

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, Kommission I

**Titel der Tagung:**

Horizonte des Bodens

**Veranstalter:**

Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

**Termin und Ort der Tagung:**

2. – 7. September 2017, Göttingen

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation); <http://www.dbges.de>

## Regenerationswirkung im Unterboden eines Ackerstandortes in Südnorwegen fünf Jahre nach der Belastung

Roland Riggert<sup>1</sup>, Till Seehusen<sup>2</sup>, Heiner Fleige<sup>1</sup>, Trond Børresen<sup>3</sup>, Hugh Riley<sup>2</sup>, Rainer Horn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, CAU zu Kiel, Hermann-Rodewald-Str. 3, 24118 Kiel

<sup>2</sup>Norwegian Institute for bioeconomy (NIBIO), Postboks 115, NO-1431 Ås

<sup>3</sup>Faculty of Environmental Science and Natural Resource Management, Universitetstunet 3, NO-1430 Ås

### Zusammenfassung

Im Jahr 2011 wurden Befahrungsversuche mit zwei unterschiedlich schweren Gespannen, bestehend aus Acker-schlepper und Güllefass, in Südnorwegen nahe der Stadt Sarpsborg durchgeführt. Neben unterschiedlichen Gewichtsen wurden zwei Befahrungshäufigkeiten (einfach und zehnfach Befahrung) und zwei Bodenbearbeitungsverfahren (konventionelle und konservierende Bodenbearbeitung) untersucht. Mit dem *Compaction Verification Tool (CVT)* wurde außerdem eine potenziell schadhafte Unterbodenverdichtung bewertet. An den in drei Tiefen (20 cm, 40 cm und 60 cm) entnommenen Zylinderproben wurden folgende Parameter analysiert: Luftkapazität, Gesamtporenvolumen, Trockenrohddichte, Vorbelastung, gesättigte Wasserleitfähigkeit und Luftleitfähigkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Befahrung eine Zunahme der schadhafte CVT-Klasse IV bei beiden Varianten unabhängig von der Bodenbearbeitung beobachtet werden konnte.

Nach einer fünfjährigen Regenerationsphase wurden für ausgewählten Varianten erneut Proben auf einer bereits in 2011 zusätzlich angelegten Fläche genommen. Die erhobenen Daten wurden mit den Ergebnissen aus 2011 verglichen und lassen auf einen Regenerationseffekt schließen. Die Ergebnisse verdeutlichen aber auch, dass viele Parameter ihren unbelasteten Ursprungszustand nicht wieder erreichen.

**Schlüsselworte:** Befahrungsversuche, Bodenverdichtung, Compaction Verification Tool, gesättigte Wasserleitfähigkeit, Luftkapazität, Vorbelastung, Bodenregeneration

### Einleitung

Die Intensivierung der Landwirtschaft führt auch in Norwegen zum Einsatz von größer werdenden landwirtschaftlichen Maschinen. Obwohl die durchschnittliche Ackerfläche pro Betrieb mit 24 ha in Norwegen deutlich unter der deutschen Durchschnittsfläche (ca. 60 ha) liegt, werden, der Wirtschaftlichkeit geschuldet, auch dort modernste landwirtschaftliche Geräte eingesetzt (eurostat, 2013). Grund hierfür ist der Anstieg der Lohnarbeit. Für kleine Betriebsgrößen lohnt sich die Anschaffung von Maschinen mit großen Arbeitsbreiten häufig nicht. Durch die Beauftragung von Lohnunternehmern kommen diese Maschinen jedoch selbst auf relativ kleinen Betrieben und kleinen Acker-schlägen zum Einsatz. Die Literatur verdeutlicht die Verdichtungsproblematik durch den Maschineneinsatz und die daraus resultierenden negativen Auswirkungen auf Bodenfunktionen (Horn & Fleige, 2003; Horn & Smucker, 2005; Lamande et al., 2007; Zink et al., 2010). Für die Agrarlandschaft in Norwegen gibt es jedoch nur vereinzelt Untersuchungen und Ergebnisse auf diesem Gebiet (Seehusen et al., 2014a; Seehusen et al., 2014b). Aus diesem Grund wurde mit Agropro ein Projekt, initiiert von dem norwegischen Institut für Bioökonomieforschung (NIBIO), ins

