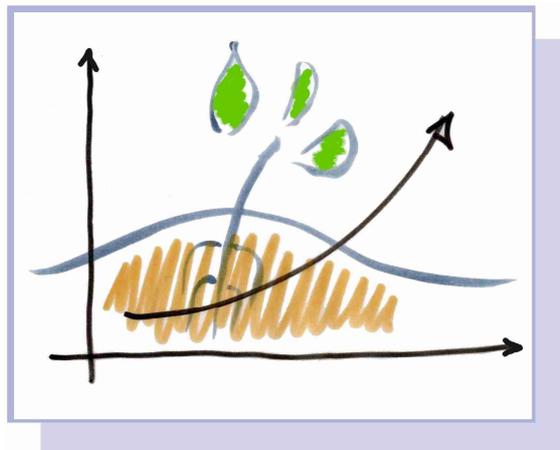


# Qualitative Bodenbeurteilung zur Erhaltung der Bodenfunktionen für Produktion, Gewässerschutz und Hochwasservermeidung

Andrea Beste



Büro für Bodenschutz  
und  
Ökologische Agrarkultur

## **Der Zustand unserer Böden**

Die Zunahme von verheerenden Hochwässern und die verminderte Grundwasserqualität sind heute viel diskutierte Probleme. Es werden hohe Investitionen in Überschwemmungsschutz, Erosionsschutz, und eine aufwendige Wasseraufbereitung getätigt. Genauso wichtig ist es aber, die verminderte Wasseraufnahme-, Speicher- und Filterfähigkeit unserer land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden als Ursache zu behandeln. Unsere Böden müssen mit zunehmender Technisierung immer höheren Druckbelastungen stand halten. Das Befahren mit immer schwereren Ackergeräten verdichtet den Boden. Die starke Orientierung an marktwirtschaftlichen Terminen führt außerdem dazu, dass der Acker auch unter ungünstigen Gefügebedingungen befahren wird. Die Ursachen für die zunehmende Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden liegen aber nicht nur im technischen Bereich. In vielen Fällen ist ein stark reduziertes Bodenleben oder der Mangel an organischer Substanz der Grund für die geringe Fähigkeit des Bodens, nach der mechanischen Lockerung ein ausgeglichenes Porensystem aufrechterhalten zu können.<sup>1</sup> Als Folge sind die ökologischen Bodenfunktionen Lebensraum-, Regelungs- und Produktionsfunktion heute stark gestört. Dem Bodenschutz - integriert in eine nachhaltig umweltverträgliche Landwirtschaft - muss mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dafür müssen wir den Zustand der Bodenfunktionen kennen. Wir müssen wissen, wie wir diesen in der Praxis nachhaltig positiv unterstützen können als Voraussetzung für die Erhaltung der Bodenfunktionen und eine nachhaltig produktive Landwirtschaft. In diesem Sinne wird für die Einhaltung der „guten fachlichen Praxis“ im Standpunktpapier des BMVEL<sup>2</sup> zum § 17 des Bundesbodenschutzgesetzes eine „*sorgfältige Beurteilung des Gefüges*“ gefordert.

Die in Zusammenarbeit mit dem Projekt Ökologische Bodenbearbeitung (PÖB) im Rahmen einer Dissertation\* an der Justus-Liebig Universität Gießen entwickelte Erweiterte Spatendiagnose (ESD) ist eine viel versprechende Methode zur Bodenbeurteilung. Die für die Methodenkombination der ESD entwickelte Gefügebonitur und der einfache Aggregatstabilitätstest haben sich in den letzten Jahren in zahlreichen Analysen in Europa und Asien für Forschungszwecke und Beraterdemonstrationen bewährt.<sup>3</sup> Ihr größter Vorteil – besonders der Gefügebonitur - ist, dass sie kombiniert mit der GÖRBING-Spatendiagnose auch vom Landwirt selbst vorgenommen werden können. Die Methoden sind ausführlich in BESTE (2003 a) und BESTE et al. (2001) beschrieben. Die Zusammenfassung der Ergebnisse der Dissertation findet sich in LPP (2002) und als PDF-Download unter [www.gesunde-erde.net](http://www.gesunde-erde.net). Trainingsseminare und Beratung zu den Themen landwirtschaftlicher Bodenschutz, GÖRBING-Spatendiagnose und ESD sowie die qualitative Strukturanalyse bietet das *Büro für Bodenschutz und Ökologische Agrarkultur (BBÖA)*, Mainz. Auf EU-Ebene sind im Rahmen des SCAPE-Projektes<sup>4</sup> Richtlinien für die Empfehlung von Bodenuntersuchungsmethoden (*Guidelines for soil assessment*) in Planung, die die Aufnahme von Bodendaten erleichtern und vereinheitlichen sollen. Eine *Guideline* zur weiterentwickelten Spatendiagnose als einfacher, praxisnaher Methode ist in Zusammenarbeit mit dem BBÖA in Vorbereitung.

