mittels Rückegassen empfohlen und damit eine Forderung des Merkblatts Bodenschutz bei der Holzernte der NLF (S. 24) konkretisiert.

In die Bewertungsrahmen aufgenommen wurde das Potential von Böden für eine biologische und physikalische Regenerierung und damit Ergebnisse aus den TP 1 und 5 integriert. Für eine weiter differenzierte Betrachtung des Regenerationspotentials von Böden reichen allerdings die Kriterien und die aus der Standortskarte abzuleitenden Informationen nicht aus. Dargestellt wurden Böden, von denen aufgrund der ausreichenden Nährstoffversorgung und/oder aufgrund hoher Tongehalte und fehlender temporärer Vernässung ein gutes Regenerationspotential erwartet wird. Für die Ableitung wurde in Abstimmung mit den Teilprojekten 1 und 5 sowie dem NFP die Nährstoffziffer, bestimmte Substrate und Wasserhaushaltszahlen aus der Standortskarte ausgewählt.

Als letztes Kriterium wird der aktuelle Wassergehalt im Bewertungsrahmen berücksichtigt. Die Bestimmung der Konsistenzgrenze wird dafür als eine geeignete und relativ leicht zu bestimmende Methode empfohlen. Befahrbar sind danach Böden im schwach feuchten oder trockenen Zustand; in diesem Zustand bröckeln bindige Böden beim Ausrollen und nicht bindige Böden, wie auch bindige Böden, dunkeln bei Wasserzugabe etwas nach.

