

## Teil III: Ausweisung von „Risiko Gebieten“ auf Basis von Pedotransferfunktionen – die aktuelle Situation in Europa

Thomas Vorderbrügge\* und Joachim Brunotte\*\*

### Part III: Risk area identification „soil compaction“ by making use of pedotransfer function – the current state in Europe

#### 1 Einleitung

Für das Gebiet der Europäischen Union gibt es keine spezifischen Rechtsvorschriften zum Bodenschutz. Diese Lücke sollte die von der Europäischen Kommission im Jahr 2006 vorgelegte „Thematische Strategie für den Bodenschutz“ (COM, 2006a) sowie der im gleichen Jahr vorgelegte Vorschlag einer „Rahmenrichtlinie für den Bodenschutz (BSRRL)“ (COM, 2006b) schließen. Die parlamentarische Umsetzung der Rahmenrichtlinie hat bisher allerdings noch nicht die erforderliche politische Zustimmung gefunden. Strategie und Rahmenrichtlinie sollen der Umsetzung des Nachhaltigkeitsgebots sowie der Erfüllung der Vorsorgepflichten in Bezug auf die Böden in Europa dienen. Eine ausführliche Darstellung der Aspekte des Bodenschutzes in Europa, insbesondere der umfangreichen fachlichen und politischen Vorarbeiten seit der Verabschiedung der Europäischen Boden Charta 1972 sowie der Gründung des europäischen Bodenforums 1998 in Bonn, findet sich bei WBGU (1993, 1994), Vorderbrügge (1999) sowie Lee (2006).

Zentraler Bestandteil des Entwurfs der Rahmenrichtlinie ist aus Sicht des Vorsorgenden Bodenschutzes das Kapitel II „Risikovermeidung und -minderung, Wiederherstellung“. Dieses Kapitel beinhaltet u. a. eine „grobe“ Festlegung von Leitlinien für die Bestimmung und Ausweisung der so genannten „Risikogebiete“. Diese bezeichnen Gebiete, bei denen „stichhaltige Beweise vorliegen beziehungsweise der begründete Verdacht besteht, dass eine Verschlechterung der Bodenqualität durch Erosion und/oder Verlust an organischer Substanz, Verdichtung, Versalzung sowie Erdbeben eingetreten ist beziehungsweise in naher Zukunft eintreten könnte“ (COM, 2006b). Seitens der Rahmenrichtlinie werden für die Art der Festlegung von Risikogebieten nur zwei Vorgaben formuliert. Zum ei-

nen haben die Mitgliedstaaten zumindest die im Anhang I der Richtlinie angeführten Kriterien zu berücksichtigen. Zum anderen können sie sich bei der Festlegung auf empirische Daten oder auf Modelle stützen. Werden Modelle herangezogen, so sind sie zu validieren, indem die Ergebnisse mit empirischen Daten verglichen werden, die nicht für die Entwicklung des Modells selbst verwendet wurden. Insbesondere dieser Aspekt stellt eine sehr hohe Anforderung an den Einsatz von Modellen zur Ausweisung der Risikogebiete.

Im Rahmen der umfangreichen fachlichen Vorarbeiten zur BSRRL, vor allem zur Harmonisierung der europaweiten Grundlagen, wurden durch die so genannten „Soil Information Working Groups (SIWG)“ im Auftrag der „Direktion Umwelt der Kommission“ die methodischen Vorgaben der BSRRL, insbesondere zur Ausweisung der „Risikogebiete“ entwickelt (Eckelmann et al., 2006).

Danach stehen drei Ansätze zur Ausweisung der Risikogebiete zur Verfügung:

- Qualitativ – d. h. eine ungefähre Abschätzung, vornehmlich expertengestützt, auch unter Berücksichtigung der in der BSRRL angeführten Kriterien,
- Quantitativ – flächenhafte Ausprägung der Beeinträchtigung (Status), basierend auf Messdaten aus Erhebungs- und Monitoringprogrammen und unter Berücksichtigung von Grenzwerten,
- Modellhaft – d. h. Einsatz von Modellen zur Ableitung des aktuellen Status der Bodenqualität (Verdichtung), für Trendaussagen sowie zum Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme auf die Bodenqualität (Verdichtung).

Im Folgenden wird zunächst der uns bekannte Sachstand zum Status der Bodenverdichtung in Europa dargestellt. Anschließend werden die z. Zt. in der Fachliteratur diskutierten Ansätze zur Darstellung von „Risikogebieten Bodenverdichtung“ erörtert.

\* Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dezernat Bodenschutz und Bodeninformationen, Rheingastr. 186, 65203 Wiesbaden; E-Mail: thomas.vorderbruegge@hlug.hessen.de

\*\* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: joachim.brunotte@vti.bund.de

## 2 Status der Bodenverdichtung – insbesondere des Unterbodens – in Deutschland und Europa

Eine repräsentative, bundesweite Untersuchung über den Gefügestand der Unterböden in Deutschland ist uns nicht bekannt. So zeigt z. B. die Auswertung von Lorenz (2008), dass es im Prinzip keine belastbaren Grundlagen für einen bundesweiten Statusbericht gibt und generelle und allgemeingültige bundesweite Aussagen zum Gefügestand der Unterböden schwierig sind. Die Literaturauswertung von Lorenz (2008) ergab nur für einzelne Bundesländer und dies auch wiederum nur für einige Landschaften bzw. Substrate der Bodenbildung (i. d. R. Löss bzw. Lösslehm) Aussagen zum Status der Bodenverdichtung. Eine flächendifferenzierende, quantitative Ausweisung bzw. Abgrenzung von Risikogebieten auf der Basis von Monitoringdaten bzw. von Erhebungsuntersuchungen dürfte im Moment für Unterböden in Deutschland deshalb schwierig sein. Auch die aktuelle Untersuchung von Lebert (2010), in der Daten aus Monitoringprogrammen der Bundesländer ausgewertet wurden, gibt nur eine erste grobe Einschätzung über den bundesweiten „Status“. Nach dieser Auswertung wären die Unterböden landwirtschaftlich genutzter Flächen in großen Regionen im Westen von Schleswig-Holstein, im Süden Niedersachsens, im Osten Sachsens, großen Teilen von Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern gekennzeichnet durch „ungünstigen“<sup>1</sup> bzw. „sehr ungünstigen“ Gefügestand, bundesweit würde dies für 46 % der Ackerflächen gelten. Für einzelne Bundesländer (Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz) ergab die Auswertung fast flächendeckend einen „ungünstigen“ bzw. „sehr ungünstigen“ Gefügestand. Dies ist eine Größenordnung, die zumindest für Hessen, z. B. durch die Ergebnisse von Profilaufnahmen auf Acker- und Grünlandstandorten [ca. 1000 für den Zeitraum 2000 bis 2010] nicht belegt werden kann. Auch hätte solch ein weit verbreiteter ungünstiger Gefügestand in den angeführten Bundesländern sich deutlich auf die Ertragsbildung der landwirtschaftlichen Kulturen auswirken müssen. Hierzu liegen den Autoren aber keine Erkenntnisse vor.

