



Zwischenbericht

Einschätzung des Beratungsbedarfs für den Schutz der ackerbaulich genutzten Böden Thüringens vor Schadverdichtung

Themenblatt-Nr.: 46.17.220

Langtitel: Risikoanalyse zur Schadverdichtung in der Thüringer Landwirtschaft
Kurztitel: Schadverdichtungsgefährdung in Thüringen
Projekt: Agrarmonitoring
Projektleiter: Dr. H. Eckert
Abteilung: Untersuchungswesen
Abteilungsleiter: Dr. M. Leiterer
Laufzeit: 9/2004 bis 12/2007
Auftraggeber: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
Bearbeiter: R. Paul; A. Fettisov

Jena, im Januar 2007

(Prof. Dr. Gerhard Breitschuh)
Präsident

(Weidemann)
Koordinierungsstelle
Agrarinformation

Einschätzung des Beratungsbedarfs für den Schutz der ackerbaulich genutzten Böden Thüringens vor Schadverdichtung

1 Einführung

Die Schadverdichtungsgefährdung wie auch der Anteil bereits schadverdichteter ackerbaulich genutzter Flächen wird sehr unterschiedlich beurteilt. So wird die Großtechnik als schadverdichtend kritisiert und in diesem Zusammenhang auch die Großflächenlandwirtschaft, weil sie solche Technik einsetzt. Daraus folgend werden sowohl Schadverdichtungsrisiko und der Anteil geschädigter Flächen als sehr verbreitet eingeschätzt (EHLERS, 1999, 2003; SCHNEIDER u. SCHRÖDER, 1996). Andererseits wird nachgewiesen, dass keine Schadverdichtungen beim Einsatz solcher Technik eintreten. Die Krume wird zwar verdichtet, behält aber ihre Funktionen bei, das Unterbodengefüge wird nicht verändert (SCHWARK, 2005).

Grundlage aller dieser Einschätzungen sind Überrollversuche auf Versuchsfeldern, sogar auf zuvor homogenisiertem Boden, Einzelmessungen auf Praxisschlägen und oft auch nur der optische Eindruck, den Fahrspuren hinterlassen.

Die Erfassung des physikalischen Zustands aller Ackerflächen mittels physikalischer Messmethoden zu bestimmen und daraus flächengenaue Aussagen zu Schadverdichtungszustand und -gefährdung abzuleiten, erfordert einen nicht vertretbaren Aufwand. Mittels Fernerkundungsmethoden (Infrarotnahe Spektroskopie) können vor allem Unterschiede des Bodenwassergehaltes festgestellt werden. Mittels Regressionen wird dann versucht, auf weitere Bodeneigenschaften zu schließen, so die Textur (SCHMIDTHALTER u. a., 2003). Der Rückschluss auf komplexere Merkmale, wie das Gefüge, dürfte aber unsicher sein.

Ein anderer Weg ist die Ableitung des Bodenzustandes aus einer repräsentativen Stichprobe. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft verfügt über langjährige Messreihen unter Praxisbedingungen (Bodenmonitoringprogramm), über zahlreiche (ca. 200) Profiluntersuchungen auf wichtigen Standorten Thüringens und dazu über Überrollversuche auf Praxisflächen, Verdichtungsmessungen auf geschüttetem Material und Profilaufnahmen unter Wald. Damit ist eine repräsentative Stichprobe vorhanden.

Anhand dieser Daten wurde mit dem Ziel, die Schadverdichtungsrisiken bodenbezogen zu bewerten und ebenso standortbezogen vorbeugende Maßnahmen ergreifen zu können, ein Verfahren zur Einschätzung der Schadverdichtungsgefährdung auf der Basis der Vorbelastungseinschätzung (LEBERT, 1989; DVWK-Merkblatt 234, 1995) entwickelt und in ein Beratungsverfahren übergeleitet.

