

# JUNGE

---

## wissenschaft

JungforscherInnen publizieren  
online | **peer reviewed** | original

Verlag:  
Physikalisch-  
Technische  
Bundesanstalt



Geo- & Raum-  
wissenschaft

# Dem Humus auf der Spur

BODENKUNDLICHE ZUSTANDSERHEBUNG IM  
KONTEXT DES KLIMAWANDELS AM BEISPIEL  
MANNHEIM-VOGELSTANG

*Im Zuge des Klimawandels rückt der Humus als  
Kohlenstoffspeicher im Boden in den Fokus. In diesem Projekt  
wurde eine Zustandserhebung des Humusgehalts vorgenommen  
und im Zusammenhang mit Bodenart und Landnutzung  
analysiert.*

## DIE JUNGFORSCHERIN



**Helin Dogan (1999)**

Geschwister-Scholl  
Gymnasium-Mannheim  
68309 Mannheim

**Eingang der Arbeit:**  
21.8.2016

**Arbeit angenommen:**  
10.11.2016



# Dem Humus auf der Spur

## BODENKUNDLICHE ZUSTANDSERHEBUNG IM KONTEXT DES KLIMAWANDELS AM BEISPIEL MANNHEIM-VOGELSTANG

### 1. Einleitung

#### 1.1 Themenfindung

Zwischen 1900 und 2005 ist die Jahresdurchschnittstemperatur weltweit um 0,7 °C gestiegen, in Baden-Württemberg um über 1 °C. – nach Berechnungen aktueller Klimaszenarien wird die Durchschnittstemperatur in Baden-Württemberg auch künftig weiter steigen. Gleichzeitig sind zunehmende Niederschläge im Winter sowie längere Trockenperioden im Sommer zu erwarten [9].

Die Landwirtschaft gehört dabei zu den Bereichen, die am stärksten betroffen sind. Insbesondere die zunehmende Sommertrockenheit führt zu Ertragseinbußen, die je nach Kulturpflanzenart, Region und Bodenbeschaffenheit unterschiedlich ausfallen [7]. Dies macht die Entwicklung regional differenzierter Anpassungsstrategien zur Ertragssicherung notwendig. Rück-

koppelnd haben allerdings auch landwirtschaftliche Maßnahmen wiederum Folgen für den Klimawandel. So kann die Art der Bewirtschaftung Einfluss auf die Funktion des Bodens als Kohlenstoffspeicher oder -quelle nehmen.

Im Zuge der Verpflichtungen gemäß der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC Art. 3.3, 4.1, 4.2 und Entscheidung 3/CP5) sowie des Kyoto-Protokolls rücken der Humus als Kohlenstoffspeicher im Boden sowie Potenziale zum Humusaufbau zunehmend in den Fokus. Damit wird der Boden in seiner klimarelevanten Funktion als Kohlenstoffspeicher zum Forschungsgegenstand.

Der Erhalt standorttypischer Humusgehalte ist als Bestandteil der „guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft“ (§ 17 BBodSchG) bereits gesetzlich verankert, zumal die organische Bodensubstanz Lieferant und Speicher für viele Nähr- und Schadstoffe ist und sowohl

die Bodenstruktur als auch die Fruchtbarkeit der Böden verbessert. Welche Humusgehalte hierbei optimal bzw. anzustreben sind, bedarf einer standortdifferenzierten Festlegung, die jedoch laut UBA [6] nach derzeitigem Stand der Forschung nicht möglich ist. Die Ursache hierfür ist, dass eine systematische, quantitative Analyse der komplexen Zusammenhänge unter Berücksichtigung kleinräumiger Differenzen und regional typischer Charakteristika bislang nicht vorliegt.