Im Hinblick auf Europa ist die Situation ähnlich. Umfangreiche repräsentative Messungen zum Zustand des Unterbodengefüges für einzelne Mitgliedsstaaten der Europäischen Union liegen, soweit uns bekannt, ebenfalls nicht vor. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen WBGU (2009) sowie Kuhlman et al. (2010). Es finden sich im Prinzip nur Aussagen mit flächenbezogenen Schätzungen und

diese stammen aus der Publikation von Oldemann et al. (1991). Die beiden ebenfalls häufig zitierten Arbeiten von van Lynden (1993) und von Fraters (1996) zitieren wiederum selbst die Ergebnisse von Oldemann et al. (1991) oder aber beschreiben die Verdichtungsgefährdung der Unterböden aber nicht den Status. Der Kenntnisstand über den Gefügestand der Unterböden in Europa ist für quantitative flächenrepräsentative Aussagen extrem gering. Eine Auswertung der in Übersicht 1 angeführten Literatur ergab, dass im Grunde für kein Land der Europäischen Union flächendeckende, regional differenzierende Aussagen zum Zustand des Unterbodengefüges möglich sind. Der quantitative Ansatz zur Ausweisung von Risikogebieten (Eckelmann et al., 2006) dürfte deshalb zurzeit nur bedingt möglich sein.

Jüngere Publikationen der letzten Jahre zitieren i. d. R. die älteren Angaben aus der Fachliteratur und liefern keine neuen Ergebnisse auf Basis von Messungen. Auch in den aktuellen Publikationen für einzelne Mitgliedsstaaten (England, Dänemark, Österreich, Niederlande), die sich gezielt mit der Thematik „Ausweisung von Risikogebieten“ (risk areas) auseinandersetzen, finden sich keine flächen deckenden Aussagen zum tatsächlichen Status der Bodenverdichtung, insbesondere des Unterbodens (s. Übersicht 1).

In der internationalen Fachliteratur ist es allerdings unbestritten Konsens, dass Bodenverdichtungen, vor allem des Unterbodens, die Bodenfunktionen nachhaltig beeinträchtigen und im Sinne der Vorsorge unbedingt zu vermeiden sind, zumal sie nicht bzw. nur mit immensem Aufwand regenerierbar sind. Ein gravierendes Problem sei zudem der Mangel an Daten zur Ausprägung und Verbreitung der Unterbodenverdichtung in Europa.

<sup>1</sup> „sehr ungünstig“: effektive Lagerungsdichte  $\geq 1,8$ ; LK ( $> 50 \mu\text{m}$ )  $< 5$  Vol.-%; kf  $< 10$  cm/d; „ungünstig“: effektive Lagerungsdichte  $1,7 - < 1,8$ ; LK ( $> 50 \mu\text{m}$ )  $5 - < 7$  Vol.-%; kf  $10 - < 40$  cm/d

## Übersicht 1:

## Angaben zum Status der Unterbodenverdichtung der Böden in Europa

| Autor                 | Jahr | Region               | Methode / Projekt                 | Klassen | Angaben der degradierten Fläche in % oder ha bzw. die in der Publikation angeführte Literatur  |
|-----------------------|------|----------------------|-----------------------------------|---------|--|
| Oldemann et al.       | 1991 | weltweit             | expertengestützt<br>GLASOD        | 4       | <b>Klassifizierung: insgesamt 33 Mill. ha</b><br><b>1. light:</b> The terrain has somewhat reduced agricultural suitability, but is suitable for use in local farming systems. Restoration to full productivity is possible by modifications of the management system. Original biotic functions are still largely intact. (24.8 Mill ha)<br><b>2. moderate:</b> The terrain has greatly reduced agricultural productivity but is still suitable for use in local farming systems. Major improvements are required to restore productivity. Original biotic functions are partially destroyed. (7,8 Mill. ha)<br><b>3. strong:</b> The terrain is non reclaimable at farm level. Major engineering works are required for terrain restoration. Original biotic functions are largely destroyed. (0,4 Mill. ha)<br><b>4. extreme:</b> The terrain is irreclaimable and beyond restoration. Original biotic functions are fully destroyed. |
| van Lynden            | 1993 |                      |                                   |         | Oldemann et al. (1991)<br>Zitat: „Physical deterioration is significant, in particular compaction (90 % of all physical deterioration) poses problems in at least 15 % of all degraded soils in Europe“.   |
| Soane & van Ouwerkerk | 1995 | Europa<br>und Afrika |                                   |         | Oldemann et al. (1991) sowie van Lynden (1993)   |
| EEA                   | 1995 |                      |                                   |         | Oldemann et al. (1991) sowie van Lynden (1993)   |
| Fraters               | 1996 | Europa               | expertengestützt<br>vulnerability | 3       | generalisierte Bodenkarte von Europa (!) mit 11 Einheiten<br>Vulnerability: 18 % der Fläche moderate; 32 % der Fläche high   |
| Werner et al.         | 1997 | Deutsch-<br>land     | expertengestützt                  |         | Zitat: „Verbreitung von Schadverdichtungen in Deutschland: auf den besonders verdichtungsempfindlichen mischkörnigen humusarmen Sandböden reichen die Schadverdichtungen auf 50 bis 70 % der Ackerfläche bis in ca. 60 cm Bodentiefe. Auf Löß- und Verwitterungsstandorten mit Böden höherer Gefügestabilität liegt die mittlere Verformungstiefe bei ca. 40 cm. Die betroffene Fläche beträgt etwa 10 bis 20 % bei ausgeprägter Konzentration auf die Feldrandbereiche (Wendezonen, Abfahrtrassen)“.  |
| EUA                   | 1998 |                      |                                   |         | van Lynden (1993)<br>Zitat EUA: „Der Verlust an organischer Substanz und die damit einhergehende Degradation der Bodenstruktur begünstigen in starkem Maße die Bodenverdichtung. Dies ist die in Europa am weitesten verbreitete Form der physikalischen Degradierung von der etwa 90 % der Gesamtfläche betroffen sind“.  |
| Soane & van Ouwerkerk | 1998 | Europa               |                                   |         | Ursachen der Verdichtung; keine Angaben zu Status  |
| Lawrence              | 1999 | Europa               |                                   | k. A.   | EEA (1995)   |
| Berlie et al.         | 1999 | Schweiz              |                                   |         | Literaturauswertung<br>Zitat: „10 bis 15 % of agricultural soils were overcompacted“.  |
| Chamen & Spoor        | 1999 | England<br>and Wales |                                   |         | Literaturauswertung<br>Zitat: „eine flächendeckende Aussage sei nicht möglich“.  |
| Horn & Wiermann       | 1999 | weltweit             |                                   |         | Oldemann (1991), Soane & van Ouwerkerk (1994)<br>Zitat: „Oldemann 1991 and Soane & van Ouwerkerk 1994 have intensely pointed out that about 20 % of total soil degradation in the world can be defined as induced by soil compaction, while even only in Europe about 33 Mha of arable land are already completely devastated by non-site-specific wheeling and tillage processes“.  |