2 Methode

2.1 Einschätzung der Druckbelastung

Das Verfahren besteht aus der Einschätzung der Druckbelastung und der Einschätzung der Druckbelastbarkeit der Ackerböden. Aus Belastung und Belastbarkeit wird ein Quotient gebildet, der ab einem Wert von 1,25 Handlungsbedarf anzeigt.

Es sind dazu die Fahrzeugmassen und die Aufstandsflächen zu erfassen. In Thüringen kann von einer einheitlichen Ausstattung der Betriebe ausgegangen werden. Etwa 72 % der Ackerflächen wird von Großbetrieben (> 300 ha Fläche) bewirtschaftet, und diese Betriebe setzen Technik hoher Leistung ein (HUBOLD, DÜRSELEN, HEROLD, 2006). Die Bodenbelastung wird deshalb mit einer Musterausstattung

(Basis Ausstattung der BDF-Betriebe) kalkuliert. Von dieser Technik wird der Kontaktflächendruck (Kraft/Fläche) berechnet. Die Kraft ergibt sich aus der Fahrzeugmasse und deren Aufteilung auf die Räder, der Masse der Anbaugeräte einschließlich einer Schwerpunktverlagerung infolge Hebelwirkung des Gerätes, bei gezogenen Geräten wird eine Gewichtsverlagerung auf die Traktorhinterachse berechnet (OBERHAUS u. a., 2005; Bodenschutzplaner 2006). Die Bestimmung der Kontaktfläche ist direkt nicht möglich, das häufig angewandte Verfahren des Umstäubens des Reifens mit Kreide und Vermessung der umstäubten Fläche liefert, verglichen mit den tatsächlich erfolgten Bodenverformungen eine zu große Kontaktfläche und berücksichtigt vor allem nicht, dass auch moderne Reifen die Kontaktfläche nicht gleichmäßig beaufschlagen. Messungen mit Sensormatten auf nachgiebigem Boden (DLG-Testzentrum, Vorführung zur DLG-Ausstellung 2006, ZIESAK, 2005) zeigen, dass die mit mittlerem Druck beaufschlagte Fläche kleiner als die umstäubte ist. Die Fläche ist elliptisch. Für das Beratungsmodell wird vereinfachend bei Traktorreifen ein Quadrat mit der Reifenbreite als Seitenlänge und bei Gerätoreifen ein Rechteck mit den Abmessungen $a = \text{Reifenbreite}$, $b = 80\%$ der Reifenbreite berechnet. Zugrundegelegt werden bodenschonende Reifentypen mit lastgerecht eingestelltem Luftdruck für Äcker.

Die Musterausstattung enthält Technik mit hohem Bodendruck für ein Anbauspektrum aus Getreide, Raps, Feldfutter mit geringem Hackfruchtanteil. Diese Technik ist mit bodenschonenden Reifen ausgerüstet, die mit einem auf Ackerfahrt lastbezogenem Innendruck gefahren werden (Tab. 1).

Tabelle 1: Technik und bodendruckrelevante Eigenschaften

Arbeitsgang	Technik	Radlast ¹⁾	Aufstandsfläche pro Rad
		kN	m ²
Pflügen (Furchenfahrt)	Traktor 260 PS, Reifen 650/65R42 Arb.breite 2,45 m, 25 cm tief	51,4	0,33
Grubbern	Traktor 410 PS, Gleisband, Arb.breite 7,5 m, 15 cm tief	101 ²⁾	1,9 ²⁾
Mineraldüngung	Traktor 160 PS, Reifen 580/70R42, Anbaustreuer Amazone, Nutzlast 2,5 t	47,5	0,26
Pflanzenschutz	Traktor 160 PS, Reifen 580/70R42. Anbaufeldspritze Amazone, Nutzlast 2,5 t	47,5	0,26
Org. Düngung, Gülle	Traktor 160 PS, Tankwagen Nutzlast 20 m ³ , Reifen 400/55 R22,5, Tridem-Achse	40	0,28
Org. Düngung, Stallmist	Traktor 160 PS, Aufsattelstreuer Nutzlast 8 t, Tandemachse, Reifen 400/55 R22,5	30	0,28
Getreideernte	Mähdrescher 6,2 m Arb.breite, Bunker 5 t Nutzlast, Reifen 550/60-22,5	63,5	0,24
Zuckerrübenerte	Bunkerroder, Bunker 9 t, Reifen 800/65R32	85,5	0,50
Transport	Traktor 160 PS, Anhänger HW 80 Reko, Reifen 500/45R22,5	30	0,20