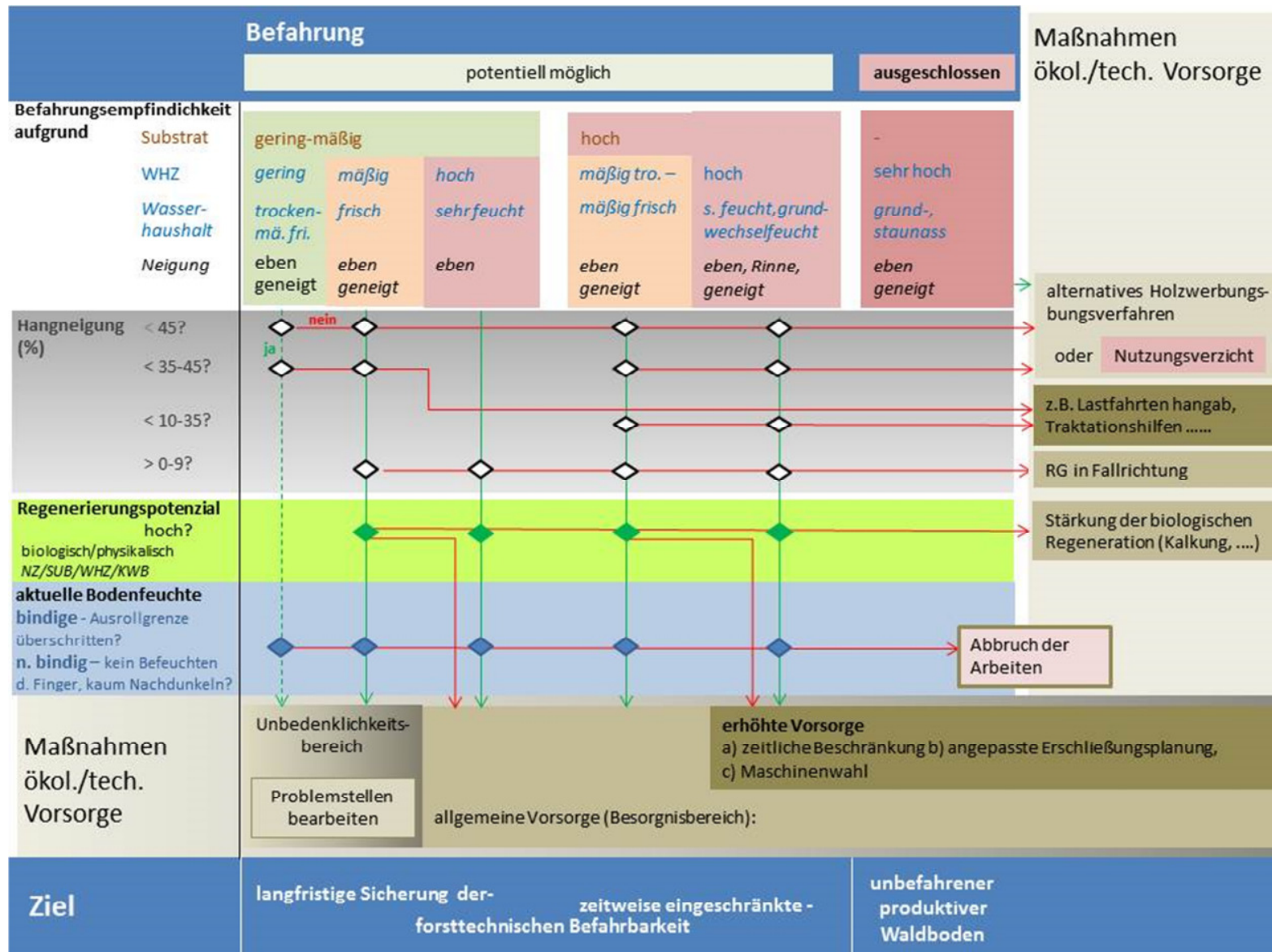


Abbildung 6 : Bewertungsrahmen und Ableitung von Maßnahmen

Der Bewertungsrahmen wurde in der zweiten Sitzung des Projektbeirates am 15.2.2017 vorgestellt und abschließend diskutiert.

Aufgetretene Schwierigkeiten bei der Projektdurchführung und Lösungsansätze

Für das TP6 war die Bearbeitung antragsgemäß im Wesentlichen im Rahmen einer Promotionsstelle mit einer Laufzeit von drei Jahren im 3. bis 5. Projektjahr vorgesehen, die in Kooperation mit der TU Dresden betreut werden sollte. Zur Unterstützung der/des Promovenden wurde im ersten Jahr der Promotion für Projektarbeiten zusätzlich eine Mitarbeiterstelle eingerichtet.

Aus persönlichen Gründen hat der seit Januar 2014 durch ein Promotionsstipendium geförderte Doktorand der TU Dresden (Tharandt) im Oktober 2014 sein Promotionsvorhaben aufgegeben. Ein zweiter Promovend, mit Abschluss der HAWK Göttingen, der ab Dezember 2014 gefördert wurde und in Kooperation mit der Universität Göttingen betreut werden sollte, musste aus familiären Gründen im Februar 2015 sein Promotionsvorhaben aufgeben.

Ein/e weitere/ weiterer für die Bearbeitung des Vorhabens geeignete/r Kandidatin/Kandidat stand/n zu diesem Zeitpunkt nicht zur Verfügung. Eine Neuausschreibung hätte den Projektablauf weiter verzögert, und die Anbindung an andere laufende Teilprojekte wäre verloren gegangen.

Die Bearbeitung des Projektes wurde daher fortgesetzt durch den bereits seit Januar 2014 für das TP 6 eingestellten Wissenschaftlichen Mitarbeiter (Dr. Gerhard Clemens), unterstützt durch den Einsatz von wissenschaftlichen Hilfskräften und Abschlussarbeiten, die gemeinsam mit Prof. Gärtig HAWK betreut wurden.

Die Ergebnisse der Teilprojekte 2 bis 4 ergaben zu keinen zielführenden Maßnahmenvorschlägen geführt, so dass die ursprünglich geplante Bewertung und Risikoeinschätzung der in TP 2-5 entwickelten Handlungsoptionen in TP 6 weitgehend entfallen musste.

Verwertungspotenziale/ Ausblick/ Zusammenarbeit mit Praxispartnern

Das während der Projektlaufzeit herausgegebene Merkblatt Bodenschutz bei der Holzernte der NLF bedingte eine veränderte Ausgangssituation für die Entwicklung und Erprobung eines Leitfadens. Gemeinsam mit dem Projektbeirat wurde es für weitaus zielführender erachtet, auf die Aussagen dieses Merkblatts aufzubauen und auf dieser Grundlage weitere Hinweise zur Bewertung von Gefährdungseinstufungen und daraus resultierenden Maßnahmenoptionen zu entwickeln. Dieses Vorgehen wurde durch das zweite Beiratgespräch bestätigt. Die vorliegenden Ergebnisse bieten eine Grundlage für die Umsetzung eines verbesserten Bodenschutzes bei der Holzernte.

Um diese Ziele in der Praxis der Holzernte sicher realisieren zu können, sind zwei Forderungen von besonderer Bedeutung:

- Ordnungsgemäße Forstwirtschaft bedeutet keine Befahrung bei hoher Bodenfeuchte (Grenzwert für die Befahrbarkeit über Ausrollgrenze oder andere Verfahren ermittelte Bodenfeuchte) sowie
- Verringerung des Vollzugsdefizits bei der Umsetzung der bodenschutzrelevanten Anforderungen durch Einführung eines Qualitätsmanagements bei der Holzernte durch eine bodenschutzorientierte Holzerntebegleitung in Verantwortung des Revierleiters, ggf. im Benehmen mit den Förstern für Waldökologie.

Weiterqualifikation der Mitarbeiter/innen

- Bachelorarbeiten

Marcel Engwer (2012): Bodenschutz im Wald – Vergleichende, GIS-gestützte Untersuchungen zum Ausmaß von Bodenschäden in der forstlichen Feinerschließung am Beispiel des „Forst Palsterkamp“ bei Bad Iburg (Landkreis Osnabrück).