## Fortsetzung Übersicht 1

| Autor                          | Jahr | Region                         | Methode / Projekt  | Klassen | Angaben der degradierten Fläche in % oder ha bzw. die in der Publikation angeführte Literatur  |
|--------------------------------|------|--------------------------------|--|---------|--|
| van Lynden                     | 2000 | Central and Eastern Europe (!) | expertengestützt   | 5       | 62 Mill. ha bzw. 11 % der Gesamtfläche   |
| van den Akker & Canarache      | 2001 | Europa                         |  |         | van Lynden (1993), Soane & van Ouwerkerk (1995), Fraters (1996)  |
| EUA                            | 2002 | Europa                         | nicht thematisiert   |         | Bodenverdichtung nicht thematisiert  |
| COM (2002)179 Final            | 2002 | Europa                         | expertengestützt   |         | zitiert Daten aus „United Nations Environment Programme and International Soil Reference and Information Centre 1992 GLASOD-Projekt“<br>Europaweit fast 4 % der Böden durch Verdichtung geschädigt; genaue Angaben seien jedoch nicht verfügbar  |
| EEA                            | 2003 | Europa                         | Karte der physikalischen Boden-degradation in Europa von 1993<br>Quelle: ISRIC |         | Karte; Quelle van Lynden (1993)  |
| Imeson et al.                  | 2004 | Europa                         |  |         | Oldemann (1991)  |
| Crescimanno et al.             | 2004 | Europa                         |  |         | Fraters (1996)<br>Zitat: „no precise data are available“.  |
| Görlach et al.                 | 2004 | Europa                         |  |         | Oldemann et al. (1991), van Lynden (1993), EEA (1995), EUA (1998)<br>Zwischenberichte des ENVASSO-Projektes  |
| Roemkens & Oenema              | 2004 | Niederlande                    |  |         | Zitat abstract: „There is some evidence that soil compaction and especially subsoil compaction is increasing in scale and extent, but there is as yet little quantitative information“.  |
| van den Akker                  | 2004 | Niederlande                    |  |         | Zitat abstract: „... is no empirical information about the scale, extent and seriousness of soil compaction in practice“.  |
| defra                          | 2004 | England                        |  |         | keine flächenbezogenen Angaben zum Status  |
| European Commission            | 2005 | Europa                         |  | k. A.   | 25 Mill. ha deemed to be lightly compacted, 36 Mill. ha were more severely effected  |
| Lebert & Schäfer               | 2005 | Niedersachsen                  | Vorbelastung Gefügeuntersuchung  | k. A.   | keine flächenbezogenen Angaben zum Status  |
| le Bas et al.                  | 2006 | Europa                         |  | k. A.   | keine flächenbezogenen Angaben zum Status  |
| EC – European Commission (231) | 2006 | Europa                         |  |         | van Camp (2004), Crescimanno (2004), van Ouwerkerk & Soane (1995)<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 % der Fläche der EU – 33 Mill. ha;</li> <li>• 36 % der Unterböden: „high oder very high susceptibility“</li> <li>• 32 % der Böden „being highly vulnerable“ and „18 % moderatly affected“</li> </ul> |
| Lebert & Schäfer               | 2007 | Niedersachsen                  | Vorbelastung Gefügeuntersuchung  | k. A.   | Karte der Risikogebiete auf Basis der BÜK 50<br>keine flächenbezogenen Angaben zum Status  |
| EEA                            | 2007 | Osteuropa                      | expertengestützt   | k. A.   | van Lynden (1993)<br>EECCA Region; Ukraine 40 % der Fläche, Russische Föderation > 25 % der Landwirtschaftsfläche  |
| Heesmans                       | 2007 | Niederlande                    | Übersichtsartikel  |         | Zitat: „There is not much quantitative information about compaction of soils in the Netherlands. There is almost no knowledge of the regional distribution of compaction as such nor is there a clear insight in trends“.  |