1) Radlast und Bereifung des Rades mit dem höchsten Bodendruck

2) Belastung und Aufstandsfläche eines Gleisbandes

2.2 Einschätzung der Druckbelastbarkeit

Die Druckbelastbarkeit wird mit einem Verfahren nach LEBERT (LEBERT, 1998; Merkblatt für die Wasserwirtschaft 236) bestimmt. Dabei wird aber nicht die

gegebene Vorbelastung als Druckbelastbarkeit betrachtet, sondern die Vorbelastung, die der Boden in einem funktionierenden Zustand haben würde. Lockere Böden können so mit höherem Druck belastet werden, bereits verdichtete dagegen mit einem geringeren gegenüber der Vorbelastung. Ziel ist, die notwendige Austauschleistung des Gefüges zu erhalten bzw. natürliche Prozesse zur Wiederherstellung zu unterstützen (WERNER u. PAUL, 1999). Dieser Zustand fordert eine Durchlässigkeit (kf-Wert) von mindestens 10 cm/d und eine Luftkapazität (bei pF 1,8) von mindestens 8 Vol.-% in der Krume und 5 Vol.-% in tieferen Schichten. Lockerere Böden sind danach mit höherem Druck gegenüber der Vorbelastung, dichtere mit geringerem Druck belastbar. Damit sollen die Böden so schonend wie nötig bzw. bereits schadverdichtete Böden schonender belastet werden als deren hohe Vorbelastung vorgibt. Die unvermeidliche Setzung überlocketer Böden begründet somit keinen Handlungsbedarf, die periodisch oder dauerhaft nicht gelockerten Krumenschichten und vor allem der Unterboden wird dagegen schonender als nach der meist hohen Vorbelastung behandelt, so dass biogene Regenerierungsprozesse nicht behindert werden. Die Druckbelastbarkeit liegt für die Ackerfeldblöcke Thüringens vor und ist im Bodenschutzplaner verfügbar.

3 Ergebnisse

3.1 Schadverdichtungsgefährdung

Die Schadverdichtungsgefährdung wird eingeschätzt, indem für jede Bodenform Thüringens die Belastung durch die Technik nach Tabelle 1 ausgeführt zu dem am Termin wahrscheinlichen Bodenfeuchtegehalt unter Auslassung des Zustandes Feldkapazität (pF 1,8) berechnet und der Druckbelastbarkeit gegenübergestellt wird (LEBERT u. HORN, 1991).

Der Bodenzustand Feldkapazität versetzt die meisten Thüringer Böden in einen weichplastischen, die schluffigen Buntsandstein- und die tonigen Böden in einen zähflüssigen Zustand, bei dem ein Befahren des Bodens nicht möglich ist.

Zudem ist die Bestimmung der Vorbelastung bindiger Böden bei pF 1,8 im Druckversuch problematisch. Bei Belastung entsteht Porenwasserdruck, der erst zeitlich versetzt abnimmt. Demzufolge sinkt die Vorbelastung mit der Belastungsdauer. Der gleiche Effekt tritt bei Belastungswiederholung ein, 5 Wiederholungen entsprechen einer Langzeitbelastung von 24 h. In der Praxis wird der Boden immer in kürzestem Zeitabstand mehrfach überrollt, d. h., es können nur Werte aus dem Langzeitversuch gelten (PETH, S.; HORN, R., 2006).

