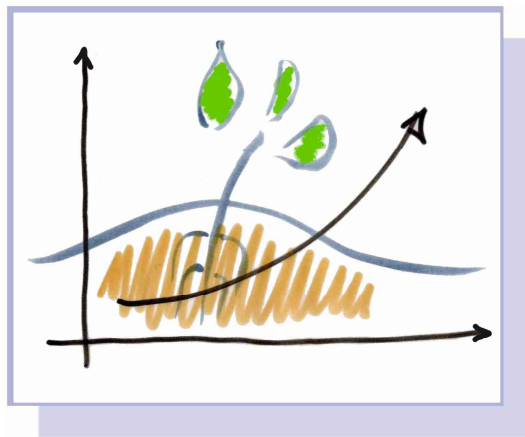


# Gefügeuntersuchungen Bodenbearbeitungsvergleich 2009



Büro für Bodenschutz  
&  
Ökologische Agrarkultur

2009



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>5</b>
1.1	Das FILL Mulchsaat Projekt .....	5
1.2	Die Ressource Boden.....	6
<b>2</b>	<b>QUALITATIVE STRUKTURANALYSE BEURTEILUNGSVERFAHREN UND PROBENAHME .....</b>	<b>7</b>
2.1	Bodenstruktur .....	7
2.2	Aggregatstabilität .....	9
2.3	Bodenfeuchte.....	11
2.4	Statistische Rahmenbedingungen .....	12
<b>3</b>	<b>KOMMENTAR ZU DEN ERGEBNISSEN.....</b>	<b>13</b>
3.1	Strukturqualität - Zusammenfassung.....	13
<b>4</b>	<b>EMPFEHLUNGEN ZUR NACHHALTIGEN BEWIRTSCHAFTUNG .....</b>	<b>13</b>
4.1	Vor und Nachteile sowie Möglichkeiten von Bodenbearbeitungsverfahren.....	13
4.2	Fazit: Bewirtschaftungssystem wichtiger als Bodenbearbeitungstechnik.....	15

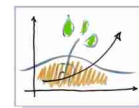
## **ANHANG**

### **Einzelfeldbeurteilung**

Text und Fotos: Andrea Beste

© Büro für Bodenschutz und Ökologische Agrarkultur 2009





# 1 Einleitung

## 1.1 Das FILL Mulchsaat Projekt

Im Jahre 2003 initiierte die FILL - Fördergemeinschaft für Integrierte Landwirtschaft ein Pilotprojekt zum Thema MULCHSAAT und reduzierte Bodenbearbeitung.

Die Grundbodenbearbeitungsvarianten Pflug und reduzierte Bodenbearbeitung sollten durchgehend über 6 Jahre (2003-2009) auf drei verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Bodenarten (Sand, Kies, Ton) in der betriebsüblichen Fruchtfolge verglichen werden. Vor- und Nachteile beider Bodenbearbeitungssysteme sollten beobachtet und festgehalten werden. Dabei wurden folgende Parameter untersucht:

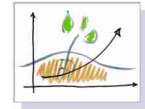
- Bodenschutz (Bodenstrukturqualität, Vermeidung von Verschlammung)
- Erosionsschutz (Aggregatstabilität)
- Auswirkung der Mulchsaat auf Ertrag und Humusbilanz
- Einfluss der Mulchsaat auf Krankheits- und Unkrautdruck
- Kostenminimierung, Rentabilität
- CO<sub>2</sub>-Einsparung bei der Bodenbearbeitung

An dem Projekt beteiligen sich folgende Organisationen:

Organisation/Verwaltung	Mitarbeiter
Agrigestion	Karl Weckbecker
ASTA	Frank Aben Aloyse Puraye Marc Weyland (Vorsitzender)
Herdbuchverband	Rocco Lioy
Landwirtschaftskammer	Klein Gilles (Sekretariat) Guy Steichen
Lycée Technique Agricole	Guy Mirgain Guy Reiland

Die Fruchtfolgen der Versuchspartellen auf den verschiedenen Betrieben sehen wie folgt aus:

	Everlingen (Kieffer/Everlingen)	Heffingen (Sutor/Ermsdorf)	Savelborn (Schmit/Ferme Pletschette)
<b>Größe</b>	2,20 ha	1 ha	1,5 ha
<b>Boden</b>	<b>Kiesel</b>	<b>schwerer Ton</b>	<b>lehmgiger Sand</b>
<b>2003</b>	Silomais	Wintergerste Zwfr. Perko	Silomais
<b>2004</b>	Winterweizen Zwfr. Raygras	Silomais	Silomais
<b>2005</b>	Silomais	Winterweizen	Winterweizen
<b>2006</b>	Winterweizen	Wintergerste	Silomais
<b>2007</b>	Silomais	Silomais	Winterweizen
<b>2008</b>	Winterweizen	Winterweizen	Silomais
<b>2009</b>	Silomais Zwfr. Phacelia/Klee	Silomais	Winterroggen



## 1.2 Die Ressource Boden

Nach wissenschaftlichem Kenntnisstand werden heute fünf Funktionen als wesentlich für einen ausgeglichenen Landschaftshaushalt angesehen. Diese lassen sich laut WBGU (1994), GLÖSS (1997), ISCO (1996), UBA (1998) und De KIMPE/WARKENTIN (1998)<sup>1</sup>, wie folgt definieren:

<b>Lebensraumfunktion:</b>	Lebensraum und -grundlage für Pflanzen und Tiere
<b>Regelungsfunktion:</b>	Filter-, Puffer-, Speicher- und Transformatorfunktion für Wasser, organische und anorganische Stoffe
<b>Produktionsfunktion:</b>	Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln und nachwachsenden Rohstoffen
<b>Trägerfunktion:</b>	Träger von Siedlungen, Verkehr und Entsorgung
<b>Kulturfunktion:</b>	Grundlage menschlicher Geschichte und Kultur

Nach internationaler Auffassung sollten unterschiedliche Formen der Bodennutzung eine Aufrechterhaltung dieser Bodenfunktionen langfristig gewährleisten können, um als nachhaltig zu gelten. Weltweit führen aktuelle Bewirtschaftungspraktiken bei etwa einem Drittel der ackerbaulich genutzten Böden zu Bodendegradation.

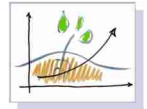
Nach De KIMPE und WARKENTIN (1998) entsteht Bodendegradation dann, wenn die Balance zwischen den Bodenfunktionen unausgeglichen ist. Wichtigste Symptome sind Bodenerosion sowie die chemische, physikalische und biologische Degradation. In den Industrieländern sind die Bodenverdichtung und in deren Folge die Zunahme von Überschwemmungen und eine verminderte Filter- und Speicherwirkung der Böden deutliche Symptome für eine Beeinträchtigung der Bodenfunktionen und beginnende Bodendegradation. Neben der Belastung des Oberflächen- und Grundwassers mit Nitrat und Bioziden verursachen diese Auswirkungen hohe volkswirtschaftliche Kosten.

Für eine langfristige ökologische und ökonomische tragfähige Produktivität müssen daher Bodennutzungssysteme neben der Produktionsfunktion auch die Lebensraum- und die Regelungsfunktion des Bodens vermehrt berücksichtigen. Unter ökologischer Funktionsfähigkeit von Böden ist dann das Vermögen eines Bodens zu verstehen, wichtige Funktionen zur nachhaltigen Sicherung eines gesunden und ertragreichen Pflanzenwachstums sowie zur Gewährleistung eines ökologisch ausgeglichenen Landschaftshaushaltes auch unter menschlicher Nutzung aufrecht zu erhalten<sup>2</sup>.