## Fortsetzung Übersicht 1

| Autor                                  | Jahr | Region               | Methode / Projekt   | Klassen          | Angaben der degradierten Fläche in % oder ha bzw. die in der Publikation angeführte Literatur  |
|--|------|----------------------|---|------------------|--|
| defra [Project code SID5] final report | 2008 | England and Wales    | Risk of compaction = Vulnerability of the soils + stress factors  | 3                | Grünland<br>Risk of soil compaction map for all areas of grassland [severe 1 %, high 21 %, moderate 60 %]  |
| Lorenz                                 | 2008 | BRD und Bundesländer | Übersichtsartikel Literaturliteraturauswertung  | k. A.            | keine flächenbezogenen Angaben zum Status; Hinweise auf Auswertungen für einzelne Bundesländer;  |
| Brandhuber                             | 2008 | Bayern               | Gefügeuntersuchung für Zeitraum 1995 bis 2003   | k. A.            | Zitat: „Keine Hinweise auf in nennenswertem Umfang schädlich verdichtete Unterböden von Ackerland“.  |
| Montanarella                           | 2008 | Europa               |   |                  | van Camp et al. (2004), Crescimanno et al. (2004), van Ouwerkerk & Soane (1995)  |
| Houskava & Montanarella                | 2008 | Europa               |   |                  | Zitat: „Real status of soil's compaction was not subject of this study because of the lack of actual data and because of non stable character of such threat“.   |
| SoCo-project team                      | 2009 | Europa               |   |                  | van Lynden (1993)  |
| Godwin et al.                          | 2009 | England              |   |                  | keine flächenbezogenen Angaben zum Status  |
| defra                                  | 2009 | England              |   |                  | keine flächenbezogenen Angaben zum Status  |
| Schjønning et al.                      | 2009 | Dänemark             | Systematische Auswertung der aktuellen Forschung in Dänemark  |                  | Zitat: „The degree of compaction of Danish arable soils has not been subjected to systematic monitoring. However, evidence exists that Danish soils generally have dense parts in the soil profile that can be related to the compaction effect of machinery“.   |
| Murer                                  | 2009 | Österreich           | Vorbelastung [Schätzung nach DIN 19688; 30 bis 35 cm Tiefe]   | 5                | Zitat: „Mehr als die Hälfte der landwirtschaftlich genutzten Böden Österreichs besitzt eine hohe bis sehr hohe Vorbelastung, etwa ein Drittel besitzt eine mittlere Vorbelastung und ca. 10 % der Ackerflächen eine geringe Vorbelastung. Nur zweieinhalb Prozent der in der Landwirtschaft genutzten Böden haben eine sehr geringe potentielle Vorbelastung“. |
| Hack-ten Broeke et al.                 | 2009 | Niederlande          | Vulnerability   | 3                | keine Angaben zum landesweiten Status  |
| van Akker & Hoogland                   | 2009 | Niederlande          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptibility</li> <li>• Vulnerability</li> <li>• Compression strength</li> <li>• Maximal allowable wheel load</li> <li>• Overcompacted area</li> </ul> | 3<br>3<br>4<br>4 | Karte 1:250.000 Bodenkarte der Niederlande<br>Schätzung Zitat: „If the map with estimated overcompacted subsoils is really true, the about 50 % of the best and most fertile agricultural soils of the Netherlands have an overcompacted subsoil. This would be a very worrying situation and must be verified“.   |
| Bakker et al.                          | 2010 | Niederlande          |   |                  | keine Angaben zum landesweiten Status  |
| Lebert                                 | 2010 | Deutschland          | Gefügeeigenschaften   | 5                | BÜK 1000 N der BGR bundesweiter Status Gefügeeigenschaften Unterböden Acker - Flächenanteil: ungünstig 38 %; sehr ungünstig 8 %  |

### 3 Schätzung der Verdichtungsempfindlichkeit – expertengestützt bzw. auf Basis von Pedotransferfunktionen und Modellen

Da eine Ausweisung von Risikogebieten auf Grund von Messdaten in vielen Ländern kaum möglich sein dürfte, bleibt die Möglichkeit, sie expertengestützt unter Berücksichtigung der in der BSRRL angeführten Kriterien oder durch den Einsatz von Modellen flächenhaft auszugrenzen und darzustellen.

In den letzten Jahren wurden bereits mehrere Ansätze zur Schätzung der Verdichtungsempfindlichkeit (susceptibility) der Unterböden, zur Befahrbarkeit, zur Tragfähigkeit, zur Vorbelastung, zur Abschätzung der Zeiträume mit günstigem Wasserhaushalt im Unterboden während der Phasen der Bodenbearbeitung sowie zur Verdichtungsgefährdung (vulnerability) der Unterböden entwickelt. Eine vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Ansätze, vor allem in Hinblick auf ihre Eignung zur Ausweisung von Risikogebieten, steht allerdings noch aus. Übersicht 2 gibt eine Beschreibung welche Ansätze den Autoren bekannt sind. Eine Validierung der Verfahren im Sinne der Vorgaben der BSRRL ist uns aber bisher für keinen dieser Ansätze bekannt.

Die Zusammenstellung der Übersicht 2 zeigt, dass seit Mitte der 90er Jahre eine Vielzahl von Ansätzen vorgestellt wurden, mit denen verdichtungsgefährdete Regionen in Europa ausgewiesen werden könnten. Aus heutiger Sicht dürften sich allerdings grundsätzlich nur diejenigen Ansätze durchsetzen, welche zumindest die drei wesentlichen, die Bodenverdichtung bestimmenden, Größen berücksichtigen (Le Bas et al., 2006, van den Akker & Simota, o. J.). Hierbei handelt es sich um:

- a) die Intensität der mechanischen Beanspruchung auf den Boden (bestimmt u. a. durch die Art der Nutzung, die eingesetzte Technik und die Intensität der Bewirtschaftung),
- b) die Bodeneigenschaften (u. a. den aktuellen Gefügestand, die Ausprägung bereits vorhandener Verdichtungen, der Standortwasserhaushalt, die Stabilität des Bodens gegenüber zusätzlichen mechanischen Belastungen)
- c) das lokale Klima (Dauer von Phasen mit ungünstigem Wasserhaushalt) zu den verschiedenen Zeitpunkten einer mechanischen Beanspruchung (Bestellung, Pflege, Ernte) des Bodens.

Mit den Arbeiten von Le Bas et al. (2006), Jones et al. (2008) sowie Lebert (2010) liegen erste methodische Ansätze vor, Gebiete auszuweisen, in denen ungünstige Bodeneigenschaften in Kombination mit ungünstigen klimatischen Bedingungen eine Beeinträchtigung der Bodenfunktionen hervorrufen könnten. Für eine Ausweisung von Risikogebieten müssten diese Grundlagen aber

noch mit Informationen zur bewirtschaftungsbedingten mechanischen Beanspruchung der Unterböden in diesen Regionen verknüpft werden. Dieses ist sinnvoll, da eine Vielzahl von Vorsorgemaßnahmen zum Schutz des Bodengefüges gerade eine Minimierung bzw. günstige Verteilung der mechanischen Bodenbelastung zum Ziel hat. Für die meisten Regionen dürften aber die dafür benötigten Informationen kaum verfügbar sein. Selbst wenn für potenzielle Risikogebiete die benötigten Daten in ausreichender Qualität vorliegen würden, dürfte die alleinige Verknüpfung dieser Daten mittels Modellen oder Pedotransferfunktionen sehr wahrscheinlich nicht ausreichen, Risikogebiete im Sinne der BSRRL auszuweisen. Gemäß der BSRRL müssten nämlich „stichhaltige Beweise vorliegen oder ein begründeter Verdacht bestehen, dass eine Verschlechterung der Bodenqualität durch Verdichtung eingetreten ist bzw. in naher Zukunft eintreten könnte“ (COM(2006) 232 final).

Stichhaltige Beweise wären entsprechende repräsentative Messdaten mit regionaler und nicht nur lokaler Gültigkeit. Die liegen aber für größere zusammenhängende Gebiete mit unterschiedlichen Böden nicht vor. Blicke die Herleitung eines „begründeten Verdachts“ durch den Einsatz von Modellen. Diese wiederum wären gemäß der BSRRL an unabhängigen Daten zu validieren. Letzteres wurde aber nach Kenntnis der Autoren für die in Übersicht 2 angeführten Ansätze für größere regionale Einheiten bisher ebenfalls nicht durchgeführt.