Die betrachtete Bodenschicht ist die untere Krume, weil diese Schicht im Produktionsjahr nicht und bei Anwendung pflugloser Bodenbearbeitung mit reduzierter Bearbeitungstiefe auch mehrjährig nicht gelockert wird, aber für die Durchwurzelung, insbesondere Wurzelzahl und Feinwurzelverteilung sowie deren Aktivität (HELAL und SAUERBECK, 1986) und den Transport von Wasser und Sauerstoff wie die Entfernung von Stoffwechselgasen wichtig ist.

Die Schonung dieser Schicht dürfte verhindern, dass tiefere Schichten verdichtet werden. EHLERS (2003) widerspricht dem. Da in der Praxis die Senkung des Bodendruckes meist durch Vergrößerung der Aufstandsfläche erreicht wird, würde ein Effekt nur im Oberboden eintreten und nicht im Unterboden. Die Bodenmechanik, die zur Begründung angeführt wird, bestätigt zwar, dass mit zunehmender Radlast immer größere Anteile des Bodendruckes in tiefere Schichten eingetragen

werden (SÖHNE, 1958). Messungen mit dreidimensionalen Druckaufnehmern zeigen andererseits aber, dass eine Vergrößerung der Aufstandsfläche, begleitet von abnehmendem Reifeninnendruck, bei gleicher Radlast auch zu abnehmendem Druck im Unterboden führt (SchLONNING, LAMANDE'; TORGERSEN; ARVIDSON; KELLER (2006); VOLK u. SCHNAPP (2003)).

Die Spezifik der Druckverteilung wird im Bodenschutzplaner berücksichtigt, indem eine progressiver Vergrößerung der Aufstandsfläche bei Erhöhung der Radlast gefordert wird. Auf den untersuchten Thüringer Flächen wurde eine solche Verdichtung des Unterbodens bei locker erhaltenem Oberboden noch nicht beobachtet, sie ist jedoch möglich, wenn die Druckbelastbarkeit des Unterbodens wesentlich geringer ist als die des Oberbodens. Dann können festere Schichten in den Unterboden verschoben werden, wobei dieser verdichtet wird (HORN; FACEKAS; PETH; (2006), WERNER, D.; WERNER, B. u. PAUL (2006).

Ein mittlerer Quotient wurde gewählt, um zu vermeiden, dass einzelne Arbeitsgänge das Ergebnis bestimmen. Entscheidend ist, dass sich die Technikausstattung insgesamt an der Druckbelastbarkeit der Böden orientiert. Dem entspricht die Beobachtung, dass nach Einzelereignissen, z. B. kenntlich durch tiefe Spurbildung, eine flächendeckende Schadverdichtung wie auch Unterbodenverdichtungen i. d. R. nicht nachzuweisen sind, wohl aber, wenn permanent mit zu hohem Bodendruck gefahren wird.

Trotzdem werden im Bodenschutzplaner solche Ereignisse angezeigt, so dass auch darauf reagiert werden kann.

Als potentiell gefährdet gelten die Bodenformen, für die ein Quotient > 1,25 ermittelt wird. Ihr Anteil an der Ackerfläche ergibt sich aus der Kombination der Bodengeologischen Übersichtskarte Thüringens (BÜK, TLUG Jena) mit der Feldblockkarte. Man erhält die Fläche der einzelnen Bodenformen unter Ackernutzung.

Der Anteil an gefährdeter Fläche

entspricht dann der Summe der Flächen mit gefährdeten Bodenformen, bezogen auf die Ackerfläche Thüringens (Tab. 2).

Es bestehen Schadverdichtungsrisiken auf etwa 42 % der Ackerflächen. Für diese Flächen wird Beratung dringend empfohlen.