## Richtwerte zur Bodenbeurteilung

Die Diskussion über fehlende Bestimmungen und Grenzwerte des Bodenschutzes zur Konkretisierung der „guten fachlichen Praxis“ steht gerade beim Thema Bodenverdichtung schon seit längerem im Mittelpunkt der Auseinandersetzung mit dem Bodenschutzrecht in Deutschland. Die Festlegung von Grenzwerten setzt voraus, dass diese durch entsprechende Messungen auch überprüft werden können. Gerade bei dem Problem der Bodenschadverdichtung sind derartig einsetzbare Messtechniken flächendeckend bisher noch nicht im Angebot. Bodenindikatoren sollen vor allem dazu dienen, die Nachhaltigkeit des Umgangs mit der Ressource Boden zu analysieren und zu bewerten. Im Zuge der Diskussion darüber zeigt sich immer wieder, dass die Definitionen und Auffassungen verschiedener Fachdisziplinen hinsichtlich der Bodenindikatoren vielfältig und unterschiedlich sind. Je nach Fragestellung der Untersuchung sind unterschiedliche Indikatoren auch notwendig und sinnvoll.

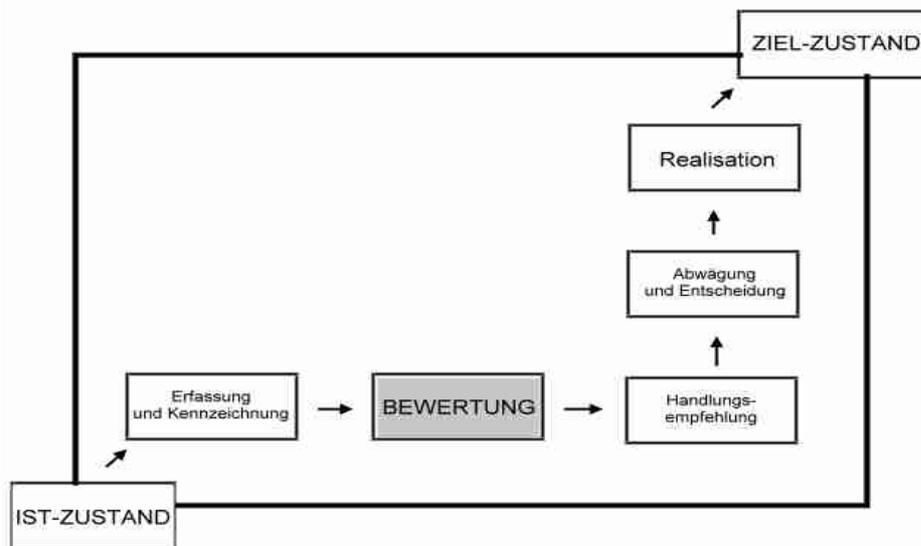
Hauptaugenmerk im Hinblick auf die heute im landwirtschaftlichen Bereich häufigsten Symptome der Bodenzerstörung wie

- Erosion,
- Häufung von Hochwasserereignissen,
- Verdichtung,
- Rückgang der Grund- und Oberflächengewässerqualität,
- Rückgang Bodenfruchtbarkeit,
- Schwächung der Pflanzengesundheit und
- Anstieg des Dünge- und Pflanzenschutzmittelaufwandes,<sup>5</sup>