## Übersicht 2:

Verfahren zur Ausweisung von Verdichtungsempfindlichkeit bzw. Verdichtungsgefährdung der Unterböden ackerbaulich genutzter Standorte

| Autor                   | Jahr           | Ansatz   | „Kennwert“   | Parameter  | Klassen  | Region / Karte                                   |
|-------------------------|----------------|--|--|--|--|--|
| Voorhees                | 1987           | expertengestützt   | susceptibility   | Soil and climate data  |  |  |
| Fraters                 | 1996           | expertengestützt   | vulnerability  | General Soil Groups, Bodenklassen  | 4  | Generalisierte Bodenkarte von Europa             |
| van den Akker           | 1997           | Pedotransferfunktionen [Modell] SOCOMO                           | Wheel-load bearing capacity  | Soil strength  | 4<br>10 bis 15 kN, 16 bis 21 kN, 22 bis 27 kN, 28 bis 33 kN; | Bodenkarte der Niederlande 1 : 50.000            |
| Jones et al.            | 2000           | expertengestützt   | vulnerability  | Kreuztabelle susceptibility (4 Klassen) in Verbindung mit Klimadaten (5 Klassen)   |  | Keine Karte                                      |
| Erhard et al.           | 2002           | Pedotransferfunktionen   | Verdichtungsgefährdung   | Kombination aus Vorbelastungsstufe (nach DIN 19688) und Spurflächensumme als Indikator für die mechanische Belastung                               | 5<br>nominal   | BÜK 1000 der BGR                                 |
| Jones                   | 2002           | expertengestützt   | susceptibility   | Kreuztabelle Körnung (nach FAO (5 Klassen)) in Verbindung mit effektiver Lagerungsdichte (3 Klassen)   | 4  | Karte European Soil Database                     |
| Jones et al.            | 2003           | expertengestützt   | inherent susceptibility  | Kreuztabelle Körnung (nach FAO (5 Klassen)) in Verbindung mit effektiver Lagerungsdichte (3 Klassen)   | 4<br>low 20 %<br>moderate 44 %<br>high 28 %<br>very high 9 % | Bodenkarte von Europa<br>30 Referenzbodengruppen |
| Jones et al.            | 2003           | expertengestützt   | vulnerability  | Kreuztabelle susceptibility (4 Klassen) in Verbindung mit Klimadaten (5 Klassen)   | 4  | Keine Karte                                      |
| Jones et al.            | 2004           | expertengestützt   | susceptibility   |  |  | Bodenkarte von Europa<br>30 Referenzbodengruppen |
| Horn et al.             | 2005           | Pedotransferfunktionen [Modell]                                  | Vorbelastung   | Vorbelastung   | 5  | BÜK 1000 der BGR                                 |
| le Bas                  | 2006           |  | Risk assessment  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stress characterisation</li> <li>• Soil sensitivity</li> <li>• Period of critical soil wetness</li> </ul> |  |  |
| Varallyay               | 2006           | k. A.  | susceptibility   | k. A.  | 5  | Bodenkarte von Ungarn                            |
| van den Akker & Simota  | o. J.          | Pedotransferfunktionen [Modell] SIDASS                           | Vorbelastung   | Vorbelastung   | 5  |  |
| Houskova & Montanarella | 2008a<br>2008b | expertengestützt<br>Pedotransferfunktionen<br>Verknüpfungsregeln | natural susceptibility of soils to compaction [agricultural soils] | Referenzbodengruppe, Textur, Wasserhaushalt, Nutzung, Durchwurzelbarkeit   | 4  | Bodenkarte von Europa<br>30 Referenzbodengruppen |
| Jones et al.            | 2008           | ENVASSO V  | Inherent susceptibility  | Kreuztabelle Körnung (nach FAO (5 Klassen)) in Verbindung mit effektiver Lagerungsdichte (3 Klassen)   | 4  | keine Karte, nur Methodenbeschreibung            |
| Jones et al.            | 2008           | ENVASSO V  | vulnerability  | Kreuztabelle susceptibility (4 Klassen) in Verbindung mit Klimadaten (5 Klassen)   | 4  | keine Karte, nur Methodenbeschreibung            |

## Fortsetzung Übersicht 2

| Autor              | Jahr         | Ansatz                          | „Kennwert“                            | Parameter  | Klassen | Region / Karte     |
|--------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|---------|--------------------|
| Lebert             | 2008         | Pedotransferfunktionen [Modell] | Verdichtungsempfindlichkeit           | Kehrwert der Vorbelastung                                    | 5       | BÜK 1000 N der BGR |
| Lebert & Marahrens | 2009<br>2010 | Pedotransferfunktionen [Modell] | susceptibility                        | Kehrwert der Vorbelastung                                    | 5       | BÜK 1000 N der BGR |
| Lebert & Marahrens | 2009<br>2010 | Pedotransferfunktionen [Modell] | vulnerability                         | Kreuztabelle aus susceptibility und Gefügestand              | 5       | BÜK 1000 N der BGR |
| Lebert             | 2010         | Pedotransferfunktionen [Modell] | „Tatsächliche Verdichtungsgefährdung“ | Kreuztabelle aus Verdichtungsempfindlichkeit und Gefügestand | 5       | BÜK 1000 N der BGR |

## 4 Zusammenfassung

So wie sich die Situation für Deutschland im Moment darstellt, dürfte es für größere Regionen nur sehr schwer gelingen, ein „Risikogebiet Bodenverdichtung“ gemäß den Vorgaben der BSRRL auszuweisen. Da im Prinzip aber jeder Boden verdichtungsempfindlich ist und eine entsprechende Faktorenkonstellation in jedem Boden eine nachhaltige Beeinträchtigung der Funktionen durch Bodenverdichtung hervorrufen kann, sollte im Moment der Schwerpunkt vor allem auf die Vorsorge gegen Bodenverdichtung gelegt werden, z. B. durch eine entsprechende Präzisierung der „Guten fachlichen Praxis“. Weiterhin sollte dafür Sorge getragen werden, dass bodenschonende Bewirtschaftungsverfahren nicht nur erforscht und entwickelt werden, sondern durch den gezielten Einsatz staatlicher Fördermittel auch eine weite Verbreitung in der Praxis finden. Externe Kosten, die als Folge unsachgemäßer Bodenbewirtschaftung anfallen, sollten gemäß dem Verursacherprinzip tatsächlich den Pflichtigen in Rechnung gestellt werden. Geht es um die Bündelung von Maßnahmen in zusammenhängenden Regionen, dann bietet theoretisch §21 des BBodSchG bereits jetzt entsprechende Möglichkeiten. Hiervon müssten die Bundesländer allerdings Gebrauch machen.