Für die Landwirtschaft dienen diese Ziele nicht nur der Erfüllung der Auflagen umweltgerechter Bewirtschaftung. Sie dienen in der Summe auch der Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit.

Dieses Potential auf möglichst natürlichem Wege zu unterstützen, für die Produktion effektiv zu nutzen und abhängig vom aktuellem Kenntnisstand so wenig wie möglich negativ zu beeinträchtigen, ist Aufgabe und Herausforderung für eine nachhaltige Landwirtschaft.

Landwirtschaftlich genutzte Böden müssen mit zunehmender Technisierung immer höheren Druckbelastungen standhalten. Das Befahren mit immer größer werdenden Ackergeräten, um große Flächen mit immer weniger Zeitaufwand bearbeiten zu können, verdichtet den Boden. Die bedarfsgerechte Minereraldüngung und der Biozideinsatz erfordern zusätzlich häufiges Befahren. Die Orientierung an Abnahmetermine führt außerdem häufig dazu, dass der Acker auch unter ungünstigen Witterungs- und/oder Gefügebedingungen befahren wird. Die Ursachen für die zunehmende Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden liegen aber nicht nur im technischen Bereich. In vielen Fällen ist ein Mangel an organischer Substanz und in Folge dessen ein stark reduziertes Bodenleben der Grund für die mangelnde Fähigkeit des Bodens, nach der mechanischen



Lockerung ein ausgeglichenes Porensystem aufrechterhalten zu können. Dies gilt besonders für Sandböden mit niedrigem Sorptions- und Austauschvermögen, da sie ohne organisches Material nur über sehr geringe eigene Aggregataufbau-Mechanismen verfügen.

Die Stoffwechselprozesse der Bodenbiologie, bestehend aus Pilzen, Algen, Bakterien und Bodentieren, sind maßgeblich darauf ausgelegt, organisches Material abzubauen. Fehlt organisches Material, können viele Stoffwechselprozesse nicht stattfinden und die dafür „zuständigen“ biologischen Lebensgemeinschaften sterben teilweise oder ganz ab. Durch fehlen organischen Düngers, vereinfachte Fruchtfolgen und das Fehlen der Vegetation über längere Zeiträume nach der Ernte (Schwarzbrache) fehlt dem Boden und den Mikroorganismen organisches Material. Hinzu kommt, dass das Fehlen der schützenden Vegetationsdecke sowohl Wind- als auch Wassererosion begünstigt. Humifiziertes organisches Material, sowie die Aktivität der Mikroorganismen sind beim Aufbau eines stabilen Gefüges von entscheidender Bedeutung. Geht der Anteil an organischem Material sowie der Organismenbesatz zurück, muss zunächst intensiver gelockert werden. Da die mechanische Lockerung jedoch kein stabiles Gefüge erzeugt und wiederum das Bodenleben stört, stellt sich schließlich Bodenverdichtung ein. Die Bodenfunktionen sind gestört, die natürliche Bodenfruchtbarkeit des Bodens geht zurück.



**Abb. 1: Beispiel: Verdichteter Lehm Boden**

Je weniger aber die natürliche Fruchtbarkeit für die Ertragsproduktion genutzt werden kann, desto mehr muss stofflich und technisch von außen zugeführt werden, um den gleichen Ertrag zu erzielen. So wird das natürlich vorhandene Produktionspotenzial des Bodens verringert und muss künstlich ausgeglichen werden. Der Bedarf an mineralischen Düngemitteln und der Energieaufwand zur Lockerung der immer wieder verdichtenden Böden, d.h. die Kosten für den Landwirt steigen. Darüber

hinaus entsteht Bodenverdichtung und Bodenerosion und damit – durch Erosionsschutzmaßnahmen, Belastung der Oberflächengewässer und den steigenden Aufwand bei der Trinkwasseraufbereitung – auch ein enormer Kostenaufwand für die Gesellschaft.

## 2 Qualitative Strukturanalyse Beurteilungsverfahren und Probenahme

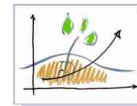
### 2.1 Bodenstruktur

In der Literatur werden verschiedene Definitionen für Bodengefüge oder Bodenstruktur gefunden. Allgemein wird darunter die Art der Anordnung der festen Bodensubstanz im Raum bezeichnet. Man unterscheidet bei dem mit dem Auge sichtbaren Bodengefüge drei Hauptgruppen:

1. Einzelkorngefüge (reiner Sand),
2. Kohärentgefüge (zusammenhängendes Gefüge, Matrix-Beispiel: Nougat) und
3. Aggregatgefüge (zusammengesetzt, Matrix-Beispiel: Popcorn).

Kultivierte Böden weisen in der Regel Mischformen dieser Gefügearten auf.

Eine relativ feinkrümelige Ausprägung des Mischgefüges mit hohem Anteil an Aggregatgefüge wird von der Mehrheit der Bodenwissenschaftler als der „ökologisch optimale“<sup>3</sup> Gefügestand bezeichnet der angestrebt werden soll. In diesem Gefügestand erreichen Böden ihre höchsten Fruchtbarkeitseigenschaften. 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.<sup>4</sup> 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>5</sup>

Bei Sandböden kleben beispielsweise im Falle guter Humusversorgung und hoher biologischer Aktivität Einzelkörner besser aneinander (Aggregatbildung) und die zunächst sehr hohe Infiltrationsleistung und Durchlüftung verschiebt sich zugunsten einer besseren Speicher- und Reinigungsleistung sowie eines für Bodenorganismen besseren Feuchteregimes. Bei allen Böden nimmt die Nährstoffaustauschkapazität und Aggregatstabilität bei guter Humusversorgung und hoher biologischer Aktivität zu.

An der physikalisch-chemischen "Verklebung" von Bodenteilchen wie z. B. bei den Bodenkolloiden sind die Ton-Humus-Komplexe in Lehm- und Tonböden beteiligt. Humuskolloide – und Calciumionen – können aber auch Sandkörner aggregieren. Darüber hinaus versteht man unter Aggregatbildung die biologische Verbauung der Bodenteilchen. Hieran sind organische Substanzen (Humusstoffe), Bodentierausscheidungen (u.a. zuckerhaltige und gelartige), Pilzfäden und Bakterienkolonien sowie Pflanzenwurzeln – besonders Feinwurzeln – beteiligt. In der Regel entstehen dabei poröse, schwammartig aussehende Bodenteilchen. Sie werden meist mit dem Begriff *Krümel* bezeichnet und zeigen abgerundete Kanten, eine rauhe, poröse Oberfläche und brechen oder zerfallen nicht längs vorgebildeter Spalten, sondern in kleinere rundliche und unregelmäßige Teilchen.

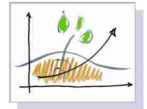
Sandböden haben aufgrund ihrer Textur bei geringer Humusversorgung und reduzierter biologischer Aktivität eine starke Tendenz, zu Einzelkorngefüge zu zerfallen. Obwohl das Einzelkorngefüge sehr locker wirken kann, ist es extrem verdichtungsgefährdet. Ein Sandboden mit nahezu totalem Einzelkorngefüge ist sehr viel stärker verdichtbar als ein Lehm- oder Tonboden, da mit zunehmender Korngröße das Gesamtporenvolumen eines Bodens abnimmt. Neben der Anfälligkeit für starke Verdichtung birgt Einzelkorngefüge auch die Gefahr der starken Nährstoffauswaschung.