Leben gerufen, um die Auswirkungen der Befahrung auf norwegischen Böden zu untersuchen. In diesem Projekt sollen neben unterschiedlichen Maschinengewichten und Überfahrungsintensitäten, auch unterschiedliche Bodenbearbeitungssysteme sowie eine mögliche Regenerationswirkung der verdichteten Flächen untersucht werden.

## Material & Methoden

### Untersuchungsgebiet & Versuchsfläche

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Südnorwegen, nahe der Stadt Sarpsborg. Sarpsborg liegt ca. 90 km südöstlich von Oslo in der Provinz Ostfold. In dieser Region um den Oslofjord sind rund 60 % der norwegischen Getreideanbaufläche zu finden. Die Böden dieser Region sind durch postglaziale Sedimente geprägt (Riley et al., 2009). Die Versuchsfläche im Norden der Stadt ist auf einem Versuchsgut vom norwegischen Institut für Bioökonomieforschung (NIBIO) lokalisiert. NIBIO führt an diesem Standort unter anderem Ertragsversuche bei Getreide unter Berücksichtigung von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren durch.

### Maschinen & Versuchsdesign

Für die Versuche wurden zwei unterschiedliche Gespanne, bestehend aus Ackerschlepper und Güllefass, eingesetzt.



Abbildung 1. Das „rote“ Gespann mit dem geringeren Gesamtgewicht (15,9 Mg).

In **Abbildung 1** ist das leichtere Gespann (rot) dargestellt. Das Gesamtgewicht beträgt 15,9 Mg, wobei die maximale Radlast von 4,1 Mg unter der Güllefassachse gemessen wurde. Der Kontaktflächendruck dieser Achse variiert zwischen 128 und 130 kPa. Das schwerere Gespann (grün), dargestellt in **Abbildung 2**, hat ein Gesamtgewicht von 36,5 Mg bei einer maximalen Radlast von 6,6 Mg (2. Achse des Güllefasses). Bei diesem Güllefass variiert der Kontaktflächendruck zwischen 77 und 121 kPa.



Abbildung 2. Das „grüne“ Gespann mit dem höheren Gesamtgewicht (36,5 Mg).

Auf dem Versuchsgut wurden zwei unterschiedliche Parzellen abgesteckt. Auf der einen Fläche wurde in den Jahren zuvor (min. 9 Jahre) eine reduzierte Bodenbearbeitung durchgeführt. Es erfolgte grundsätzlich eine Direktsaat, nur gelegentlich wurde bis auf wenige Zentimeter gegrubbert (konservierende Bodenbearbeitung - K). Auf der zweiten Parzelle hat eine jährliche Pflugbearbeitung auf eine Tiefe von ca. 30 cm stattgefunden (konventionelle Bodenbearbeitung - P). Neben der Bodenbearbeitung wurden weitere Unterteilungen vorgenommen: Maschinengewicht bzw. Radlast: 4,1 Mg und 6,6 Mg; Überfahrungsintensität: 1-fach und 10-fach Überfahrten; Beprobungszeitpunkt: 2011 und 2016. Die entsprechenden Parzellen für 2016 wurden nach 2011 in den normalen Betriebsablauf eingegliedert. Zusätzlich zu den zuvor beschrie-

benen Belastungsvarianten wurde außerdem eine Referenzfläche abgesteckt und beprobt.