sollte auf dem Zustand des *Bodengefüges* liegen. Nährstoffverfügbarkeit, Wasserhaushalt, Humusgehalt, Organismenaktivität und -vielfalt stehen mit ihm in komplexer Wechselbeziehung und damit die Erosionsgefährdung, die Befahrbarkeit, die Pflanzenernährung und -gesundheit, die Ertragsbildung sowie die Grund- und Oberflächengewässerqualität und die Hochwassergefährdung. Ist das Gefüge unserer Böden in gutem Zustand, so verringern sich die beschriebenen Symptome, die unsere Produktions- und Lebensqualität bedrohen entschieden und es lassen sich hohe gesellschaftliche Kosten einsparen.<sup>6</sup> Als Indikator für ein nachhaltiges Bodenmanagement macht es also Sinn sich auf das Bodengefüge zu konzentrieren. Die gute Eignung einer Gefügeuntersuchung für die Beurteilung von Bewirtschaftungsmaßnahmen, die auch im Standpunktpapier des BMVEL gefordert wird, ist wiederholt dokumentiert und benannt worden.<sup>7</sup>

Für eine einheitliche Bewertung des Bodenzustands und eine Ausrichtung zukünftiger Maßnahmen sind *Zielwerte* ausschlaggebend. Einerseits geben sie klare Vorgaben für den Zustand, der angestrebt werden soll und damit für die Handlungsebene, andererseits ist eine *bewertende* Einschätzung des *Ist-Zustands* ohne die Definition eines *Soll-Zustands* oder *Richtwerts* nicht möglich<sup>8</sup> (vgl. Abb. 1 und Abb. 2). TURIAN fordert sowohl *Sollwerte* als auch *Belastungswerte* um eine sichere Bewertung vornehmen zu können.

Bei der Recherche nach einem geeigneten Indikator oder Zielwert trifft man in der Literatur auf den in der bäuerlichen Praxis geprägten Begriff der „*Bodengare*“. Er stand lange Zeit für den optimalen Gefügestand eines produktiven Bodens und war landwirtschaftlicher Beurteilungsmaßstab.<sup>9</sup>



**Abb. 1: Einordnung der Bodenbewertung in den Planungs- und Handlungsablauf**

(BESTE verändert nach GLÖSS 1997)

SEKERA versteht unter „Bodengare“ die „Lebendverbauung der Krümelstruktur durch die bodenständigen Mikroorganismen“.<sup>10</sup> Das „Schwammgefüge“ kommt den Merkmalen der Bodengare am nächsten und wird von der Mehrheit der Bodenwissenschaftler als der „ökologisch optimale“<sup>11</sup> Gefügestand bezeichnet, der angestrebt werden soll. Das „Schwammgefüge“ ist für die Balance der ökologischen Bodenfunktionen Lebensraum-, Regelungs- und Produktionsfunktion besonders förderlich. In diesem Gefügestand erreichen Böden ihre höchsten Fruchtbarkeitseigenschaften. Viele Forschungsarbeiten bestätigen, dass Bodenstruktur und Produktivität in engem Zusammenhang stehen. Jeder eingesetzte Dünger wird bei guter Bodenstruktur besser für die Pflanzenernährung aufbereitet als bei einer verdichteten. Natürlich fällt dieser als optimal beschriebene Zustand der Bodenstruktur bei unterschiedlichen Böden unterschiedlich aus. Sandböden bilden eine andere Bodenstruktur aus als Lehm- oder Tonböden. Das interessante und ausschlaggebende ist jedoch, dass sich sowohl bei Sandböden als auch bei Lehm- und Tonböden im Falle guter Humusversorgung und hoher biologischer Aktivität die Struktur immer in Richtung einer zunehmenden Aggregatbildung mit schwammartiger Ausprägung bewegt.<sup>12</sup> Das heißt das „Schwammgefüge“ stellt einen optimalen Zielwert dar, der für die überwiegende Anzahl der unter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung stehenden Böden verwendbar ist (Einschränkungen bestehen bei Torfböden oder stark steinigen Böden).

### **Aktueller Gefügestand**

Die Nähe oder Ferne zum Zustand des „Schwammgefüges“ lässt sich bisher in seinen Einzelausprägungen nicht quantifizieren. Einfachen physikalischen Methoden zur Gefügestandbeurteilung wie