Gefügeuntersuchungen müssen soweit wie möglich die biologische Aktivität und Humusdynamik als prägenden Faktor des Gefügestandes und der Gefügestabilität mit berücksichtigen, wenn sie über bodenmechanische Beurteilungsansätze hinausgehen sollen. Einfachen physikalischen Methoden zur Gefügebeurteilung (Lagerungsdichte, Porenvolumen, Eindringwiderstand) ist gemein, dass sie sich vornehmlich auf die Beschreibung der Dichtlagerung oder die Quantifizierung der Hohlräume konzentrieren. Diese Parameter geben Anhaltspunkte zur Ermittlung von Schadverdichtungen. Über das Vorhandensein eines ackerbaulich wertvollen, schwammartigen, biogenen Aggregatgefüges können sie aber nicht Aufschluss geben.

Gefügebonturen am Bodenaushub stellen eine relativ schnelle, einfache und gleichzeitig umfassende Methode dar, den Zustand des Bodens zu erfassen. Die Bonitur nach BESTE beruht auf aktuellen Erkenntnissen über die Bodenfunktionen und wurde in einer umfangreichen Studie auf ihre Aussagekraft getestet und für lehmige, sandige und tonige Böden entwickelt.<sup>6</sup> Sie zeigt eine Gliederung in praxisübliche Bearbeitungshorizonte (Oberkrume, Unterkrume und Unterboden). Für jeden Horizont bestehen verbal kurz beschriebene Vergleichsbilder, welchen eindeutig wertende Noten entsprechend der folgenden Beurteilungsskala zugeordnet sind:

5 ⇒	4 ⇒	3 ⇒	2 ⇒	1
optimaler			<b>Belastungswert</b>	
Gefügestand/ <b>Sollwert</b>		ökologische Funktionsfähigkeit gestört		





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 Bodenbiozönosen im Boden, die sich mit der Verfügbarkeit von Luft, Licht und Nährstoffen nach unten hin verändern. Die Methode hat sich in den letzten Jahren in zahlreichen Analysen in Europa und Asien für Forschungszwecke und Beraterdemonstrationen bewährt.<sup>7</sup> Für das Projekt SCAPE (Soil Conservation And Protection for Europe) der EU wurde vom Büro für Bodenschutz und Ökologische Agrarkultur eine Guideline zur Qualitativen Bodenanalyse erarbeitet. Der größte Vorteil der Methode ist, dass sie in vereinfachter Form auch vom Landwirt selbst vorgenommen werden kann. Die Methode ist ausführlich in BESTE (2003) und BESTE (2008) beschrieben

## 2.2 Aggregatstabilität

Die Stabilität von Aggregaten entscheidet über die Anfälligkeit eines Bodens gegenüber äußerer und innerer Erosion sowie Verdichtung. Aggregate sind separate Bodenkörper, die durch Segregation oder Aggregation aus dem Kohärent- oder Einzelkorngefüge hervorgehen. Bei Sandböden haben wir es überwiegend mit der Aggregation von Einzelkörnern zu größeren Aggregaten zu tun. Beteiligte Prozesse sind zum einen die physikalisch-chemische Zusammenballung von Bodenteilchen. Durch Koagulation, d.h. durch die Ausfällung von Bodenkolloiden, entstehen Mikroaggregate. Ton-Humus-Komplexe spielen dabei eine große Rolle. Desweiteren hängt die Verkittungstendenz vom Kolloidzustand (griechisch: kolla = Leim, anorganische und organische Teilchen mit hohem Sorptions-, und Austauschvermögen) und der Kalzium- und Magnesiumversorgung ab.

Zum anderen versteht man unter Aggregation die biologische Verbauung der Mikroaggregate und größeren Einzelkörner durch Wurzeln, organische Substanzen (auch Humuskolloide), Bodentierexkremete, Pilzhyphen und Ausscheidungssubstanzen (u.a. Polysaccharide) von Bakterienkolonien zu Meso- und Makroaggregaten (vgl. Bodenstruktur

In der Literatur werden verschiedene Definitionen für Bodengefüge oder Bodenstruktur gefunden. Allgemein wird darunter die Art der Anordnung der festen Bodensubstanz im Raum bezeichnet.

Man unterscheidet bei dem mit dem Auge sichtbaren Bodengefüge drei Hauptgruppen:

Einzelkorngefüge (reiner Sand),

Kohärentgefüge (zusammenhängendes Gefüge, Matrix-Beispiel: Nougat) und

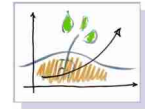
Aggregatgefüge (zusammengesetzt, Matrix-Beispiel: Popcorn).

Kultivierte Böden weisen in der Regel Mischformen dieser Gefügearten auf.). Das Ausmaß der biogenen Stabilisierung von Aggregaten hängt von der Textur, der Belebtheit des Bodens und seiner Humusversorgung ab. Dabei ist zu beachten, dass nicht die absolute Menge an organischer Substanz ausschlaggebend für eine gleichbleibende Stabilität ist, sondern, dass die Zusammensetzung eine ebenso große Rolle spielt.

**Abb. 2: Aggregierung bei Sandböden**  
(zehnfache Vergrößerung, Ø 3mm)



Mit dem Begriff Krümel wird überwiegend die Aggregierungsform der biologischen Verbauung zu Meso- und Makroaggregaten bezeichnet, wenn die Gebilde abgerundete Kanten sowie rauhe, poröse Oberflächen besitzen und nicht längs



**Abb. 3: Aggregierung bei Lehm Böden**  
(zehnfache Vergrößerung, Ø 3mm)

vorgebildeter Spalten aufbrechen, sondern in Mikroaggregate zerfallen, die eine Beschaffenheit ähnlich den Mesoaggregaten aufweisen. Bei Sandböden spricht man eher von Makroaggregaten (vgl. **Abb. 2**). Die typische Krümelform (vgl. **Abb. 3**) ist charakteristischer für lehmige und gut durchwurzelte tonige Böden.

Die Methode des in der Qualitativen Strukturanalyse verwendeten Aggregatstabilitätstests stammt ursprünglich von SEKERA/BRUNNER (1943)<sup>8</sup>. Die Schälchenmethode nach BESTE (2003) stellt eine schematisierte Weiterentwicklung dieser Methode dar.

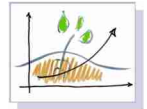
Im Gegensatz zur allgemein üblichen Praxis der Vortrocknung der Aggregate, wird die aktuelle Bodenfeuchte bei dieser Methode beibehalten. Die mit einer Vortrocknung erreichte Nivellierung von Unterschieden stellt zum einen eine Verfälschung des Ausgangszustandes und zum anderen eine Beeinflussung dar, die nicht den natürlichen Belastungen im Feld entspricht. Die Trocknung von Aggregaten kann deutliche Veränderungen des Stabilitätsverhaltens der Aggregate durch Luftsprennung, den Rückgang der Pilzhyphenlänge und der Bakterienzahlen sowie Verluste der biologischen Aktivität nach sich ziehen. Die natürlichen Verhältnisse des Aggregatzustands scheinen also durch Manipulation der Bodenfeuchte stark beeinträchtigt zu werden. Die Proben für die vorliegende Untersuchung wurden daher nicht durch Trocknen auf einen gleichen Feuchtegehalt gebracht, sondern bei aktueller Feuchte untersucht.