### Methodik & Bewertung

2011 wurden Überfahrungsversuch mit den beiden Gespannen auf den jeweiligen Parzellen durchgeführt. Im Anschluss an die Befahrungen wurden Zylinderproben in den Tiefen 20 cm, 40 cm und 60 cm entnommen. Die Zylinderproben wurden im Labor für die Bestimmung von verschiedenen bodenphysikalischen Parametern genutzt: Trockenrohdichte ( $\rho_t$ ), Vorbelastung ( $P_v$ ), Porengrößenverteilung, insbesondere Gesamtporenvolumen (GPV) und Luftkapazität (LK), Luftleitfähigkeit ( $k_l$ ) sowie gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $k_f$ ). Eine detaillierte Beschreibung zu den Methoden und den Ergebnissen ist in *Seehusen et al. (2014b)* zu finden. Zur weiterführenden Bewertung wurde das *Compaction Verification Tool (CVT)* genutzt. Neben der einfachen Auswertung der einzelnen Parameter erlaubt das CVT eine Bewertung zur schadhafte Bodenverdichtung mit Hilfe der Parameter Luftkapazität und gesättigter Wasserleitfähigkeit. Für beide Parameter wurden Grenzwerte definiert (5 Vol.-% und 10 cm/d). Werden im Vergleich zur unbelasteten Referenz bei einer Belastungsvariante beide Grenzwerte unterschritten, führt dies zur CVT-Klasse IV, wird jeweils nur ein Wert unterschritten, werden die Klasse II bzw. die Klasse III vergeben. Bei Nicht-Unterschreitung beider Grenzwerte wird die Klasse I protokolliert. Eine detaillierte Beschreibung zum CVT ist in *Zink et al. (2011)* zu finden.

## **Ergebnisse & Diskussion**

### Befahrungsversuche 2011

Die Ergebnisse der Befahrungsversuche verdeutlichen die erwartete Verdichtungsproblematik auf dem untersuchten primären Pseudogley (Ap, Sw, II Sd – Lt2 & Tu2). Aus **Tabelle 1** wird

ersichtlich, dass sowohl die Befahrung mit dem leichteren (rot) als auch die Befahrung mit dem schwereren Gespann (grün) ein Anstieg der CVT-Klasse IV auf bis zu 80 % in 40 cm Tiefe zur Folge hat. Die Ergebnisse zeigen des Weiteren, dass bei beiden Bodenbearbeitungsvarianten des leichteren Gespannes eine zunehmende Klasse IV zu beobachten ist. Dieser Effekt fällt bei der konventionellen Variante größer aus. Die erhöhte Zunahme der CVT-Klasse IV bei dem kleineren Gespann lässt sich mit einem hohen Kontaktflächen- druck (4,1 Mg P: 130 kPa; 6,6 Mg P: 77 kPa) des Gülleffasses erklären. Neben dem höheren Gewicht des grünen Gülleffasses verfügt dieses auch über breite Reifen, sodass der Quotient aus Gewicht und Fläche, der Kontaktflächen- druck, bei der kleineren Variante ähnlich hoch ist. Der Einfluss des Kontaktflächen- druckes wurde bereits von mehreren Autoren in den Mittelpunkt der Belastungsdiskussion gerückt (Fazekas & Horn, 2005; Hakansson, 2005; Lamande et al., 2007; Raper, 2005).

**Tabelle 1.** Anteil der CVT-Klassen in Abhängigkeit der beiden Belastungs- und Bodenbearbeitungsvarianten (P-konventionell; K-konservierend) in 40 cm Bodentiefe.