- Messung der Lagerungsdichte oder des Porenvolumens und
- Messung des Eindringwiderstandes

ist gemein, dass sie sich vornehmlich auf die Summen-Quantifizierung der Hohlräume oder die Beschreibung der Dichtlagerung konzentrieren. Diese Parameter geben zur Ermittlung von Schadverdichtungen oder auch Pflugsohlen Anhaltspunkte. Den Unterschied zwischen dem Vorhandensein eines schwammartigen Aggregatgefüges oder eines dichten Gefüges

mit vielen Grobporen können sie aber gar nicht oder nur sehr eingeschränkt abbilden.<sup>13</sup> Innere Aggregatverdichtungen werden von beiden Methoden nicht aufgedeckt. Komplexere Methoden zur Gefügebeurteilung wie die

- Porengrößenverteilung nach (RICHARDS in SCHLICHTING et al. 1995),
- Digitale Bildanalyse (WILKENS 1992),
- Röntgenmorphologische Untersuchungen (WERNER 1993),
- Computertomographische Untersuchungen (ROGASIK et al. 1995) oder
- Dünnschliffbonitur (ALTEMÜLLER 1991)

sind sehr aufwendig in der Durchführung, zeigen das Gefüge nicht in seiner aktuellen Lagerung vor Ort und geben keine *Richtwerte* für eine Bewertung. Bodenbiologische Untersuchungen (z.B. Bodenatmung oder Artenzusammensetzung) sind ebenfalls sehr aufwendig und liefern auch keine Bewertungsmaßstäbe und *Richtwerte* für das Gefüge oder die Bodenfunktionen.<sup>14</sup> Gefügebonituren am Bodenaushub stellen eine relativ schnelle, einfache und gleichzeitig umfassende Methode dar, den Zustand des Bodens zu erfassen. Bisher entwickelte Beurteilungsansätze stellten meist eine Vereinfachung der Gefügeansprache nach der bodenkundlichen Kartieranleitung der AG BODEN (1994) oder der Gefügebeschreibung nach MÜCKENHAUSEN (1993) dar.<sup>15</sup> Die Gefügebonitur nach BESTE differenziert den einfachen Ansatz von DIEZ, in dem die jeweils wesentlichen Aspekte von positiven und negativen Gefügeständen, sehr einfach formuliert, mit „günstig“ und „ungünstig“ bewertet werden. Die Krümelung des Bodens ist auch in der Beurteilung nach DIEZ zentraler Beurteilungsfaktor. Die Bonitur nach BESTE beruht auf neuesten Erkenntnissen über die Bodenfunktionen und wurde in PÖB auf ihre Aussagekraft getestet und für lehmige, sandige und tonige Böden vorgestellt.<sup>16</sup>

	<b>Beschreibung des Optimal-Zustands</b>	<b>5</b>
		<b>4</b>
<b>z.B. Oberkrume</b>	↑ Übergangsbereiche ↓	<b>3</b>
		<b>2</b>
	<b>Beschreibung des Negativ-Zustands</b>	<b>1</b>

**Abb. 2: Prinzip der Gefügebonitur nach BESTE**

Sie zeigt eine Gliederung in praxisübliche Bearbeitungshorizonte (Oberkrume, Unterkrume und Unterboden, vgl. Abb. 2). Für jeden Horizont bestehen verbal kurz beschriebene Vergleichsbilder, welchen eindeutig wertende Noten entsprechend der folgenden Beurteilungsskala zugeordnet sind:

**5** ⇒      **4** ⇒      **3** ⇒      **2** ⇒      **1**  
 optimaler Gefügestand / *Sollwert*                      ökologische Funktionsfähigkeit gestört / *Belastungswert*

Dabei entfernen sich die Wertmaßstäbe von der Oberkrume zum Unterboden hin von der Forderung eines besonders lockeren, porösen Gefüges. Die vertikale Maßstabsänderung

orientiert sich an der natürlichen Bodenstratigraphie und der Horizontierung der charakteristischen Lebensräume von Bodenbiozöosen im Boden, die sich mit der Verfügbarkeit von Luft, Licht und Nährstoffen nach unten hin verändern.<sup>17</sup>

Diese neu entwickelte Gefügebonitur bietet folgende Vorteile:

- Die Bonitur ist Bodenartspezifisch (für Ton-, Lehm-, und Sandböden).
- Der Soll-Zustand oder Richtwert (jeweils die Note 5) legt den Schwerpunkt auf morphologische Merkmale, die eine möglichst hohe biologische Aktivität, eine gute Regelungsfunktion und eine optimale Produktionsfunktion signalisieren.
- Die Beurteilung des Gefügestands erfolgt nicht über die Quantifizierung physikalisch-räumlicher Parameter (z.B. Porenanzahl und -größe, Anzahl Regenwurmröhren), sondern über das Abweichen des Ist-Zustandes vom Soll-Zustand (*Richtwert*). Dies lässt eine schnellere bewertende Einordnung zu als einzelne Werte.
- Merkmalsvorgaben vereinfachen die Einordnung zu oder zwischen dem Soll-Zustand und Belastungs-Zustand und erleichtern die Entscheidung auch bei geringer fachlicher Vorbildung.
- Das Ergebnis ist eine Note und damit statistisch verrechenbar.