Tabelle 2: Bodenformen und Flächenanteile mit Beratungsbedarf

Bodenform		Fläche ha	% an der AF
Humusgley	lehmig-tonig	5089	0,80
Anmoorgley, Gley, Moorgley	Toniger Lehm - lehmiger Ton	21947	3,43
Anmoorgley, Moorgley , Vega	Sandiger Lehm	10073	1,58
Lehm-Schwarzerde, Rendzina und Braunerde (u.Keuper, Muschelkalk)	Toniger Lehm – lehmiger Ton	44979	7,05
Tschernosem	Sandiger Lehm	943	0,15
Braunerde Buntsandstein	Lehmiger Sand – sandiger Lehm	64935	10,18
Pelosol, Rendzina, Terra fusca (Keuper, Buntsandstein, Muschelkalk, Zechstein)	Toniger Lehm – lehmiger Ton	117095	18,35
Braunerden, Ranker (Schiefer-Quarzit)	Sandiger Schluff	1339	0,21
Kippsubstrate		1626	0,25
		268026	42,0

Die Risikoflächen umfassen Podsole und Braunerde aus lehmigem Sand, Gley und Vega aus tonigem bis lehmigem Material, Rendzinen, Braunerden und Pseudogley aus tonigem und lehmigem Material des Keuper, Muschelkalkes und Zechsteins. Auf 38 % der Ackerfläche ist das Risiko mit geringem Aufwand bzw. mit bekannten und verfügbaren Methoden abzubauen, auf 4 % sind umfangreichere Maßnahmen erforderlich. Die Flächen mit sehr hohem Schadverdichtungsrisiko setzen sich zusammen aus tonigen und sandigen Auenböden (Gley und Vega) und lehmig-tonigen Braunerden aus Muschelkalk.

Die Verteilung der Flächen in Thüringen und damit die Schwerpunkte des Beratungsbedarfes sind in Abbildung 1 dargestellt.

3.2 Verbreitung der Schadverdichtung

3.2.1 Bodengenetisch bedingte Schadverdichtung

Schadverdichtungsgefährdung und Schadverdichtung sind nicht identisch. Bei den schadverdichteten Flächen ist zudem zwischen pedogener und anthropogener Schadverdichtungsursache zu unterscheiden.

Bodenentwicklungsbedingt sind haftvernässte Pelosole sowie die Böden schadverdichtet, in deren Entwicklung eine Tonverlagerung und -anreicherung im Bt- bzw. Sd-Horizont stattgefunden hat.

Betroffen sind die Bodenformen Pseudogley aus Löß mit einem Anteil von 5,3 % der AF Thüringens, Pseudogley aus Schieferzersatz mit 0,99 % der AF, Pseudogley aus lehmigem Sand des mittl. und unteren Buntsandstein mit 0,6 % der AF, Pseudogley aus lößhaltigem Material über pleistozänen Ablagerungen/Geschiebe mit 0,6 % der AF und Pseudogley aus Sandlöß mit 0,13 % der AF. Der Anteil der haftvernässten Pelosole beträgt 4,04 % der AF. Insgesamt besteht damit eine bodengenetisch bedingte Schadverdichtung im Unterboden auf 73.987 ha bzw. 11,6 % der Ackerfläche Thüringens

3.2.2 Bewirtschaftungsbedingt verdichtete Flächen

Erfahrungsgemäß erstrecken sich die bewirtschaftungsbedingten Schadverdichtungen nicht auf den gesamten Schlag, sondern konzentrieren sich auf besonders häufig befahrene Randbereiche, Mietenplätze und Abfahrtrassen (WERNER u. REICH, 1993; WERNER, 1994; SOMMER u. a., 2001). Die Verdichtungen betreffen vor allem die untere Krume und die Krumbasis (Praxistag 2003; PAUL, 2004; 2005; 2006). Nach WERNER u. REICH (1993) reichen die Verdichtungen selten bis 50 cm. Noch tiefere Schichten werden nicht erreicht.

Der Anteil an technogen schadverdichteten Flächen umfasst daher diese Schlagbereiche.

Unterstellt man eine wirtschaftliche Schlaggröße zwischen 10 bis 40 ha (BREITSCHUH, 2006) mit Randbreiten von 15 m (BERGER u. a., 1999; KLEIN, 2005) und eine Rechteckform, so sind von einem 10 ha-Schlag 1,95 ha und von einem 40 ha-Schlag 3,9 ha schadverdichtet. Teilt man die Ackerfläche Thüringens in 60 % Schläge mit 10 ha und 40 % Schläge mit 40 ha auf, so ist mit einer schadverdichteten Fläche (Krumbasis) von 99.500 ha, das sind 15,6 % der Ackerfläche Thüringens, zu rechnen.