Variante <i>in 40 cm</i>	CVT-Klasse		
	I	II & III	IV
Referenz	80%	20%	0%
4,1 Mg 10x P	20%	0%	80%
4,1 Mg 10x K	0%	80%	20%
6,6 Mg 10x P	0%	60%	40%
6,6 Mg 10x K	60%	40%	0%

In 60 cm Bodentiefe fällt die Zunahme der CVT-Klasse IV noch deutlich aus. In dieser Tiefe hat die Bearbeitungsvariante bei beiden Maschinen keinen Einfluss auf die schadhafte Bodenverdichtung. Das leichtere Gespann (rot) führt sowohl bei der konventionellen als auch

bei der konservierenden Bodenbearbeitung zu einem Anteil von 60 % der Klasse IV. Das schwerere Gespann erzeugt bei beiden Bodenbearbeitungsvarianten einen Klassenanteil von 100 % und somit zur vollständigen Schadverdichtung. (vgl. **Tabelle 2**).

**Tabelle 2.** Anteil der CVT-Klassen in Abhängigkeit der beiden Belastungs- und Bodenbearbeitungsvarianten (P-konventionell; K-konservierend) in 60 cm Bodentiefe.

Variante in 60 cm	CVT-Klasse		
	I	II & III	IV
Referenz	0%	80%	20%
4,1 Mg 10x P	0%	40%	60%
4,1 Mg 10x K	0%	40%	60%
6,6 Mg 10x P	0%	0%	100%
6,6 Mg 10x K	0%	0%	100%

### Regenerationsversuche 2016

Die Ergebnisse von der erneuten Probenahme der maximalen Belastungsvariante (6.6 Mg Radlast bei zehnfacher Überfahung) im Jahr 2016 dokumentieren einen möglichen Regenerationseffekt. In **Abbildung 3** sind die Werte der Trockenrohdichte, der Vorbelastung, der Luftleitfähigkeit und des Gesamtporenvolumens vergleichend für die unbefahrene Referenz 2011, die Beprobung nach der Überfahrt 2011 und die Beprobung 2016 nach fünf Jahren Regenerationszeit für die konventionelle Bearbeitungsvariante in den Tiefen 40 cm und 60 cm dargestellt. Beide Stabilitätsparameter ( $P_v$  und  $\rho_t$ ) zeigen in 2011 nach Befahrung zunächst eine Zunahme der Werte. In 2016 lässt sich wiederum eine Abnahme dieser Werte beobachten. Der Intensitäts- ( $k_i$ ) und der Kapazitätswert (GPV) zeigen ebenfalls einen „Schaukeleffekt“, jedoch entgegengesetzt. Bei diesen Parametern findet in 2011 zunächst eine Abnahme und in 2016 eine Zunahme der jeweiligen Werte statt. Aus **Abbildung 4** wird

ersichtlich, dass dieses Verhalten auch bei der konservierenden Bodenbearbeitung zu beobachten ist. Vergleicht man beide Bodenbearbeitungsvarianten untereinander, so fällt auf, dass die Konservierende stabiler gegenüber der mechanischen Auflast ist und die Veränderungen insgesamt geringer ausfallen. Bei beiden Varianten wird der Ausgangszustand jedoch nur selten wieder erreicht.