## 5 Literatur:

Bakker G, Hack-ten Broeke MJD, de Vries F, van den Akker JH (2010) Basismateriaal voor eventuele prioritare gebieden : quick scan voor Drenthe [online]. Zu finden in <<http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterra-rapporten/AlterraRapport1964.pdf>> [zitiert am 14.12.2010]

Berli M, Weisskopf P, Schulin R (1999) Subsoil compaction of agricultural soils : a review of research in Switzerland. In: Van den Akker JH, Arvidsson J, Horn R (eds) Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Community : proceedings of the workshop of the Concerted Action "Experiences with the impact of subsoil compaction on soil, crop growth and environment and ways to prevent subsoil compaction", 28.–30 May 1998, Wageningen, the Netherlands. Wageningen : DLO-Staring Centre, pp 56-63

Brandhuber R (2008) Status der Bodenverdichtung in Bayern. In: Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf : Tagungsband zur Fachveranstaltung von ILU, GKB und KTBL am 5. und 8. Dezember 2007 in Bonn. Bonn : Inst Landwirtsch Umwelt, SchrR Inst Landwirtsch Umwelt 15:47-56

Chamen WCT, Spoor G (1999) Subsoil compaction in England and Wales. In: Van den Akker JH, Arvidsson J, Horn R (eds) Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Community : proceedings of the workshop of the Concerted Action "Experiences with the impact of subsoil compaction on soil, crop growth and environment and ways to prevent subsoil compaction", 28.–30 May 1998, Wageningen, The Netherlands. Wageningen : DLO-Staring Centre, pp 77-85

COM – European Commission (2002) Towards a thematic strategy for soil protection : COM(2002)179 final [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=com:2002:0179:FIN:EN:PDF>> [zitiert am 27.01.2011]

COM - European Commission (2005) Key Threats to soil in Europe - Compaction. In: Soil Atlas of Europe [Online]. Zu finden in <[http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/projects/soil\\_atlas/download.cfm?myID=115](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/projects/soil_atlas/download.cfm?myID=115)> [zitiert am 28.01.2011]

COM - European Commission (2006a) Thematic strategy for soil protection : COM(2006)231 final [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0231:FIN:EN:PDF>> [zitiert am 16.12.2010]

COM - European Commission (2006b) Proposal for a directive of the European parliament and the council establishing a framework for the protection of soil and amending directive 2004/35/EC : COM(2006)232 final [online]. Zu finden in <[http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com\\_2006\\_0232\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0232_en.pdf)> [zitiert am 16.12.2010]

Crescimanno G, Lane M, Owens PN, Rydel B, Jacobsen OH, Düwel O, Böken H, Berenyi-Úveges J, Castillo V, Imeson A (2004) Links with organic matter and contamination working group and secondary soil threats [online]. Zu finden in <<http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/vol2.pdf>> [zitiert am 14.12.2010]

defra – Department for Environment, Food and Rural Affairs (2004) The First Soil Action Plan for England : 2004-2006 [online]. Zu finden in <<http://web.archive.nationalarchives.gov.uk/20081023133800/http://www.defra.gov.uk/environment/land/soil/pdf/soilactionplan.pdf>> [zitiert am 14.12.2010]

defra – Department for Environment, Food and Rural Affairs (2008) Scoping study to assess soil compaction affecting upland and lowland grassland in England and Wales [online]. Zu finden in <<http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&ProjectID=14699&FromSearch=Y&Publisher=1&SearchText=bd2304&SortString=ProjectCode&SortOrder=Asc&Paging=10>> [zitiert am 14.12.2010]