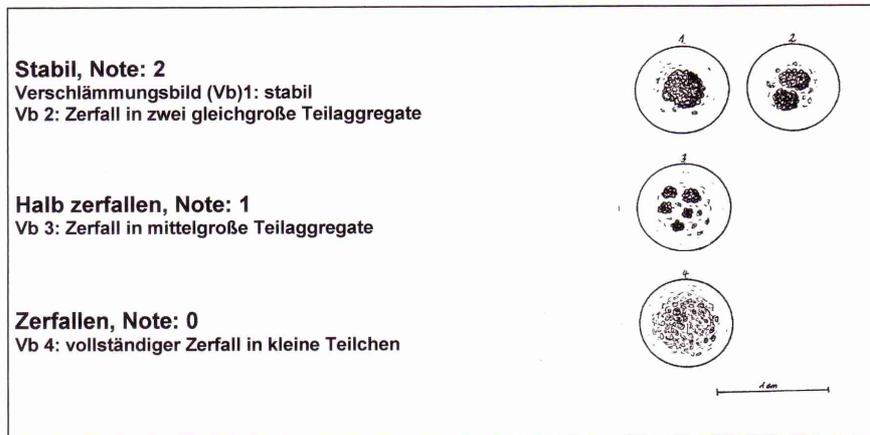
### **Anfälligkeit für Erosion und Verdichtung**

Nicht nur die sichtbare Ausprägung der Gefügequalität ist wichtig, sondern es ist von großer Bedeutung, ob der Boden erosions- und verdichtungsanfällig ist und ob er befahrbar ist. Das heißt, wie beständig und widerstandsfähig die Struktur ist. Laut SEKERA/BRUNNER und KULLMANN<sup>18</sup> beinhaltet die Beurteilung der „*Bodengare*“ neben der Überprüfung des statischen Zustandes auch die Überprüfung der „*Krümelbeständigkeit*“, d.h. der Aggregatstabilität, die den dynamischen Aspekt des Bodenzustandes beschreibt. Die Stabilität des Gefüges – bzw. seiner Aggregate - lässt sich optisch nicht überprüfen. Daher gehört zu einer umfassenden Beurteilung des Gefügestands auch die Messung der Aggregatstabilität. Als Abbildung natürlicher Vorgänge im Boden ist vor allem die Stabilität gegenüber Wasser wichtig (Regen, Versickerung). Sie ist entscheidend für die Anfälligkeit eines Bodens gegenüber äußerer und innerer Erosion sowie Verdichtung. Die Aggregatstabilität wurde daher in zahlreichen alten und neuen Forschungsarbeiten zum landwirtschaftlichen Bodenschutz als Indikator für Erosionsanfälligkeit, Verdichtungsanfälligkeit oder biologische Aktivität herangezogen.<sup>19</sup> Der von BESTE vorgestellte Test der Aggregatstabilität stellt eine schematisierte Weiterentwicklung des Aggregatverschlammungstests nach der SEKERA/BRUNNER-Methode<sup>20</sup> dar. Der Verschlammungstest wurde von BESTE durch die Entwicklung einer Zerfallsbonitur mit Zerfallsbildern für Lehm-, Sand-, und Tonböden standardisiert. Im Vergleich zu den heute überwiegend durchgeführten Methoden der Aggregatstabilitätsmessung, wie

- Nass-Siebung (DE LEENHEER/DE BOODT 1954, KEMPER/ROSENAU 1986, SCHLICHTING /BLUME 1995),
- Perkolationsmethode (SEKERA/BRUNNER 1943, BECHER/KAINZ 1983),
- Ultraschalldiagnostik (TIPPKÖTTER 1993)

die aufwendige Versuchsapparaturen und eine intensive Probenvorbehandlung und damit eine hohe Gefahr der Verfälschung (z.B. durch Vortrocknung) beinhalten, bietet die "Verschlammungs-Methode" mit Zerfallsbonitur (vgl. Abb. 3) folgende Vorteile:

- Geringe Probenbehandlung, geringe Verfälschungsgefahr,
- Einfachheit in der Anwendung,
- Geringer Zeitbedarf,
- Unmittelbare Begreifbarkeit bei der Ergebnisvermittlung



**Abb. 3: Zerfallsbonitur des Aggregatstabilitätstests nach BESTE (hier für Sandböden)**

Eine Beurteilung der funktionsökologischen Qualität der Aggregatstabilität kann aufgrund der Möglichkeit einer verdichtungsbedingt hohen Aggregatstabilität nur im Zusammenhang mit der Gefügebeurteilung vorgenommen werden. Dies gilt für alle Methoden der Aggregatstabilitätsmessung.<sup>21</sup>

*Kontakt:*

*Dr. Andrea Beste,  
Büro für Bodenschutz und Ökologische Agrarkultur  
Osteinstrasse 14  
55118 Mainz  
[a.beste@t-online.de](mailto:a.beste@t-online.de)  
[www.gesunde-erde.net](http://www.gesunde-erde.net)*



*1990 bis 1996 Studium der Diplomgeographie mit dem Schwerpunkt „standortgerechter Landbau in den Tropen“ in Mainz. 1996 bis 1997 wissenschaftliche Mitarbeiterin und 1998 bis 2000 Leitung des Schwerpunktes „Schulung und Fortbildung im Bodenschutz“ im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung (PÖB) der Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL), Bad Dürkheim und der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz (LPP), Rheinland-Pfalz. Promotion in Agrarwissenschaften an der Justus Liebig Universität Giessen. 2001 Gründung des Büro für Bodenschutz und Ökologische Agrarkultur, unabhängiges Büro für Analyse, Beratung und Fortbildung in den Bereichen Bodenschutz, Naturschutz und Regionale Vermarktung.*

\*Die Forschungsarbeit wurde gefördert von der Gregor Louisoder Umweltsiftung ([www.umweltstiftung.com](http://www.umweltstiftung.com)).