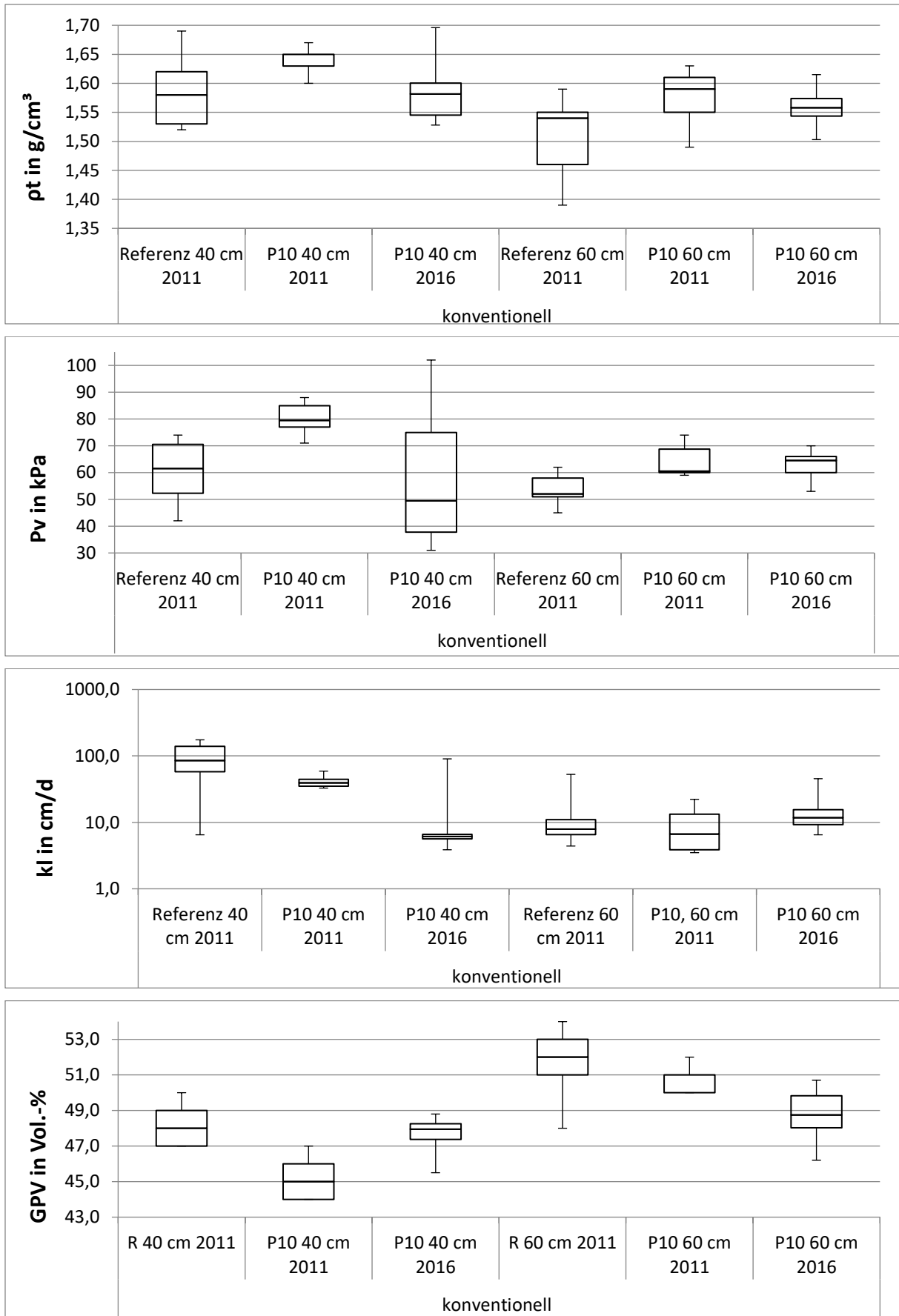
**Tabelle 3.** CVT-Analyse der maximalen Belastungsvariante in 40 cm Bodentiefe vergleichend für die Jahre 2011 und 2016 (P-konventionell; K-konservierend).

6,6 Mg 10x in 40 cm		CVT-Klasse		
		I	II & III	IV
2011	P	0%	60%	40%
2011	K	60%	40%	0%
2016	P	63%	37%	0%
2016	K	88%	12%	0%

Die Ergebnisse der CVT-Analyse aus 2016 zeigt ebenfalls eine deutliche Regenerationswirkung in 40 cm und 60 cm Bodentiefe (vgl. **Tabelle 3 und 4**). Im Jahr 2016 ist die CVT-Klasse IV bei keiner Variante zu beobachten, somit kann keine schadhafte Bodenverdichtung mehr ermittelt werden. Allerdings erkennt man bei dieser Analyse ebenfalls, dass der Ausgangszustand noch nicht wieder erreicht ist. Der Anteil der Klassen II und III ist immer noch vorhanden.