Damit macht der aktuelle Forschungsstand vor dem Hintergrund der klimarelevanten Funktion des Bodens sowohl regional differenzierte Zustandserhebungen als auch Untersuchungen zur Auswirkung von Anpassungsstrategien notwendig. Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz [4] erfasst daher aktuell erstmals deutschlandweit auf Grundlage eines 8-mal-8-km-Rasters die Vorräte an organischem Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden. Das Ziel solch einer Zustandserhebung ist es darüber hinaus, die steuernden Faktoren der Humusvorräte landwirtschaftlicher Böden zu ermitteln und die Auswirkungen des Klimawandels auf diese zu prognostizieren, um schließlich die Strategien zur Anpassung der Agrarproduktion und anderer Landnutzungsformen an geänderte Klimabedingungen zu bewerten.

Ziel des vorliegenden Projekts ist die Analyse der Zusammenhänge von Bodenart, Landnutzung und Humusgehalt im landwirtschaftlich genutzten Außenbereich von Mannheim-Vogelstang auf Basis einer regionalen Zustandserhebung. Mit diesen Daten werden kleinräumige Wechselwirkungen berücksichtigt, welche die Grundlage für das Verständnis der steuernden Faktoren bilden.

Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen schließlich die Darstellung regional typischer Zusammenhänge, mit welchen die Speicherfunktion des Bodens

in Bezug auf CO<sub>2</sub> in Form von organischem Kohlenstoff beschrieben wird. Damit verknüpft die Arbeit die aktuellen Klimaszenarien mit dem differenziert erhobenen Bodenzustand und bildet so die Grundlage für die Ableitung konkreter Empfehlungen und nachhaltiger Anpassungsstrategien.

## 1.2 Stichwort Boden und Bodenart

Boden bildet die belebte oberste Erdkruste und ist ein Gemisch aus mineralischen Substanzen, organischen Abba- und Umwandlungsprodukten sowie lebenden Organismen und Hohlräumen, die mit Bodenlösung oder Luft gefüllt sind. Böden sind offene Systeme und unterliegen ständiger Veränderung durch Bodenbildungsfaktoren. Durch verschiedene Prozesse der Pedogenese, physikalische und chemische Verwitterung, Mineralneubildung, Mineralisierung, Humifizierung, Gefügebildung und Stoffverlagerung, bildet der Boden Horizonte aus [2]. Somit stellt der Boden ein Produkt aus klimabedingter Gesteinsverwitterung, Anreicherung toten organischen Materials, der Bioturbation der Bodenorganismen, der Bodenbearbeitung und der landwirtschaftlichen Nutzung durch den Menschen sowie ständiger Einwirkung des Klimas dar.

Die Bodenart zeichnet sich durch die Korngrößenzusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials aus. Hierfür sind die drei Fraktionen Sand, Schluff und Ton maßgebend. Die Bodenart hat einen großen Einfluss auf die Bodeneigenschaften. In diesem Zusammenhang liegt das Augenmerk auf dem Vermögen zur Kohlenstoffspeicherung.

Der natürliche Kohlenstoffkreislauf lässt sich zunächst mit der Aufnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch Pflanzen (Fotosynthese) skizzieren. Auf das Absterben der Kohlenstoffhaltigen Pflanzenreste und deren Eintrag in den Boden folgt die Fixierung von organischem Kohlenstoff in Form von Humus.

Dieses Speichervermögen ist wiederum abhängig von der Bodenart unterschiedlich ausgeprägt. Auch hängt hiervon das Ausmaß der Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs durch Bodenmikroorganismen zu CO<sub>2</sub> und der daraus resultierende Ausstoß des CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre ab.

## 1.3 Stichwort Humus

Als Humus bezeichnet man die Gesamtheit der toten organischen Substanz eines Bodens, welche sich durch die Aktivität der Bodenorganismen in einem ständigen Auf-, Ab- und Umbau befindet. Die Zufuhr organischer Substanz kann durch abgestorbene Pflanzenteile und Bodenorganismen erfolgen. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wird die Menge dabei insbesondere auch durch Ernterückstände (Wurzeln, Stroh) und die Ausbringung organischer Dünger (Gülle, Kompost) bestimmt.