Tiefer reichende Verdichtungen sind auf tonreichen grundwasserbeeinflussten Böden (Gley) zu beobachten. Die Schadverdichtung beruht vor allem auf Knetungs-

bedingter Zerstörung der Porenkontinuität dieser sehr instabilen Böden.

Man kann deshalb die gesamte Fläche dieser Bodentypen als schadverdichtet bis in den krumennahen Unterboden ansehen. Die Flächenanteile betragen 3,8 %.

WERNER und REICH (1993) schätzten den Anteil an Verdichtungen der Krumenbasis mit 17 % und den mit Unterbodenverdichtungen mit 2 % der AF ein. Verdichtungen im Krumenbereich nahm er auf 22 % der Ackerfläche an. Der gegenwärtige Anteil ist schwer zu schätzen. Er dürfte sich nicht erhöhen, wenn insbesondere bei pflugloser Bodenbearbeitung der Bodenschutzplaner eingesetzt wird.

4 Schlussfolgerung

Die Daten aus den in Thüringen untersuchten Flächen widersprechen der Annahme einer verbreiteten Schadverdichtung. Dennoch besteht das Risiko einer Schadverdichtung aus dem Gegensatz von der Entwicklung immer leistungsfähigerer und schwererer Technik und deren Anwendung gegenüber der sehr differenzierten und nur in sehr engen Grenzen zu steigernden Druckverträglichkeit der Thüringer Böden. Es ist auch bestätigt, dass eine Unterbodenverdichtung sich nicht wieder (Beobachtungszeitraum 11 Jahre) regeneriert.

Schadverdichtungsrisiken beim Einsatz leistungsstarker Technik bestehen auf 42 % der Ackerfläche. Für diese Flächen besteht Beratungsbedarf.

Der Landwirt findet diese Flächen im Bodenschutzplaner und kann mit diesem Instrument auch Maßnahmen zur Vorsorge ableiten. Auf den meisten Flächen reichen einfache und kostengünstige Maßnahmen aus.

Das Schadverdichtungsrisiko ist nicht mit Schadverdichtung gleichzusetzen. Schadverdichtungen bestehen auf 16 bis 17 % der AF im Bereich der Krumenbasis. Diese Verdichtungen sind nicht flächendeckend verbreitet, sie konzentrieren sich auf die Randbereiche, verursacht von deren häufiger Befahrung, vielfach mit Höchstlasten. Unterbodenschadverdichtungen konzentrieren sich auf extreme Standorte.

Damit kann ein Zusammenhang zwischen Großflächenwirtschaft und Schadverdichtung nicht erkannt werden, wohl aber ist gute fachliche Praxis notwendig, aber auch möglich.