**Tabelle 4.** CVT-Analyse der maximalen Belastungsvariante in 60 cm Bodentiefe vergleichend für die Jahre 2011 und 2016 (P-konventionell; K-konservierend).

6,6 Mg 10x in 60 cm		CVT-Klasse		
		I	II & III	IV
2011	P	0%	0%	100%
2011	K	0%	0%	100%
2016	P	50%	50%	0%
2016	K	0%	100%	0%



**Abbildung 3. Regenerationseffekte der konventionellen Bodenbearbeitungsvariante unter Berücksichtigung der Parameter Trockenrohdichte ( $\rho_t$ ), Vorbelastung ( $P_v$ ), Luftleitfähigkeit (LK) und Gesamtporenvolumen (GPV).**

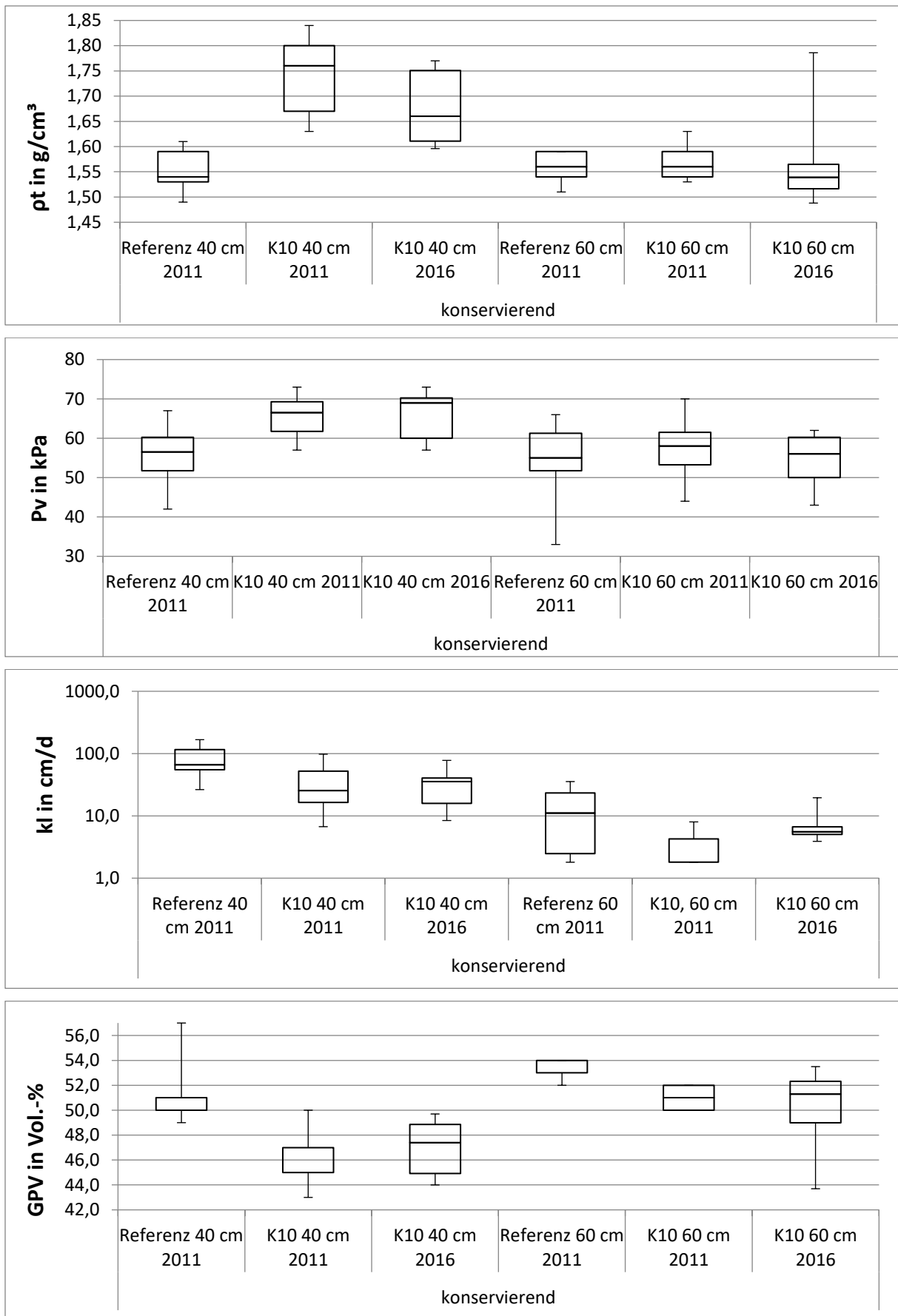


Abbildung 4. Regenerationseffekte der konservierenden Bodenbearbeitungsvariante unter Berücksichtigung der Parameter Trockenrohdichte ( $\rho_t$ ), Vorbelastung ( $P_v$ ), Luftleitfähigkeit (LK) und Gesamtporenvolumen (GPV).

## Schlussfolgerung

Die Untersuchungen zeigen, dass die Überfahrungsversuche in Norwegen zu einer schadhafte Bodenverdichtung, unabhängig von der Bodenbearbeitungsvariante und der eingesetzten Gespanne, geführt haben. Je nach Bodenbearbeitungssystem und eingesetztem Gespann, variieren die Ergebnisse, resultieren jedoch in erheblichen Einschränkungen der bodenphysikalischen Kenngrößen. Als sehr sensibler Parameter für die Verdichtungsanfälligkeit von Böden kann die gesättigte Wasserleitfähigkeit und die Luftleitfähigkeit genannt werden, wie sie es auch schon von anderen Autoren dokumentiert wurde (Alakukku et al., 2003; Yavuzcan et al., 2005). Neben diesen negativen Auswirkungen auf die bodenphysikalischen Parameter, zeigen Seehusen et al. (2014b) ebenso mögliche Ertragseffekte durch die Befahrung auf.