Florian Herrmann (2016): Moderne Holzernte und Naturschutz im Spannungsfeld Bewertung der Feinerschließung einer Abteilung im FFH-Gebiet "Teutoburger Wald, Kleiner Berg" unter Berücksichtigung ökologischer, naturschutzrechtlicher und forstwirtschaftlicher Gesichtspunkte.

Niko Schäfer (2016) *: Vergleich des Einflusses von Feinerschließungssystemen auf die Fahrspurausprägung und die Waldbodenvegetation auf Löss beeinflussten Buntsandsteinstandorten im Solling im Rahmen des RÜWOLA-Projektes.

Jana Holzberg (2016) *: Der Vergleich von Bodenschäden bei zwei unterschiedlichen Holzernteverfahren auf lössbeeinflussten Muschelkalkstandorten im Südniedersächsischen Bergland.

** gemeinsam betreut von TP1 und TP6*

Vorträge und Publikationen

Poster

A. Averdiek, F. Engwer und H. von Dressler: Zustandserfassung von Befahrungslinien in einem Landesforst und im Privatwald. In: Jahrestagung der DBG "Böden – Lebensgrundlage und Verantwortung", 7.-12. September 2013, Rostock.

H.C. Fründ, A. Averdiek, G. Clemens, C. Ebelin, F. Moczia, M. Müller-Inkmann, O. Hemker, H. von Dressler, T. Gaertig (2014): Rückegassen als Wald-Infrastruktur – Förderung natürlicher Regenerationsprozesse unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Belange. Jahrestagung der DBG 2015, München.

H.C. Fründ, T. Gaertig, A. Averdiek, G. Clemens, C. Ebeling, O. Hemker, F. Moczia, M. Müller-Inkmann, H. von Dressler (2015): Skidding tracks as forest infrastructure - promoting natural regeneration processes with regard to economic and ecological issues. FORMEC, Frankreich.

Vorträge

Clemens, G., Moczia, F., von Dressler, H. (2014): Rückegassen in Wald-Feinerschließungssystemen - Optimierung durch natürliche Regeneration und technische Maßnahmen unter Berücksichtigung der Belange von Naturschutz, Erholungsvorsorge und Forstökonomie. Campus Konferenz, Hochschule Osnabrück.

Literatur

GAERTIG, T. (2001): Bodengashaushalt, Feinwurzeln und Vitalität von Eichen. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen. Heft 40, 157 S.

GRÜLL M (2011): Den Waldboden schonen - Vorsorgender Bodenschutz beim Einsatz von Holzernte-technik. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 47.

LBEG – LANDESAMT FÜR BERGAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (2011): Auswertemethoden im Bodenschutz, GeoBerichte 19, 415 S.

LEBERT, M. (2010): Entwicklung eines Prüfkonzeptes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. UBA-Texte 51/2010, 96 S.

LEBERT, M., BRUNOTTE, J. & SOMMER, C. (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden / Regelungen zur Gefahrenabwehr, UBA-Texte 46/2004, 121 S.

LÜSCHER, P., FRUTIG, F., SCIACCA, S., SPJEVAK, S. & THEES, O. (2010): Physikalischer Bodenschutz im Wald – Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. – Merkblatt für die Praxis Nr. 2, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, 12 S

NFP – NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT, Hrsg. (2007): Forstliche Standortaufnahme – Geländeökologischer Schätzrahmen - Anwendungsbereich: Mittel-gebirge, Bergland und Hügelland, - Wolfenbüttel.

NLF – NIEDERSÄCHSISCHELANDESFORSTEN, Hrsg. (2015) a: Bodenschutz bei der Holzernte in den Niedersächsischen Landesforsten. – Braunschweig, 46 S.

GRÜLL, M. (2014): Grundlagen für ein Bodenschutzkonzept des Landesbetriebes Forst Brandenburg. In: Eberswalder forstliche Schriftenreihe, Band 55.

THOMAS, K. (2013): Bundeswaldgesetz : Kommentar, Kommunal- und Schul-Verlag Wiesbaden, 512 S.

WERNER, D. & PAUL, R. (1999): Kennzeichnung der Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. Wasser und Boden 51 (12):10-14.

WELTECKE, K. & GAERTIG, T. (2012): Geht unseren Bäumen die Luft aus? - Möglichkeiten und Grenzen der Diagnose von Bodenbelüftungsstörungen städtischer Baumstandorte. In: DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2012. Haymarket Media, Braunschweig, 112-125.

KWF - Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (2010): Bericht Bodenschonende Holzernte, Abschlussbericht um Auftrag der FCK an das KWF.

<http://www.kwf-online.org/arbeitsverfahren/ag-boden.html>