- <sup>1</sup> UBA (2005): Hintergrundinformation. Bodenschutz in der Europäischen Union voranbringen.  
BESTE (2005): Landwirtschaftlicher Bodenschutz in der Praxis. Grundlagen, Analyse, Management. Berlin  
OVERESCH, M. (2003): Humusversorgung von ackerbaulich genutzten Dauerflächen in Niedersachsen. = ISPA Band21. Vechta  
BUCHNER, W. (2004): Bodengefüge im Rahmen der Fruchtfolge stabilisieren. In: Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung – Umweltwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. = Texte 35/04 Umweltbundesamt, Berlin  
SCHNUG, E. und HANEKLAUS, S. (2002): Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden: Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz. FAL, Landbauforschung Völknerode 52  
BREDEMEIER, M. und SCHULTE-BISPING, H. (2001): Crucial Aspects in Global Sustainable Soil Management. In: Proceedings of Sustainable Landuse Management - The Challenge of Ecosystem Protection, International Conference, Kiel  
SAUERBECK, D. (1992): Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit 4, Humushaushalt. BMELF (Hg.), Hamburg, Berlin
- <sup>2</sup> BMVEL (2001): Standpunktpapier zur Definition „gute fachliche Praxis“ im Bundesbodenschutzgesetz
- <sup>3</sup> u.a:  
BESTE, A. (2004 a): Untersuchungen zum ökologischen Bodenzustand ausgewählter landwirtschaftlicher Nutzflächen des westlichen Münsterlandes mit Hilfe der qualitativen Strukturanalyse, Teil 2. Im Auftrag von UNILEVER/ IGLO-Langnese, unveröffentlicht  
BESTE, A. (2004 b): Pflugsohlenuntersuchung Holthausen. Im Auftrag von UNILEVER/ IGLO-Langnese, unveröffentlicht  
BESTE, A. (2004 c): Vorsorgender Erosionsschutz im Ackerbau - Förderung der Lebendverbauung durch Fruchtfolge, organische Düngung und angepasste Bodenbearbeitungstechnik. In "local land and soil news", the bulletin of the European Land and Soil Alliance (ELSEA) e.V., "Erosion and Landslide - When Soil is moving away" 10/11, 04  
BESTE, A. (2004 d): Extended Spade Diagnosis for a complex evaluation of soil conditions. In "local land and soil news", the bulletin of the European Land and Soil Alliance (ELSEA) e.V., "Erosion and Landslide - When Soil is moving away" 10/11, 04  
BESTE, A. (2003 a): Erweiterte Spatendiagnose. Weiterentwicklung und Erprobung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung. Dissertation Universität Gießen, Verlag Dr. Köster, Berlin  
BESTE, A. (2003 b): Untersuchungen zum ökologischen Bodenzustand ausgewählter landwirtschaftlicher Nutzflächen des westlichen Münsterlandes mit Hilfe der qualitativen Strukturanalyse, Teil 1. Im Auftrag von UNILEVER/ IGLO-Langnese, unveröffentlicht  
BESTE, A. (2002 b): Weiterentwicklung und Erprobung der Spatendiagnose als Feldmethode zur Bestimmung ökologisch wichtiger Gefügeeigenschaften landwirtschaftlich genutzter Böden. Ergebnisse 1996-1998. In: LPP (Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz) (Hg.): Bodenbearbeitung und Bodengesundheit. Zwischenergebnisse im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung. Mainz  
BESTE, A. et al. (2001): Bodenschutz in der Landwirtschaft. Einfache Bodenbeurteilung für Praxis, Beratung und Forschung.  
BESTE, A. (1998 b): Extended Spade Diagnosis. In: Sustainable Land Management. Guidelines for Impact Monitoring. Centre for Development and Environment (cde), Bern (CH) & Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (Hg.), Eschborn.  
RAJALA, J. (2002): Lapiodiagnoosin käyttö maan rakenteen arvioinnissa. [= Use of Spade Diagnosis in the Evaluation of Soil Structure] In: Maan rakenteen hoito. [= Management of Soil Structure]. National Finnish Institute of Agroconsulting, Helsinki, Finland  
ROELKE, M. (2001): Anleitung zur Spatendiagnose (in chinesischer Sprache), gtz (Hg.), Nanjing
- <sup>4</sup> Soil Conservation and Protection for Europe, [www.scape.org](http://www.scape.org)
- <sup>5</sup> BESTE (2005),  
BRAND-SASSEN, H. (2004): Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft. Dissertation Universität Göttingen
- <sup>6</sup> BESTE (2005)
- <sup>7</sup> u.a. BESTE (2005), BESTE (2004 d), RAJALA (2004 c), BESTE (2003 a).  
HARRACH, T. (1998) Gefügebeurteilung im Gelände insbesondere Bewertung der Packungsdichte und Schätzung der nFK im Wurzelraum. In: Bildungsseminar für die Agrarverwaltung Rheinland-Pfalz (Hg.): Boden und Bodenschutz. Beiträge zum Seminar am 10. und 11. 9. 1998 in Emmelshausen., Mainz  