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit veranschaulichen aber auch einen möglichen Regenerationserfolg. Die erneute Beprobung in 2016 dokumentiert eine der Bodenverdichtung entgegengesetzte Entwicklung der Parameter. Dies würde der Theorie, nach der die Bodenregeneration mehrere Jahrzehnte in Anspruch nimmt (Horn, 2004; von Wilpert & Schaffer, 2006), widersprechen. Allerdings müssen weitere Untersuchungen zum Thema Regeneration erfolgen. Insbesondere der hohe Tongehalt der untersuchten Böden in Kombination mit einem hohen Austrocknungsgrad im norwegischen Sommer und Frost-Bedingungen im Winter könnten Ursachen der erhöhten Regenerationsdynamik sein.

Die Problematik der Bodenverdichtung, verursacht durch Maschinen, wird nicht allein in der Landwirtschaft, sondern auch in der Forstwirtschaft immer weiter in den Vordergrund gerückt (Riggert et al., 2016; 2017; Vossbrink & Horn, 2004). Cambi et al. (2015) veranschaulichen in einem Review-Artikel die

enorme Bandbreite der Diskussionen in diesem Bereich. Die Forderung nach einer Radlastbegrenzung und einem der Bodenfeuchte angepassten Managementsystem sind allgegenwärtig und Gegenstand vieler Diskussionsansätze (Hakansson, 2005; Horn & Fleige, 2009; Petelkau et al., 1998). In der vorliegenden Studie hätte ein reduziertes Gesamtgewicht mit angepasstem Reifenmanagement eine schadhafte Unterbodenverdichtung wohl vermeiden können.