Aufgrund der Beeinflussung der Stabilitätseigenschaften von Aggregaten durch Kalzium-, Natrium- oder Chlorionen im Trinkwasser erfolgte die Verschlammung mit destilliertem Wasser.

Im Vergleich zu den heute überwiegend durchgeführten Methoden der Aggregatstabilitätsmessung (z.B. Naßsiebung, Perkolation), die aufwendige Versuchsaapparaturen und eine intensive Probenvorbehandlung voraussetzen, bietet die hier verwendete Methode mit Zerfallsbonitur folgende Vorteile:

- *Geringe Probenbehandlung*
- *Einfachheit in der Anwendung und unmittelbare Begreifbarkeit bei der Ergebnisvermittlung*
- *Geringerer Zeitbedarf*

Für die Untersuchungen an den Aggregaten wurden aus dem ausgegrabenen Profilblock Proben aus den Horizonten Oberfläche, Oberkrume, Unterkrume und Unterboden entnommen. Je Probe wurden 40 Aggregate auf Wasserstabilität getestet. Sie wurden mit einer Federstahl-Pinzette in zwei Schälchen mit je 20 Vertiefungen gegeben und vorsichtig mit Hilfe einer Pipette mit destilliertem Wasser überstaut. Nach einer Einwirkungsdauer von einer Minute wurden die entstandenen Aggregatbruchstücke durch kurzes Klopfen an das Schälchen verteilt. Der Test auf Aggregatstabilität ist durch die Entwicklung einer Zerfallsbonitur mit Zerfallsbildern (bei Sandböden: 4, bei Lehm Böden 7) standardisiert (vgl. **Abb. 4**). Die Hauptzerfallsstufen 0, 1 und 2 werden dabei zur Berechnung der Aggregatstabilität in Prozent herangezogen. Größtmögliche Stabilität:  $40 \times 2 = 80 = 100\%$



Die Aggregatstabilitätstests wurden mit abgesiebten Aggregaten der Fraktion 3-5 mm durchgeführt.

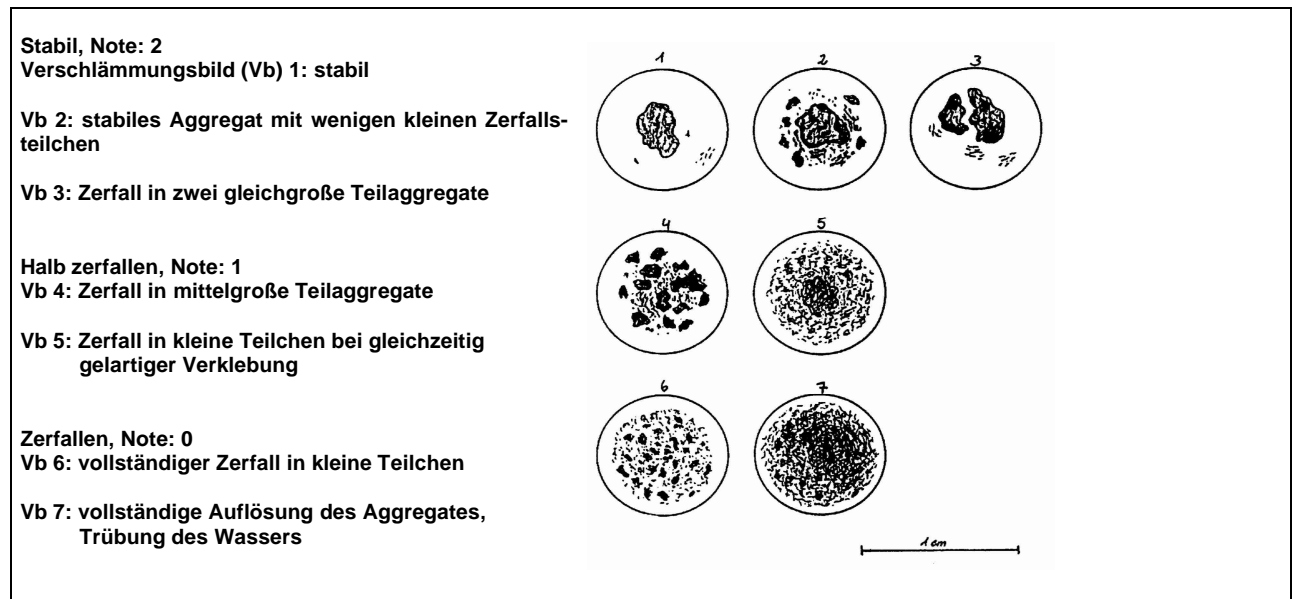
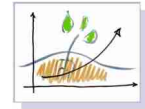


Abb. 4: Zerfallsbonitur des Aggregatstabilitätstests Beispiel: lehmige Böden (BESTE 2003)

## 2.3 Bodenfeuchte

Die Parameter Gefügebrauchung und Aggregatstabilität können nur im Zusammenhang mit der Bodenfeuchte beurteilt werden, da sie durch diese beeinflusst werden. Z.B. können sich bei hoher Bodenfeuchte Pseudokrümel bilden, die das Gefüge locker und porös erscheinen lassen, aber nur durch einen Wasserfilm verbunden und daher sehr labil sind. Es ist also für eine differenzierte Einschätzung des Gefüges und eine zutreffende Interpretation der Aggregatstabilität von Bedeutung die aktuelle Bodenfeuchte zu kennen.

Für die Ermittlung der Bodenfeuchte in Gewichtsprozent wurden gestörte Bodenproben (ohne definiertes Volumen) in den Bodentiefen der beurteilten Horizonte entnommen. Eine handvoll Boden, an den drei Wiederholungs-Standorten genommen, wurde zur Mischprobe vereint. Die Proben wurden luftdicht verpackt. Nach Ermittlung des Frischgewichtes wurden sie 15 h lang bei mindestens 105°C getrocknet. Die Differenz zwischen Frisch- und Trockengewicht ergibt die Bodenfeuchte in Gewichtsprozent auf das Trockengewicht bezogen.



## 2.4 Statistische Rahmenbedingungen

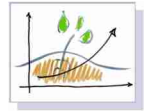
Aus den Beurteilungen und Messungen für jede Parzelle wurde je Horizont ein Mittelwert für die Bodenfeuchte, für die Gefügenote und für die Aggregatstabilität in Prozent errechnet (vgl. **Tab. 1**).

**Tab. 1: Messpunkte und Stichproben pro Parzelle zur Mittelwertbildung**

Parameter	Messpunkte pro Parzelle	Bonitur/Proben/Messungen pro Horizont	n je Horizont pro Parzelle
Gefügenote	3	1	3 Noten, daraus 1 Mittelwert
Aggregatstabilität	3	40 Aggregate	120 = 3 Prozentwerte, daraus 1 Mittelwert
Bodenfeuchte	3	Vereint zu 1 Mischprobe	1

Für eine Gesamteinschätzung des qualitativen Zustands jeder Parzelle wurden die Mittelwerte der Gefügenote und der Aggregatstabilität sowie individuelle Beobachtungen zu einer Gesamtbeurteilung zusammengefasst (s. Einzelfeldbeurteilungen). Es waren 4 Stufen der Bewertung möglich:

1. „gut“
2. „befriedigend“
3. „Handlungsbedarf“
4. „dringender Handlungsbedarf“



### 3 Kommentar zu den Ergebnissen

Die Ergebnisse der Qualitativen Strukturanalyse sind für jede Parzelle im Anhang in der Einzel-feldbeurteilung ausführlich dargestellt und kommentiert.