Beim mikrobiellen Abbau des Humus durch Bodenorganismen werden die darin gebundenen Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphat oder Schwefel für die Pflanzen zur Verfügung gestellt und zugleich durch deren Metabolismus CO<sub>2</sub> freigesetzt. Auch können über sogenannte Ton-Humus-Komplexe weitere Nährstoffe wie Kalium oder Magnesium kationenaustauschbar an den Humusteilchen gebunden werden. Die Bodenfruchtbarkeit wird somit maßgeblich durch den Humusgehalt bestimmt, der wichtige Funktionen für diverse Bodeneigenschaften wie die Durchwurzelbarkeit, die Nährstoffdynamik und den Wasserhaushalt des Bodens erfüllt. Gleichzeitig kann ein Humusabbau durch äußere Umwelteinflüsse wie die Landnutzung oder das Klima begünstigt werden. Da der Humus ein wichtiges Zwischenprodukt im Kohlenstoffkreislauf darstellt und damit seine besondere Bedeutung im Kontext des Klimawandels einhergeht, ist ein derartig übermäßiger Abbau frühzeitig zu verhindern ohne jedoch die Nährstofflieferung für Pflanzen zu beeinträchtigen.

## 1.4 Klimawandel und Boden

Zwischen Boden und Klima herrschen komplexe Wechselwirkungen, sodass der Boden unmittelbar von Klimaänderungen betroffen ist und anthropogene Eingriffe sowie klimabedingte Veränderungen des Bodens rückkoppelnd Auswirkungen auf das Klima haben.

Eine zentrale Rolle nimmt der Boden mit ca. 1,5 · 10<sup>6</sup> Mio. Tonnen Kohlenstoff als größter terrestrischer Kohlenstoffspeicher ein [5]. Neben der Lieferung des Bodenkohlenstoffs durch die lebende Biomasse, besteht die organische Substanz, in der Gesamtheit der sogenannte Humus, im Boden etwa zur Hälfte aus Kohlenstoff. Somit kann der Boden durch Humusaufbau und eine positive Humusbilanz zum Kohlenstoff-Speicher werden und spielt deshalb eine zentrale Rolle beim Klimaschutz. Der Humus befindet sich in einem ständigen Ab- und Umbau durch Bodenmikroorganismen, wobei der Kohlenstoff so wieder in Form von Kohlendioxid in der Atmosphäre frei wird. Entscheidend für die Aktivität der Mikroorganismen sind Temperatur und Bodenfeuchte sowie Menge und Qualität der Nährstoffe.

Durch Klimawandel bedingte hohe Temperaturen nimmt auch die mikrobielle Aktivität zu, womit ein Humusabbau und eine CO<sub>2</sub>-Freisetzung einhergehen. Auch längere Trockenperioden im Sommer bewirken den oxidativen Abbau des Humus, während Stauwasserphasen im Winter im wassergesättigten Zustand eine konservierende Wirkung zur Folge haben [8].

Landnutzung und die Bodenbewirtschaftung haben ebenfalls einen deutlichen Einfluss auf die Kohlenstoffvorräte im Boden. Folglich kommt es zu einem Humusabbau, wenn durch Ernte, Mahd oder Holzschlag mehr Biomasse abgeführt wird, als dem Boden wieder zugeführt wird.

Die Klimawirkung auf den Boden auch mit Hinblick auf Bodenerosion und

Wasserhaushalt sind unbestritten, doch sind sichere Voraussagen bezüglich der Humusdynamik schwer zu machen, da die unterschiedlichsten Wechselbeziehungen komplex sind [6]. Darum sind regional differenzierte Beobachtungen essentiell, um geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Bodenkundliche Profilaufnahme

#### 2.1.1 Flächeninformation und Probenpunkte

Um Zusammenhänge zwischen der Bodenart, dem Humusgehalt und der Landnutzung bzw. der Bewirtschaftungsweise zu analysieren, wurde Kontakt zu Landwirten aufgenommen, die bereit waren, jegliche nötige Informationen zu liefern. Dazu zählten Fruchtfolgen sowie besondere Bewirtschaftungsmethoden wie Düngung, Begrünung und Umbruch. Auf Grundlage der Repräsentativität und Vergleichbarkeit der Flächen wurden zunächst verschiedene Felder am Vogelstang-See ausgewählt.