## Literatur

- Alakukku, L., P. Weisskopf, W.C.T. Chamen, F.G.J. Tjink, J.P. van der Linden, S. Pires, C. Sommer & G. Spoor (2003) Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 1. Machine/soil interactions. *Soil and Tillage Research* **73**, S. 145-160.
- Cambi, M., G. Certini, F. Neri & E. Marchi (2015) The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management* **338**, S. 124-138.
- eurostat (2013) Statistiken über die Struktur landwirtschaftlicher Betriebe [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Farm\\_structure\\_statistics/de](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Farm_structure_statistics/de).
- Fazekas, O. & R. Horn (2005) Interaction between mechanically and hydraulically affected soil strength depending on time of loading. *J Plant Nutr Soil Sc* **168**, S. 60-67.
- Hakansson, I. (2005) Machinery-Induced Compaction of Arable Soils - Incidence - Consequences - Counter - Measures. *Swedish University of Agricultural Sciences Department of Soil Science, Uppsala*, 109 S.
- Horn, R. & H. Fleige (2003) A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil and Tillage Research* **73**, S. 89-99.
- Horn, R. (2004) Division S-1 - Soil physics - Time dependence of soil



- mechanical properties and pore functions for arable soils. *Soil Science Society of America Journal* **68**, 1131-1137.
- Horn, R. & A. Smucker (2005) Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. *Soil & Tillage Research* **82**, S. 5-14.
- Horn, R. & H. Fleige (2009) Risk assesment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany. *Soil & Tillage Research* **102**, S. 201-208.
- Lamande, M., P. Schjonning & F.A. Tøgersen (2007) Mechanical behaviour of an undisturbed soil subjected to loadings: Effects of load and contact area. *Soil & Tillage Research* **97**, S. 91-106.
- Petelkau, H., K. Seidel & M. Frielinghaus (1998) Bodenbearbeitung und Bodenschadverdichtung. *In: Bodenbearbeitung und Bodenschutz* **266**, S. 56-79.
- Raper, R.L. (2005) Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* **42**, S. 259-280.
- Riggert, R., H. Fleige, B. Kietz, T. Gaertig & R. Horn (2016) Stress Distribution under Forestry Machinery and Consequences for Soil Stability. *Soil Science Society of America Journal* **80**, pp. 38-47.
- Riggert, R., H. Fleige, B. Kietz, T. Gaertig & R. Horn (2017) Dynamic stress measurements and impact of timber harvesting on physical soil properties. *Aust Forestry (in press)*.
- Riley, H., T. Borresen & P.O. Lindemark (2009) Recent yield results and trends over time with conservation tillage on clay loam and silt loam soils in southeast Norway. *Acta Agr Scand B-S P* **59**, 362-372.
- Seehusen, T., T. Borresen, B.I. Rostad, H. Fleige, A. Zink & H. Riley (2014a) Verification of traffic-induced soil compaction after long-term ploughing and 10 years minimum tillage on clay loam soil in South-East Norway. *Acta Agr Scand B-S P* **64**, 312-328.
- Seehusen, T., H. Riley, R. Riggert, H. Fleige, T. Borresen, R. Horn & A. Zink (2014b) Traffic-induced soil compaction during manure spreading in spring in South-East Norway. *Acta Agr Scand B-S P* **64**, S. 220-234.
- von Wilpert, K. & J. Schaffer (2006) Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *European Journal of Forest Research* **125**, S. 129-138.
- Vossbrink, J. & R. Horn (2004) Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil and Tillage Research* **79**, S. 207-219.
- Yavuzcan, H.G., D. Matthies & H. Auernhammer (2005) Vulnerability of Bavarian silt loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. *Soil & Tillage Research* **84**, S. 200-215.
- Zink, A., H. Fleige & R. Horn (2010) Load Risks of Subsoil Compaction and Depths of Stress Propagation in Arable Luvisols. *Soil Science Society of America Journal* **74**, S. 1733-1742.
- Zink, A., H. Fleige & R. Horn (2011) Verification of harmful subsoil compaction in loess soils. *Soil & Tillage Research* **114**, S. 127-134.