5 Literatur

- BERGER, G.; HENNING, C.; KÄCHELE, H. (1999): Naturschutz, der nichts kostet. Neue Landwirtschaft 8: S. 22-25
- BREITSCHUH, T.; GERNAND, U. (2005): Bericht Umwelt-Testbetriebsnetz Thüringen. 2. Auswertejahr. Ergebnisse und Schlussfolgerungen. <http://www.tll.de/ainfo2005>, 110 S.
- BODENSCHUTZPLANER (2006): Internetanwendung, <http://www.tll.de/ainfo2006>
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1995): DVWK-Merkblatt 234, Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil I.
- EHLERS, W. (1999): Schäden an den Äckern? Zuckerrübe 48, S. 20-23
- EHLERS, W. (1999): Breitreifen wirken nicht Wunder. Bauernzeitung 2, S. 21-23
- EHLERS, W. (2003): Boden unter Druck. Bauernzeitung 48, S. 13-15
- HELAL, H.-M.; SAUERBECK, D. (1986): Entwicklung und Aktivität des Wurzelsystems in Abhängigkeit von der Bodendichte. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 1986, S. 381-388
- HUBOLD, B.; DÜRSELEN, E.; HEROLD, M. (2006): Analyse der strukturellen Entwicklung der Thüringer Landwirtschaft 2006. <http://www.tll.de/ainfo2006>, 20 S.
- HORN, R.; FAZEKAS, O.; PETH, S. (2006): Alteration of soil structure geometry caused by mechanically applied stress and its consequence on soil strength (Manuskript)
- KLEIN, C.-I. (2005): Einfluss von Vegetationsfilterstreifen auf den Austrag ausgewählter Herbizidwirkstoffe mit dem Oberflächen- und Zwischenabfluss in ackerbaulich genutzten Böden einer Mittelgebirgslandschaft. Bonner Bodenkundl. Abh. 40, 224 S.
- LEBERT, M. (1989): Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden. Bayreuther Bodenkundliche Berichte Band 12, 159 S.
- LEBERT, M.; HORN, R. (1991): Ein Verfahren zur flächendeckenden Erfassung der Bodenstabilität im Hinblick auf die Beurteilung der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 33, S. 85-99
- OBERHAUS, C.; BILLER, H.; KEUPER, G.; STACHNIK, P. (2005): Gewichtsübertragung vom Anbaupflug auf den Traktor. Landtechnik 60, S. 330-331
- PAUL, R. (2006): Pfluglos auf dem Vormarsch? Getreidemagazin 3/2006, S. 182-187
- PAUL, R.; MARRE, G. (2005): Nicht alle Schäden heilen von selbst. LOP 11, S. 18-23
- PETH, S.; HORN, R. (2006): The mechanical behavior of structured and homogenized soil under repeated loading. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169, S. 401-410
- Praxistag 2003: Bodenschutz und Landnutzung. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena

SCHNEIDER, R.; SCHRÖDER, D. (1996): Standorteigenschaften von Böden aus Decksand über Geschiebelehm in Mecklenburg bei unterschiedlicher Nutzung. Universität Trier, Abt. Bodenkunde

SCHJONNING, P.; LAMANDE', M.; TOGERSEN, F. A.; ARVIDSON, J.; KELLER, T. (2006): Distribution of vertical stress at the soil-tyre interface: effects of tyre inflation pressure and the impact on stress propagation in the soil profile. In: Soil Management For Sustainability, Advances in Geoecology 38, S. 38-46

SCHMIDHALTER, U.; JUNGERT, S.; EBERTSEDER, T.; DUDA, R.; GUTSER, R.; GERL, G. 2003: Erfassung repräsentativer Kenngrößen der Wasserverfügbarkeit und des N-Haushaltes von Teilschlägen. In: FAM-Jahresbericht 2002, Teilprojekt WS2, S. 109-116

SCHWARK, A. (2005): Äcker durch Großmaschinen verdichtet? Landtechnik 60, S. 74-76

SOMMER, C.; BRANDHUBER, R.; BRUNOTTE, J.; BUCHNER, W. (2001): Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen. In: Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), Bonn, S. 14-41

VOLK, L.; SCHNAPP, K. (2003): Richtige Reifenwahl ist praktizierter Bodenschutz. Mais 31 (4), S. 124-127

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

WERNER, D.; REICH, J. (1993): Verbesserung schadverdichteter Böden durch Lockerung. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL), S. 437-476

WERNER, D.; WERNER, B.; PAUL, R. (2006): Verdichtung und Regeneration des Gefüges eines schluffigen Tonbodens (Tschernosem) – bodenphysikalische, computertomographische und REM-Untersuchungen. <http://www.tll.de/ainfo>, 11/2006, 11 S.