#### 3.1 Strukturqualität - Zusammenfassung

Die Stufe 1 = „gut“ wurde von keiner der sieben Parzellen erreicht und nur eine Parzelle erreicht die Bewertung 2 = „befriedigend“. Bei vier Parzellen ist „Handlungsbedarf“ und bei zwei Parzellen „dringender Handlungsbedarf“ gegeben.

Alle Parzellen zeigen zunächst unabhängig von Bodentyp oder Grundbodenbearbeitung deutliche Anzeichen von Verdichtung. Niedrige Gefügenoten in den einzelnen Horizonten fallen dabei häufig mit sehr hohen Werten für die Aggregatstabilität zusammen, was ein weiteres deutliches Zeichen für Verdichtung ist. Diese Anzeichen sind bei den Mulchsaatflächen stärker ausgeprägt, was mit unseren bisherigen Erfahrungen übereinstimmt.

Die bessere Befahrbarkeit und hohe Wasserstabilität, die häufig bei Minimalbodenbearbeitung gemessen wird, ist daher kritisch zu sehen. Die Wasserstabilität allein sagt noch nichts über eine gesunde Bodenstruktur aus, da auch verdichtete Aggregate sehr wasserstabil sein können. Um die Gewährleistung der Filter- und Regelungsfunktion zu beurteilen, bedarf es einer qualitativen Strukturuntersuchung, die bei diesen Untersuchungen die Verdichtung anschaulich gezeigt hat, aber in den meisten Versuchen zur Minimalbodenbearbeitung bisher fehlt.

Die Anzeichen sprechen für einen eindeutigen Mangel an organischer Substanz, zu geringe und einseitige Durchwurzelung sowie – das ist zu vermuten – eine geringe oder zumindest einseitige biologische Aktivität.

### 4 Empfehlungen zur nachhaltigen Bewirtschaftung

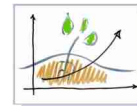
#### 4.1 Vor und Nachteile sowie Möglichkeiten von Bodenbearbeitungsverfahren

##### Wendende/Konventionelle Verfahren

Das Verdrehen des gesamten Lebensraumes der Bodenorganismen bei der krumentiefen Wendung mit dem Pflug tötet viele Organismen direkt und erzeugt für die verlagerten Organismen artfremde Lebensbedingungen, denen sie sich aufgrund ihrer oft geringen Beweglichkeit nicht entziehen können. Dies kann vorübergehend einen Rückgang des Organismenbesatzes bewirken. Die Bewegung großer Bodenschollen mit dem tief wendenden Pflug zeigt außerdem häufig eine geringe Krümelungswirkung, da die Erdscholle nicht ganz zerrissen wird. Die Lockerung erfolgt in der Regel sehr grob.

Bei längerem Einsatz stellen sich oft Pflugsohlenverdichtungen ein. Pflugsohlen sind eine besondere Form der Bodenverdichtung. Sie beginnen oft schon im Bereich des Bearbeitungsprofils und zeichnen sich durch eine deutlich dichtere Lagerung aus als die Unterkrume. Sie liegen daher wie ein Riegel zwischen weniger dichter Krume und dem Unterboden. Als Ursache wird u.a. eine immer gleiche Pflugtiefe angesehen. Hinzu kommen der Raddruck der größer werdenden Schlepper und Pflugrahmen, das in der Furche laufende Schlepperrad und die Bearbeitung bei zu feuchten Bodenverhältnissen.

Durch eine Abnahme von organischem Material und den Rückgang der Bodentiere und – mikroorganismen ist die Anfälligkeit der Krume für innere Erosion heute stark gesteigert und trägt durch Ausschwemmung von feinen Bodenteilchen in die Tiefe zusätzlich zur Verdichtung bei.



Pflugsohlen wirken für jeden stärkeren Niederschlag und bei Beregnung als Stau. Dadurch trocknet die Krume langsamer ab, wird schlechter durchlüftet und die negativen Folgen der Verdichtung werden weiter verstärkt. Das Wurzelwachstum wird durch die Pflugsohle direkt und indirekt gehemmt sowie das Nährstoffreservoir und das Wasserreservoir geschmälert.

Ein positiver Effekt des Pflügens ist die mechanische Unkraut- und Schädlingsbekämpfung. In Zeiten zunehmender Resistenzbildung ist dies ein nicht zu vernachlässigender Vorteil

**Nicht-Wendende Verfahren** (synonym verwendet: Mulchsaat, Minimalbodenbearbeitung/ Lockerbodenmulchwirtschaft); oder Direktsaatverfahren: Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung (synonym: No-Tillage/ Festbodenmulchwirtschaft)

Der Schichten-, Schwer-, oder Rüttel- Grubber lockert den Boden ohne wendendes Streichblech. Verdichtungen der Unterkrume werden bis 30 cm Tiefe durchwühlt, ohne die Bodenschichten zu vermischen, so dass das Bodenleben wesentlich weniger beeinträchtigt wird.

Die Direktsaat - auch Minimalbodenbearbeitung genannt -, wird definiert als „Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte. Scheibenmaschinen öffnen Säschnitte, in die das Saatgut abgelegt wird. Anschließend wird dieses mit Boden bedeckt. Die Unkrautkontrolle geschieht hauptsächlich chemisch<sup>9</sup> (vgl. Tab. 1).

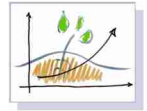
**Tab. 1: Systeme der Bodenbearbeitung. Verfahrensschritte, Geräte, Herbizideinsatz**

Verfahrensschritte	Lockerbodenwirtschaft	Lockerboden-Mulchwirtschaft		Festboden-Mulchwirtschaft	extreme Festboden-Mulchwirtschaft
Stoppelbearbeitung (< 15 cm)	Schälflug, Scheiben-, Spatenrollegge, Fräse, Zinkenrotor, Flügelschargrubber, Kreisel-, Rüttelegge			Spatenrollegge, Zinkenrotor, Kreisel- und Rüttelegge, Flügelschargrubber	
Grundbodenbearbeitung (10-40 cm)	Scharpflug, Scheibenpflug, (mit Nachlaufeggen und Packern)	Schwergrubber, Rüttelgrubber (mit Nachlaufeggen und Packern), Zweischichtengrubber	Parapflug, Flügelschargrubber Tiefenlockerer, Zweischichtengrubber		
Saatbettbereitung (< 8 cm) Saat	Kombinationen aus Feingrubber, Saat-, Wälzegen und Walzen Kreisel-, Rütteleggen-Walzen-Kombination			Zinkenrotoren, Kreisel-, Rütteleggen und Walzen Reihenfräsen	
	übliche Sämaschinen (Drill-, Band-, Breit-, Einzelkornsaat)	Mulchsaat-Sämaschinen (Ein-, Zwei-, Dreischeiben-Drillmaschinen, Breitsaatschiene, Sästempel-Saat)			
Erntereste auf der Bodenoberfläche Totalherbizid vor Aussaat	keine nicht nötig	< 1/5 nicht nötig	1/3 - 2/3 meist nötig	1/3 - 2/3 meist nötig	alle immer nötig
Arbeitsweise	<b>wendend</b> , volle Krumentiefe	<b>wühlend</b> , meist weniger als Krumentiefe	überwiegend in der Tiefe <b>lockernd</b>	in Saattiefe <b>wühlend</b> (nicht immer die ganze Fläche)	nur in der <b>Saatreihe</b> bearbeitet

Quelle: BAEUMER, K. (1994): Verfahren und Wirkungen der Bodenbearbeitung. In: BESTE 2005

Aktuell wird die Minimalbodenbearbeitung als Lösungsmöglichkeit für Erosion sowie Krumen- und Pflugsohlenverdichtungen diskutiert, birgt jedoch eine zum Teil starke Erhöhung des Unkraut- sowie des Krankheits- und Schädlingsdrucks<sup>10</sup>.