HAMPL, U. (1995a): Ökologische Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung. SÖL-Sonderausgabe 56, Bad Dürkheim  
HAMPL, U. (1995 b): Beratung zur Umstellung auf Ökologische Bodenbewirtschaftung. Dissertation an der Universität Hohenheim. Hamburg  
KUNTZE, H. et al. (1994): Bodenkunde. Stuttgart.  
HASINGER, G. (1993): Bodenbeurteilung im Feld. Forschungsinstitut für biologischen Landbau. CH, Oberwil  
AID (Hg.) (1992): Bodenschutz und Landwirtschaft  
RENIUS, W., LÜTKE ENTRUP, E., LÜTKE ENTRUP, N. (1992): Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung: ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz. DLG: Frankfurt/M.  
DIEZ, TH. (1991): Beurteilung des Bodengefüges im Feld. Möglichkeiten, Grenzen und ackerbauliche Folgerungen. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit 2, Bodengefüge. BMELF (Hg.), Hamburg und Berlin  
GÖRBING, J.; SEKERA, F. (1947): Die Spatendiagnose - Ziel und Grundlage der zweckmäßigen Bodenbearbeitung. Hannover
- <sup>8</sup> GLÖSS, ST. (1997): Bodenbewertung im Rahmen von Umweltplanungen. In: Hierold W. und R. Schmidt (Hg.): Kennzeichnung und Bewertung von Böden für eine nachhaltige Landschaftsnutzung = ZALF-Bericht 28, Münchenberg  
TURIAN, G. (1993): Forschungs-, Untersuchungs- und Entwicklungsbedarf für wirkungsvollen Bodenschutz aus der Sicht des Vollzuges. In: Mitteilungen DBG 72
- <sup>9</sup> (BESTE 2003 a),  
FRESE, H. (1958): Zur Bildung von Makrogefügetypen im Ackerboden durch atmosphärische Einflüsse. In: Probleme der Krümelstabilitätsmessung und der Krümelbildung. Tagungsbeiträge. Deutsche Akademie für Landwirtschaftswissenschaften (Hg.). Berlin  
SEKERA, F.; BRUNNER, A. (1943): Beiträge zur Methodik der Gareforchung. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 29
- <sup>10</sup> SEKERA, M. (1984): Gesunder und kranker Boden. Graz
- <sup>11</sup> KUNTZE et al. (1994),  
RBS (Robert Bosch Stiftung, Hg.) (1994): Schwäbisch Haller Agrarkolloquium zur Bodennutzung, den Bodenfunktionen und der Bodenfruchtbarkeit. Denkschrift für eine umweltfreundliche Bodennutzung in der Landwirtschaft. Gerlingen
- <sup>12</sup> BESTE (2005), BESTE (2004 a/b, 2003 b, 2003 a, 2001), RAJALA (2004 a),  
GISI, U. (1997): Bodenökologie. Stuttgart, New York  
HAMPL, U. (1996): Gründüngung Grundlage der Bodenfruchtbarkeit. Graz, HAMPL (1995 a/b),  
SCHINNER, F.; SONNLEITNER, R. (1996 a): Bodenökologie 1: Grundlagen, Klima, Vegetation, Bodentyp. Mikrobiologie und Bodenenzymatik. Berlin  
SCHINNER, F.; SONNLEITNER, R. (1996 b): Bodenökologie 2: Bodenbewirtschaftung, Düngung und Rekultivierung. Mikrobiologie und Bodenenzymatik. Berlin
- <sup>13</sup> BESTE (2005, 2003 a),  
ROBERTSON et al. (1999): Standard Soil Methodes for Long-Term Ecological Research. New York, Oxford  
UBA (1998): Maßstäbe bodenschonender landwirtschaftlicher Bodennutzung - Earbeitung von Beurteilungskriterien und Meßparametern als Grundlagen für fachliche Regelungsansätze. Umweltbundesamt (Hg.), Berlin
- <sup>14</sup> ROBERTSON et al. (1999)
- <sup>15</sup> z.B. HARRACH (1998), VDLUFA (1997), MICHEL (1996), HASINGER (1993), DIEZ (1991), HARRACH/VORDERBRÜGGE (1991), WERNER/THÄMERT (1988) – eine ausführliche Literaturliste ist bei der Autorin erhältlich
- <sup>16</sup> BESTE (2003 a)
- <sup>17</sup> GISI (1997), SCHINNER SONNLEITNER (1996 a)
- <sup>18</sup> KULLMANN, A. (1956): Methoden zur Krümelstrukturuntersuchung des Bodens. In: Die deutsche Landwirtschaft 9
- <sup>19</sup> u. a.: BESTE (2003 a), HARTMANN (2002), ROTH (1996), GÄTH (1995), AICHINGER et al. (1995), PORTRATZ (1993), DUCHAFOUR/GAIFFE (1993), KANDELER/MURER (1993), HÖVELMANN/FRANKEN (1992 und 1993), AUERSWALD (1992), GROSS (1992), MULLA (1992), HENK (1989), KEMPER/ROSENAU (1986), OADES (1984), BECHER/KAINZ (1983), TISDALL/OADES (1982), DUTZLER/FRANZ (1977), ASPIRAS (1971), AUFHAMMER (1958), KATSCHINSKY (1958), KULLMANN (1958), CZERATZKI (1957), DE LEENHEER/DEBOODT (1954), SEKERA/BRUNNER (1943), eine Literaturübersicht Stand 1991 findet sich bei ANDERSON (1991), – eine ausführliche Literaturliste ist bei der Autorin erhältlich

---

<sup>20</sup> SEKERA/BRUNNER (1943)

<sup>21</sup> BESTE (2005)