- defra – Department for Environment, Food and Rural Affairs (2009) Safeguarding our soils : a strategy for England [online]. Zu finden in <<http://www.defra.gov.uk/environment/quality/land/soil/documents/soil-strategy.pdf>> [zitiert am 16.12.2010]
- Eckelmann W, Baritz R, Bialousz S, Bielek P, Carre F, Houskova B, Jones RJA, Kibblewhite M, Kozak J, Le Bas C, Toth G, Toth T, Varallyay G, Halla MY, Zupan M (2006) Common criteria for risk area identification according to soil threats. Luxembourg : Off Official Publ European Communities, 94 p, European Soil Bureau Research Report 20, EUR 22185 EN
- EEA – European Environment Agency (1995) Soil. In: Europe's environment : the DOBRIS- assessment ; chapter 7 [online]. Zu finden in <<http://www.eea.europa.eu/publications/92-826-5409-5/page007new.html>> [zitiert am 16.12.2010]
- EEA - European Environment Agency (2003) Soil degradation. In: Europe's environment : the third assessment ; chapter 9. [online]. Zu finden in <[http://www.eea.europa.eu/publications/environmental\\_assessment\\_report\\_2003\\_10/kiiev\\_chapt\\_09.pdf](http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_assessment_report_2003_10/kiiev_chapt_09.pdf)> [zitiert am 16.12.2010]
- EEA – European Environment Agency (2007) Soil. In: Europe's environment : the fourth assessment ; chapter 2.4 [online]. Zu finden in <[http://www.eea.europa.eu/publications/state\\_of\\_environment\\_report\\_2007\\_1/chapter2.pdf](http://www.eea.europa.eu/publications/state_of_environment_report_2007_1/chapter2.pdf)> [zitiert am 16.12.2010]
- Erhard M, Everink C, Christian J, Kreins P, Sietz D, Meyer J (2002) Bundesweite Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Agrarstatistikdaten und aktuellen Daten zur Bodennutzung [online]. Zu finden in <<http://www.umwelt-daten.de/publikationen/fpdf-l/2237.pdf>> [zitiert am 14.12.2010]
- EUA – Europäische Umweltagentur (1998) Die Umwelt in Europa : der zweite Lagebericht ; Bodendegradation (Kapitel 11) [online]. Zu finden in <<http://www.eea.europa.eu/de/publications/92-828-3351-8/11de.pdf>> [zitiert am 16.12.2010]
- EUA – Europäische Umweltagentur (2002) Auf dem Boden der Tatsachen : Bodendegradationen und nachhaltige Entwicklung in Europa [online]. Zu finden in <[http://www.eea.europa.eu/de/publications/Environmental\\_issue\\_series\\_16](http://www.eea.europa.eu/de/publications/Environmental_issue_series_16)> [zitiert am 16.12.2010]
- Fraters B (1996) Generalized soil map of Europe : aggregation of the FAO–Unesco soil units based on the characteristics determining the vulnerability to degradation processes [online]. Zu finden in <<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/481505006.pdf>> [zitiert am 14.12.2010]
- Godwin R, Spoor G, Finney B, Hann M, Davies B (2009) The current status of soil and water management in England [online]. Zu finden in <<http://www.rase.org.uk/what-we-do/publications/Soils-Full-Report.pdf>> [zitiert am 14.12.2010]
- Görlach B, Landgrebe-Trinkunaite R, Interwies E (2004) Assessing the economic impacts of soil degradation : final report ; vol I: Literature review [online]. Zu finden in <[http://ecologic.eu/download/projekte/1950-1999/1962/1962\\_soil\\_economics\\_1\\_lit\\_review.pdf](http://ecologic.eu/download/projekte/1950-1999/1962/1962_soil_economics_1_lit_review.pdf)> [zitiert am 14.12.2010]
- Hack-ten Broeke MJD, van Beek CL, Hoogland T, Knotters M, Mol-Dijkstra JP, Schils RLM, Smit A, de Vries F (2010) Kaderrichtlijn bodem : basismateriaal voor eventuele prioritäre gebieden [online]. Zu finden in <<http://edepot.wur.nl/137524>> [zitiert am 14.12.2010]
- Heesmans H (2007) Bibliography on current risk assessments in EU [online]. Zu finden in <<http://www.ramsoil.eu/NR/rdonlyres/92E3BE6B-5CE9-48E3-A9C3-4D62F1E45CDC/43250/PR11BibliographyonCurrentRiskAssessmentsinEU.pdf>> [zitiert am 16.12.2010]
- Horn R, Wiermann C (1999) Input parameters for soil mechanical properties : theory and first approach. In: Van den Akker JH, Arvidsson J, Horn R (eds) Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Community : proceedings of the workshop of the Concerted Action "Experiences with the impact of subsoil compaction on soil, crop growth and environment and ways to prevent subsoil compaction", 28.–30 May 1998, Wageningen, the Netherlands. Wageningen : DLO-Staring Centre, pp 132-155
- Horn R, Fleige H, Richter FH, Czyz EA, Dexter A, Diaz-Pereira E, Dumitru E, Enarache R, Mayol F, Rajkai K, de la Rosa D, Simota C (2005) SIDASS project Part 5: Prediction of mechanical strength of arable soils and its effects on physical properties at various map scales. Soil Tillage Res 82:47–56
- Houšková B, Montanarella L (2008) The natural susceptibility of European soils to compaction. In: Toth G, Montanarella L, Rusco E (eds) Threats to soil quality in Europe. Luxembourg : Off Official Publ European Communities, pp 23-35, JRC scientific and technical reports
- Houšková B, Montanarella L (2008b) The Natural Susceptibility of European Soils to Compaction [online]. Zu finden in <<http://eusoiils.jrc.it/events/Conferences/Eurosoil2008/WS4%209.20%20Montanarella.pdf>> [zitiert am 27.01.2011]
- Imeson A, Ritsema C, Hessel R (2004) Research for erosion, compaction, floods and landslides. In: Van-Camp L, Bujarrabal B, Gentile A-R, Jones RJA, Montanarella L, Olazabal C, Selvaradjou S-K (eds) Reports of the technical working groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Luxembourg : Off Official Publ European Communities, pp 725–740, EUR 21319 EN/6
- Jones RJA, Spoor G, Thomasson AJ (2000) Assessing the vulnerability of subsoils to compaction. Rapporteur Jordbearbetningsavdelningen, Sveriges lantbruksuniversitet, 100:160-172
- Jones RJA (2002) Assessing the vulnerability of soil to degradation. In: Paglai M, Jones RJA (eds) Sustainable land management – environmental protection : a soil physical approach. Reiskirchen : Catena Verl, Adv in Geol 35: 33-44
- Jones RJA, Spoor G, Thomasson AJ (2003) Vulnerability of subsoils in Europe to compaction : a preliminary analysis. Soil Tillage Res 73:131–143
- Jones RJA, Verheijen FGA, Reuter HI, Jones AR (eds) (2008) Environmental assessment of soil for monitoring : vol V: Procedures and protocols [online]. Zu finden in <[http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/projects/Envasso/documents/ENV\\_Vol-V\\_Final2\\_web.pdf](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/projects/Envasso/documents/ENV_Vol-V_Final2_web.pdf)> [zitiert am 15.12.2010]
- Kuhlmann T, Reinhard S, Gaaff A (2010) Estimating the cost and benefits of soil conservation in Europe. Land Use Policy 27:22–32
- Lawrence DG (1999) Aspects of soil protection as seen by the European Commission. In: Kraemer RA (ed) Soil protection policies within the European Union : workshop, 9-11 December 1998, Bonn, Germany. Bonn : Fed Ministry Environment, pp 345–366
- Le Bas C, Houskova B, Bialousz S, Bielek P (2006) Soil compaction : identifying risk areas for soil degradation in Europe by compaction. In: Eckelmann W, Baritz R, Bialousz S, Bielek P, Carre F, Houskova B, Jones RJA, Kibblewhite M, Kozak J, Le Bas C, Toth G, Toth T, Varallyay G, Hall MY Zypan, M (eds) Common criteria for risk area identification according to soil threats. Luxembourg : Off Official Publ European Communities, pp 35-42, Europ Soil Bureau Res Rep 20, EUR 22185 EN
- Lebert M (2008) Herleitung und Darstellung der potenziellen, mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit für Unterböden von Ackerflächen der Bundesrepublik Deutschland : Zwischenergebnisse aus dem UBA-Vorhaben: „Entwicklung eines Prüfkonzeptes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden“ FKZ 3707 71 202 – Entwurf [online]. Zu finden in <[http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/boden/downloads/verdichtung\\_bericht.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/boden/downloads/verdichtung_bericht.pdf)> [zitiert 16.01.2010]
- Lebert M (2010) Entwicklung eines Prüfkonzeptes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden [online]. Zu finden in <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4027.pdf>> [zitiert am 15.12.2010]
- Lebert M, Schäfer W (2005) Verdichtungsgefährdung niedersächsischer Ackerböden. Bodenschutz 2:42–46
- Lebert M, Schäfer W (2007) Vorstellung eines Regionalisierungsschlüssels zur Ausweisung von Risikoflächen für Bodenverdichtungen im Maßstab 1 : 50.000 Mitt Dt Bodenkdl Ges 110(2): 507-508
- Lebert M, Marahrens S (2009) Risk area identification according to soil compaction of agricultural soils in Germany : proceedings of the ISTRO 18th Triennial Conference held in Izmir, Turkey, June 15 – 19, 2009, T4-013 [online]. Zu finden in <[http://iworx5.webextra.net/~istroorg/p\\_frame.htm](http://iworx5.webextra.net/~istroorg/p_frame.htm)> [zitiert am 28.11.2010]
- Lebert M, Marahrens S (2010) Ausweisung von Risikoflächen für Unterbodenverdichtungen. Tagungsband / Marktreidwitzer Bodenschutztag 6:218–224
- Lee YH (2006) Probleme des nachhaltigen Bodenschutzes in Europa : Entwicklung, Eckpunkte, Stand der Diskussion und Perspektiven. In: Lee YH, Bückmann W (eds) Europäischer Bodenschutz : Schlüsselfragen des nachhaltigen Bodenschutzes. Berlin : Univ-Verl der TU, pp 15–66