Die bei Minimalbodenbearbeitung als vorteilhaft angeführte große Anzahl an vertikalen Makroporen durch Regenwürmer, die die Infiltrationskapazität erhöhen (Hochwasservermeidung, Erosionsschutz), geht nach unseren Erfahrungen aus über 300 Bodenanalysen und auch nach den Daten der meisten wissenschaftlichen Versuche weit überwiegend mit kompaktem Gefüge und erhöhter Lagerungsdichte einher.



Makroporen werden durch Bodenfauna (v.a. Regenwürmer) und Pflanzenwurzeln sowie durch Schrumpfrisse und Spalten gebildet. Sie sind nicht schwammartig und fein verzweigt. In Makroporen herrscht keine Saugspannung vor und das Wasser folgt allein der Gravitationskraft. In Makroporen können die Stoffe mit bis zu 25 cm/s mit dem Makroporenfluss transportiert werden. Dies kann die Gefahr des schnellen Eindringens des kaum gefilterten Sickerwassers ins Grundwasser beinhalten.

Die mit dem Klimawandel zu erwartenden Starkregen und Dürren erfordern eine hohe Speicher- und Filterfunktion der Böden. Diese hängt eng mit der Verweildauer des Sickerwassers im Boden zusammen (Wasserhaltekapazität bei Trockenheit). Bei kompakten Böden ist sie im Vergleich zu einem porösen, krümelig-schwammartigen Boden deutlich reduziert.

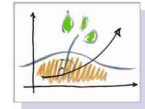
Mit erweiterter Fruchtfolge, Gründüngung, Zwischenfruchtbau und organischer Düngung kombiniert, kann konservierende Bodenbearbeitung oder Direktsaat nach unserer Erfahrung eine bodenschonende Bearbeitungsalternative darstellen. So kann ein biologisch stabilisiertes, poröses Schwammgefüge mit guten Speicher- und Filtereigenschaften entstehen, welches auch gute Tragfähigkeitseigenschaften besitzt. In Kombination mit einem an den jeweiligen Standort angepassten Zwischenfruchtbau sind so auch die Anforderungen an den Erosionsschutz – wie in Cross Compliance gefordert – zu erfüllen. Bei gleichzeitiger Erhöhung der Wasserspeicherfunktion. Durch konservierende Bodenbearbeitung als isolierte Maßnahme ist dieses Ergebnis nicht zu erreichen.

Wird die Fruchtfolge und/oder der Zwischenfruchtanbau NICHT erweitert, muss aus unserer Sicht von einer kompletten Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung oder Direktsaat bis auf weiteres aus den folgenden Gründen abgeraten werden:

- Stärkere Verunkrautung mit ausdauernden Arten und besonders Ungräsern.<sup>11</sup>
- Begünstigung von Krankheiten und Schädlingen (z.B.: DTR, Fusarium- Arten, Maiszünsler, Ackerschnecken, DON<sup>12</sup> im Erntegut).<sup>13</sup>
- Steigender Bedarf an Mineraldünger, sowie chem. Pflanzenschutz (Anwendungshäufigkeit und Aufwandmengen v. a. bei nicht-selektiven Herbiziden und Fungiziden); höhere Herbizidgehalte im Oberflächenabfluss.<sup>14</sup>
- Der Bodenschutzaspekt der konservierenden Bodenbearbeitung darf nicht mit einem ökologischen und gesellschaftlichen Nachteil (vermehrter Herbizideinsatz und schnellere Resistenzbildung) erkauf werden.
- Verminderter Feldaufgang, Ertragsunsicherheit, teilw. verminderte Qualitäten.<sup>15</sup>
- Gefahr der Grundwasserbelastung bei steigender Infiltration (Makroporenfluss) ohne Erhöhung der Speicher- und Filterleistung durch Krümelung.<sup>16</sup>
- Anstieg der Lachgasemissionen bei verdichteten, staunassen Böden<sup>17</sup>.

#### 4.2 Fazit: Bewirtschaftungssystem wichtiger als Bodenbearbeitungstechnik

Grundsätzlich muss die Grundbodenbearbeitung nach unserer Erfahrung nicht *zwingend* notwendig erfolgen, um Bodenstrukturverbesserungen zu erreichen. Mit Hilfe einer Fruchtfolgeerweiterung, intensiviertem Zwischenfruchtanbau (s. Tabelle) und/oder vermehrter organischer Düngung - Maßnahmen deren Anwendung wir seit vielen Jahren auch für den konventionellen Anbau empfehlen - kann ein aktiver Bodenstrukturaufbau betrieben werden. Eine derart geförderte Bodenstruktur verträgt durchaus zeitweiliges Pflügen in Form einer *Sommerfurche*. Hier sind besonders Schälplflug (auch Stoppelhobel) und Zweischichten-Pflug zu empfehlen, die nur flach wenden sowie der Onland-Pflug, bei dem das Fahren in der Pflugfurche vermieden wird. Dies zeigten auch unsere Untersuchungen in einem Forschungsprojekt zum Onland-Pflügen in Zusammenarbeit mit der Firma UNILEVER<sup>18</sup>. Nach der Grundbodenbearbeitung sollte die Bodenstruktur mit einer Zwi-



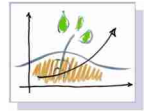
schenfrucht biologisch verbaut werden, worauf im nächsten Jahr – bei nicht zu masserlichem Bewuchs - eine Mulchsaat stattfinden kann.

In der Diskussion und Forschung zum landwirtschaftlichen Bodenschutz nahmen die Themen des landtechnischen Bereiches (Begrenzung der Radlast, Verringerung des Kontaktflächendrucks mit Breitreifen, verschiedenste Vorschläge zur reduzierten Bodenbearbeitung) in den letzten Jahrzehnten einen breiten Raum ein. Je weiter die Forschung im Themenbereich Boden fortschreitet – und hier sind immer noch große Lücken zu verzeichnen – desto mehr wird deutlich, dass die Versorgung mit organischem Material und die Biodiversität im Agrarökosystem – und damit auch im Boden – über die Steuerung der Fruchtfolge und Zwischenfrüchte ein deutlich höheres Potenzial für die Förderung einer gesunden Bodenstruktur beinhaltet, als der Ersatz einer Bodenbearbeitungstechnik durch eine andere. Unsere Erfahrungen zeigen: Systemische Lösungen zeigen sich den rein technischen deutlich überlegen<sup>19</sup>. Wichtig ist, in welchem Zusammenhang (pedologische Eigenschaften, Fruchtfolge, Düngung und Pflanzenschutz) die Grundbodenbearbeitung vollzogen wird. Eine einzige best-practice gibt es daher ohnehin nicht. Folgende Prinzipien sind grundsätzlich aber empfehlenswert:

### **Prinzipien einer bodenschonenden Bodenbearbeitung** (aus BESTE 2005)

- Verzicht auf konventionelle Grundbodenbearbeitung (Pflug) fruchtfolgespezifisch immer dort, wo sie nicht nötig ist.
- Möglichst häufiger verbleib von Reststoffen an der Oberfläche - Mulchsaat wenn möglich.
- Vorverlegung der Herbstfurche in trockene Sommermonate und Grundbodenbearbeitung vor dem Zwischenfruchtanbau.
- Dementsprechend keine Grundbodenbearbeitung und vor allem keine wendende direkt nach dem Zwischenfruchtanbau (Zerstörung der Lebendverbauung und des Strukturaufbaus).
- Vermeidung des Einsatzes zapfwellengetriebener Geräte, da diese die Bodenstruktur zu stark zerkleinern.
- Eine weitere Möglichkeit, Verdichtungen zu vermeiden ist der aufmerksame Umgang mit der Druckbelastung des Bodens. Radlast und Kontaktfläche ergeben den Kontaktflächendruck. Mit zunehmender Radlast und abnehmender Kontaktfläche erfolgt ein Anstieg des Kontaktflächendrucks. Es ist zwar möglich, durch die Erhöhung der Reifenaufstandsfläche (Breitreifen) den Kontaktflächendruck zu vermindern. Die Druckfortpflanzung in die Tiefe bleibt aber dennoch bestehen, da die entscheidende Größe hierfür die absolut aufgebrachte Last ist. Deren Höhe sollte dementsprechend begrenzt werden.

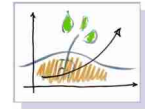




**Tabelle 2: Leistungspotenziale verschiedener Zwischenfrüchte  
hinsichtlich verschiedener Anbauziele (aus BESTE 2005)**

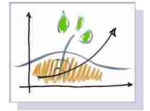
Zwischenfrucht	Futternutzung			Gründüngung						Nematoden- bekämpfung		Nähr- stoff- kon- ser- vie- rung	Schutz vor Erosion	Mulchsaat- eignung		Bie- nen- weide
	Weide-	Grün-	Silage- futter	allge- mein	O.S.- Anrei- che- rung	Gefü- gever- besse- rung	Un- terbo- den- locke- rung	N <sub>2</sub> - Fixie- rung	Un- kraut- be- kämp- fung	Zu- cker- rü- ben	Kartof- feln			Mais	Zucker- rüben	
Dt. Weidelgras (DWg)	3	2	3	3	2	3	0	0	3	0	2	2	3	0	0	0
Einj. Weidelgras (EWg)	2	3	3	3	3	3	0	0	3	0	1	2	3	1	0	0
Welsches Weidelgras (WWg)	3	3	3	3	3	3	0	0	3	0	1	2	3	1	1	0
Winterroggen	2	3	2	2	2	2	2	0	1	0	0	1	2	1	0	0
Sommerraps (SRa)	1	2	2	3	2	2	1	0	3	0	0	2	2	1	0	3
Winterraps (WRa)	2	2	2	2	2	2	1	0	3	0	0	2	3	1	0	0
Sommerrübsen (SRü)	1	2	1	3	2	2	2	0	3	0	0	2	3	1	0	3
Winterrübsen (WRü)	2	1	1	3	2	2	2	0	3	0	0	3	3	1	0	0
Stoppelrüben (StRü)	2	2	3	1	1	2	5	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Futterkohl (FK)	0	2	2	1	1	2	2	0	2	0	0	1	1	0	0	0
Ölrettich (ÖR)	1	1	1	3	2	2	3	0	3	3	3	3	3	1	1	3
Gelbsenf (GS)	0	0	1	3	2	2	1	0	3	3	0	2	2	1	1	3
Sareptasenf (SSe)	0	1	2	3	2	2	1	0	3	0	0	2	2	0	0	3
Phacelia (PH)	0	1	1	3	2	3	1	0	3	1	0	2	3	1	1	3
Sonnenblume (SB)	1	1	2	3	2	3	3	0	2	0	0	2	3	1	0	2
Kulturmalve (KM)	0	1	0	2	2	2	2	0	3	0	0	2	2	0	0	0
Buchweizen (BW)	0	1	0	2	2	3	1	0	3	2	2	2	3	1	1	2
Weißklee (WK)	3	2	1	2	2	2	0	3	3	0	0	1	2	0	0	2
Rotklee (RK)	2	2	1	3	3	2	3	3	3	0	0	1	3	0	0	3
Perserklee (PK)	2	2	0	2	2	2	0	3	3	0	0	1	2	1	1	2
Inkarnatklee (IK)	1	2	1	2	2	2	0	3	3	0	0	1	3	1	1	2
Alexandrinerklee (AK)	2	2	1	2	2	2	0	3	3	0	0	1	3	1	1	2
Erdklee (EK)	1	0	0	3	2	2	1	3	3	0	0	1	2	1	1	2
Steinklee (SK)	0	0	0	3	2	2	3	3	0	0	0	1	2	0	0	3
Serradella (SD)	2	2	1	3	2	2	3	3	3	0	0	1	3	0	0	2
Sommerwicke (SWi)	1	1	1	2	2	2	1	3	3	0	0	1	2	1	1	2
Winterwicke (WWi)	0	2	1	2	3	3	1	3	3	0	0	1	3	0	0	2
Weißer Bitterlupine (WL)	0	0	0	3	2	1	3	3	2	0	3	1	3	0	1	1
Blaue Bitterlupine (BL)	0	0	0	3	2	1	3	3	2	0	3	1	3	0	1	1
Gelbe Süßlupine (GL)	0	1	1	3	2	1	3	3	2	0	3	1	3	0	1	1
Ackerbohne (AB)	1	1	1	2	2	2	1	3	2.5	0	0	1	2	1	0	1
Felderbse (FE)	1	2	1	2	2	2	1	3	2.5	0	0	1	2	1	0	1
Platterbse (PE)	1	2	1	3	2	2	2	3	3	0	0	1	2	0	0	1
Knautgras (Kng)	3	3	2	3	3	3	0	0	3	0	0	2	3	1	1	0
Wiesenschwingel (WSw)	3	3	3	3	2	3	0	0	3	0	0	2	2	1	1	0
Rotschwingel (RSw)	3	2	2	3	2	3	0	0	3	0	0	2	2	1	1	0
EWg, WWg	3	3	3	3	3	2	0	0	3	0	1	3	3	1	0	0
WWg + WRa	2	2	2	3	2	2	1	0	3	0	1	3	2	1	0	0
wwg + SB	2	2	2	3	2	2	2	0	3	10	1	2	2	1	0	0
WWg + WK	3	1	2	3	3	3	0	2	3	0	0	3	3	0	0	2
DWg + WK	3	1	1	3	3	3	0	2	3	0	0	3	3	0	0	2
EWg - PK	2	3	2	3	3	3	0	2	3	0	0	2	2	1	0	2
EWg, WWg + AK	2	3	2	3	3	3	0	2	3	0	0	2	2	1	1	2
WWg + IK	1	3	2	3	3	3	0	2	3	0	0	3	3	1	1	2
WWg+WK+RK	3	3	2	3	3	3	2	2	3	0	0	3	3	0	0	2
WWg+WK+GK	3	2	2	3	3	3	2	2	3	0	0	3	3	0	0	2
Rot- u. Weißklee	3	2	1	3	3	2	3	3	3	0	0	1	3	0	0	3
Gelb- u. Weißwee	3	2	1	3	2	2	2	3	3	0	0	1	2	0	0	3
WWg + IK + WN	2	3	2	1	3	3	0	2	3	0	0	3	3	1	1	2
WR + WN	0	2	2	1	2	2	2	2	3	0	0	2	2	1	0	0
WRa + FE + SWi	2	2	0	2	2	2	1	2	3	0	0	1	3	1	0	2
WRa ISRa + FE	0	2	0	2	2	2	1	2	3	0	0	1	3	1	0	2
WRa ISRa + SW	0	2	0	2	2	2	1	2	3	0	0	1	3	1	0	2
WRa + WL	0	0	0	3	2	2	3	2	3	0	0	1	3	0	0	0
AB + FE + SWi	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
AB+ FE	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
AB + SWi	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
FE + SW	0	2	0	2	2	3	1	3	2.5	0	0	1	3	1	0	2
Gelbklee (GK)	3	2	1	2	2	2	2	3	3	0	0	1	2	0	0	2