ZIESAK, M.; MATTHIES, D. (2001): Untersuchungen zur last- und innendruckabhängigen Aufstandsfläche von Forstspezialreifen. Investigations towards the load and inflation pressure dependend foot print area of forest tyres FTI, 9+10: S. 104-110

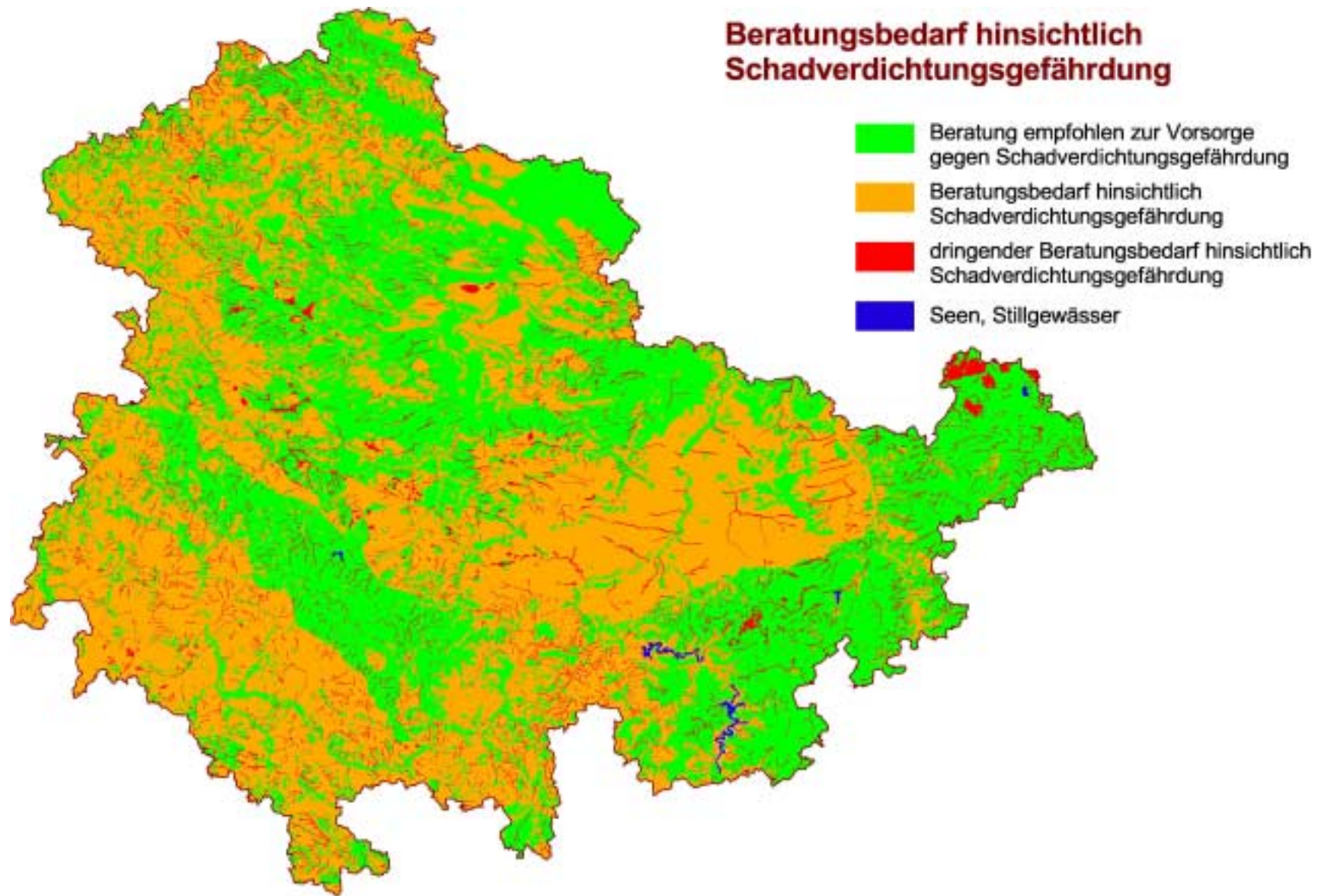


Abb.1: Verteilung der Ackerflächen mit Schadverdichtungsgefährdung