- Lorenz M (2008) Status der Bodenverdichtung auf niedersächsischen Ackerböden und eine Übersicht der Verhältnisse in Deutschland. *SchR Inst Landwirtsch Umwelt* 15:57-70
- Montanarella L (2008) Current problems in soil protection in Europe. In: Lee YH, Bückmann W (eds) *Europäischer Bodenschutz : Schlüsselfragen des nachhaltigen Bodenschutzes*. Berlin : Univ-Verl der TU, pp 67-80
- Murer E (2009) Bericht über die Überprüfung der Anwendbarkeit von Modellen zur Beurteilung der Bodenverdichtung. Petzenkirchen : Inst Kulturtechn Bodenwasserhaushalt, 35 p
- Oldemann LR, Hakkeling RTA, Sombroek WG (1991) World map of the status of human induced soil degradation : an explanatory note. Wageningen : Internat Soil Reference Inform Centre, 34 p
- Römkens PFAM, Oenema O (eds) (2004) Quick scan soils in the Netherlands : overview of the soil status with reference to the forthcoming EU Soil Strategy. Wageningen : Alterra, Alterra-Rapport 948
- Schjønning P, Heckrath GJ, Christensen BT (2009) Threats to soil quality in Denmark : a review of existing knowledge in the context of the EU soil thematic strategy. Tjele : Aarhus Univ, Fac Agric Sci, 121 p
- Soane BD, van Ouwerkerk C (1995) Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil Tillage Res* 35(1-2):5-22
- Soane BD, Van Ouwerkerk C (1998) Soil compaction : a global threat to sustainable land use. *Adv Geol* 31(I):517-525
- SoCo Project Team (2009) Addressing soil degradation in EU agriculture : relevant processes, practices and policies : report on the project „Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo) [online]. Zu finden in <<http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/EUR-23767-web.pdf>> [zitiert am 16.12.2010]
- Van-Camp L, Bujarrabal B, Gentile A-R, Jones RJA, Montanarella L, Olazabal C, Selvaradjou S-K (eds) (2004) Reports of the technical working groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Luxembourg : Off Official Publ European Communities, 179 p, EUR 21319 EN/6
- Van den Akker JH (1997) Construction of a wheel-load bearing capacity map of the Netherlands : Proceedings of the ISTRO 14th Conference held in Pulawy, Poland, July 27 – August 1, 1997, *Bibliotheca Fragmenta Agromonica* : vol 2A/97: 15-18
- Van den Akker JH (2004) Soil compaction. In: Römkens PFAM, Oenema O (eds) *Quick scan soils in the Netherlands : overview of the soil status with reference to the forthcoming EU Soil Strategy* [online]. Zu finden in <<http://webdocs.alterra.wur.nl/pdf/alterraRapporten/rapport%20948.pdf>> [zitiert am 16.12.2010], pp 77–80
- Van den Akker JH, Canarache C (2001) Two European concerted actions on subsoil compaction. *Landnutzung Landentwicl* 42(1):15-22
- Van den Akker JH, Simota C (o.J.) **Risk assessment methods of compaction : RAM-SOIL** project report 2.3, deliverable 2.3.2.5 [online]. Zu finden in <[http://www.ramsoil.eu/NR/rdonlyres/9179FD01-072A-449C-8EE4-CE1DC33DFF76/56724/PR23\\_compaction.pdf](http://www.ramsoil.eu/NR/rdonlyres/9179FD01-072A-449C-8EE4-CE1DC33DFF76/56724/PR23_compaction.pdf)> Abfrage 03.08.2009> [zitiert am 16.12.2010]
- Van den Akker JH, Hoogland T (2004) Comparison of risk assessment methods to determine the subsoil compaction risk of agricultural soils in the Netherlands : proceedings of the ISTRO 18th Triennial Conference held in Izmir, Turkey, June 15 – 19, 2009, T4–31 [online]. Zu finden in <[http://iworx5.webextra.net/~istroorg/p\\_frame.htm](http://iworx5.webextra.net/~istroorg/p_frame.htm)> [zitiert am 28.11.2010]
- Van Lynden GWJ (1993) The European soil resource : current status of soil degradation causes impacts and need for action. Strasbourg : Council of Europe Pr, 93 p, *Nature Environment* 71
- Van Lynden GWJ (2000) Soil degradation in Central and Eastern Europe : the assessment of the status of human-induced degradation (ver. 1.0) [online]. Zu finden in <[http://www.isric.org/ISRIC/WebDocs/Docs/SOVEUR\\_Rep2000\\_05.PDF](http://www.isric.org/ISRIC/WebDocs/Docs/SOVEUR_Rep2000_05.PDF)> [zitiert am 16.12.2010]
- Varallyay G (2006) Salinisation, Soil compaction, Soil sealing. In: Micheli E, Panagos P, Jones, AR, Montanarella, L (eds) *3rd European Summer School on Soil Survey*. Luxembourg : Off Official Publ European Communities EUR 22193 EN Chapter 6 12 p
- Voorhees WB (1987) Assessment of soil susceptibility to compaction using soil and climatic data bases. *Soil Tillage Res* 10:29–38
- Vorderbrügge T (1999) Regelungen und Informationsgrundlagen zum Bodenschutz in Europa. In: Beudt J (ed) *Präventiver Grundwasser- und Bodenschutz : europäische und nationale Vorgaben*. Berlin : Springer, pp 1-20
- WBGU (1993) *Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen : Jahresgutachten 1993*. Bonn : Economica Verl, 224 p
- WBGU (1994) *Die Gefährdung der Böden : Jahresgutachten 1994*. Bonn : Economica Verl, 278 p
- WBGU (2009) *Welt im Wandel : zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung*. Berlin : WBGU, 388 p
- Werner D, Petelkau H, Brandhuber R (1997) Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden und Lösungsansätze zum Bodengefügeschutz : Positionspapier der Fachgruppe Bodenspezialisten der Bundesländer im VDLUFA. Darmstadt, 12 p