Potentialstufen: 0=sehr gering, 1=gering, 2=mittel, 3=hoch



## Literatur

- <sup>1</sup> WBGU, WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTÄNDERUNG (1994): Die Welt im Wandel - Die Gefährdung der Böden. (= Jahresgutachten 1994). Bonn.
- 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, Müncheberg
- ISCO, INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANISATION (Hg.) (1996): Conclusions and recommendations of ISCO'96. Bonn
- UBA, UMWELTBUNDESAMT (1998): Maßstäbe bodenschonender landwirtschaftlicher Bodennutzung - Erarbeitung von Beurteilungskriterien und Meßparametern als Grundlagen für fachliche Regelungsansätze. Umweltbundesamt (Hg.), Berlin
- DE KIMPE, C.; WARKENTIN, R. (1998): Soil Functions and the Future of Natural Resources. In: Blume H.-P. et al.(Hg.): Towards sustainable land use. Furthering cooperation between people and institutions, Selected papers of the 9th conference of the International Soil Conservation Organisation (ISCO) = Advances in Geocology 31, Reiskirchen
- <sup>2</sup> BESTE, A. (2005): Landwirtschaftlicher Bodenschutz in der Praxis. Grundlagen, Analyse, Management. Erhaltung der Bodenfunktionen für Produktion, Gewässerschutz und Hochwassermeidung. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- <sup>3</sup> 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>4</sup> BESTE, (2005), RBS (1994),  
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>5</sup> BESTE (2005), GISI 1997 , SCHINNER/SONNLEITNER (1996 a, b),  
GISI, U. (1997): Bodenökologie. Stuttgart, New York
- <sup>6</sup> BESTE, A. (2003): Erweiterte Spatendiagnose. Weiterentwicklung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung.“ Dissertation, Verlag Dr. Köster, Berlin.  
BESTE, A. (2008): 3. Auflage! Wieviel Wasser kann mein Boden bei Starkregen speichern? Wieviel Trockenheit fängt mein Boden auf? Verbesserung der Bodenfunktionen und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit mit Hilfe der Qualitativen Bodenanalyse.
- <sup>7</sup> 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  
ROELKE, M. (2001): Anleitung zur Spatendiagnose (in chinesischer Sprache), gtz (Hg.), Nanjing
- <sup>8</sup> SEKERA, F.; BRUNNER, A. (1943): Beiträge zur Methodik der Gareforschung. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 29
- <sup>9</sup> PHILLIPS, R.E. und PHILLIPS, S.H. (1984): No-tillage agriculture, principles and practices. New York
- <sup>10</sup> LÜTKE-ENTRUP/SCHNEIDER (2004) Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Systeme der Bodennutzung durch Fruchtfolgegestaltung und konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat. In: Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung – Umweltwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. = Texte 35/04 Umweltbundesamt, Berlin  
KREYE, H. (2001): Auswirkungen nichtwendender Bodenbearbeitung auf das Schadorganismenaufreten in einer Zuckerrüben Weizen-Weizen-Fruchtfolge. Göttingen
- <sup>11</sup> LÜTKE-ENTRUP/SCHNEIDER (2004),  
SCHÄFER, B. (2005): Herausforderung Agrarpolitik – Ackerbau ab 2005. Vortrag 56. Rhein Hessische Agrartage, Nieder Olm
- <sup>12</sup> *Mykotoxine, die Stoffwechselprodukte bestimmter Pilze, stellen weltweit eine Gefährdung der Lebensmittelsicherheit dar. Das am häufigsten vorkommende Mykotoxin in Deutschland ist Deoxynivalenol (DON). Es wird während der Ähreninfektion von Getreide mit Fusarium-Arten gebildet und befindet sich im Erntegut.*



- 
- <sup>13</sup> SCHÄFER (2005), LÜTKE-ENTRUP/SCHNEIDER (2004),  
WÜRFEL, T. (2004): Bodenschutz in Baden Württemberg. Freiwilligkeit statt Zwang oder Beratung statt Anordnung. In: Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung – Umweltwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. = Texte 35/04 Umweltbundesamt, Berlin
- <sup>14</sup> THOMAS, F. (2004): Die Agrarumweltprogramme: Eine Bilanz nach zehn Jahren. In: Der Kritische Agrarbericht 2004, Rheda – Wiedenbrück  
LAP (Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim) (Hg.) (2003): Pflanzenbauliche und wirtschaftliche Auswirkungen verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung. = Sonderheft 1, Forchheim
- <sup>15</sup> LÜTKE-ENTRUP/SCHNEIDER (2004), WÜRFEL (2004), LAP (2003)  
BRAND-SASSEN, H. (2004): Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft. Dissertation Universität Göttingen
- <sup>16</sup> FREDE, H.G. (2004): Anforderungen an Grundwasser und Oberflächengewässerschutz. In: Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung – Umweltwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. = Texte 35/04 Umweltbundesamt, Berlin  
SCHMIDT, W.-A. (2004): Erfahrungsbericht aus Sachsen. In: Bodenschutz und landwirtschaftliche Bodennutzung – Umweltwirkungen am Beispiel der konservierenden Bodenbearbeitung. = Texte 35/04 Umweltbundesamt, Berlin
- <sup>16</sup> BESTE (2004 a,b),  
TITI, ADEL EL (Hg.) (2003): Soil Tillage in Agroecosystems. London, New York  
EPPERLEIN, J. (2002): Vergleichende Untersuchungen zum Einfluss konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung auf ausgewählte biologische und physikalische Bodenparameter im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Dissertation Humboldt-Universität Berlin
- <sup>17</sup> LUA (Lithuanian University of Agriculture) (2006): Conference-Reader International Scientific Conference Farming Systems and Environment Quality  
MÜLLER-SÄMANN, K.; KOTSCHI J. (2004): The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change – a Scoping Study. Bonn
- <sup>18</sup> BESTE (2004 a,b)
- <sup>19</sup> BESTE, A. (2008): Kommentar zum Standpunktpapier des BMVEL zum Paragraph 17 des Bundesbodenschutzgesetzes: "Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung" vom 20.04.1999 unter besonderer Berücksichtigung des landwirtschaftlichen Bodenschutzes in Entwicklungsländern. Im Auftrag von MISEREOR  
*darüber hinaus zu erweiterten Fruchtfolgen*: LÜTKE-ENTRUP, N.; SCHNEIDER, M.: (2006): Bewertung von neuen Systemen der Bodenbewirtschaftung in erweiterten Fruchtfolgen mit Körnerraps und Körnerleguminosen. = Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest Nr. 21. Fachhochschule Südwestfalen.