Hierbei war ein wichtiges Kriterium ein vorhandener Vergleichsparameter, sodass sich beispielsweise ein Wald am See und eine Wiese am See ausschließlich hinsichtlich der Landnutzung unterscheiden, sodass diese den Vergleichsfaktor darstellt.

Mit 14 Feldern am See wurde ein intensiv landwirtschaftlich genutztes Gebiet erfasst, während am sogenannten Viehwäldchen, einem Naturschutzgebiet, vorwiegend Brachen und Dauerkulturen vorzufinden sind. Somit stellte dieses Gebiet sechs weitere interessante Flächen zur Humusermittlung dar.

Während einer Erkundung auf den Flächen wurden standortspezifische Gegebenheiten wie unterschiedliche Höhenlagen auf demselben Feld berücksichtigt und je zwei bis drei repräsentative Probenpunkte festgelegt (siehe [Abb. 1](#) und [Tab. 1](#)).

#### 2.1.2 Probennahme-Strategie

Zur repräsentativen Stichprobenauswahl wurde eine standardisierte Probennahme-Strategie definiert. Alle Pro-

ben wurden im August am selben Tag innerhalb von zwei Stunden bei gleicher Wetterlage genommen. Hierbei wurde der A-Horizont (bis zu 15 cm Tiefe) als zu untersuchende Schicht definiert und mit einer Schaufel entnommen. Die Probe wurde in einem luftdichten Behälter transportiert. Um einen Mittelwert über einen eventuell vorhandenen Gradienten in der Probe zu erhalten, wurden Mischproben genommen, die Bodenprobe also geschüttelt, und aufliegende organische Streu ausgelesen. Um kleinräumige Unterschiede zu mitteln, wurden ebenfalls mehrere Proben pro Feld erhoben.

#### 2.1.3 Auswahl der Proben nach Fingerprobe, Carbonatgehalt und Farbsprache

Um unter den vielen Proben eine kleinere differenzierte Auswahl für die weiteren Analyseschritte zu treffen, wurde jeweils die Bodenart per Fingerprobe ermittelt. Auch wurde der Carbonatgehalt mit der Salzsäurereaktion abgeschätzt sowie der Humusgehalt mithilfe der Munsell-Farbskala [1]. Nach dieser Auswertung konnten aus



Abb. 1: Probenpunkte am Vogelstang-See (Luftbild mit freundlicher Genehmigung vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, LGL [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de))





Tab. 1: Probenregister (am See 1 bis 14, Am Viehwäldchen 15 bis 21). Es wurden keinerlei Proben unmittelbar an Straßen- oder Wegrändern genommen (anthropogener Eingriff möglich). Die farbig markierten Proben wurden per Köhn-Pipettierverfahren analysiert. Abkürzungen: ggü.: gegenüber (Straße/Weg dazwischen); zu: benachbarte Felder; R.: Rand (vor der Angrenzung an benachbarte Felder); M.: Mitte (Diagonalmitte); Fruchtfolge: Winterweizen, (Begrünung: Gelbsenf), Sommergerste, Mais/ Wintertraps

Feld	Feldbeschreibung	.1	.2	.3	.4
1	Erdbeere (je 2 Jahre) in Fruchtfolge	R. ggü. Mais	M. ggü. Erdbeere	R. ggü. Äpfeln	
2	Mais in Fruchtfolge (ohne Erdbeere)	R. zu Gerste	Mitte	R. zu Gerste	
3	Mais als Körnermais	R. zur Brücke	M. ggü. Brache (4)	R. ggü. Mais	
4	Acker zu Brache	M. ggü. Mais (3)	R. ggü. Gerste		
5	Mais als Silomais (gedüngt)	R. zu Gerste	M. ggü. Gerste (7, 8)	R. zu Grünspargel (6)	
6	Grünspargel (auf Erdbeerfeld)	R. zu Mais (5)	Ecke zu Mais (5)	R. ggü. Wiese (9)	
7	Gerste ggü. Wald	Rand zu 8	Mitte	R. zu Gärten	R. ggü. Wald
8	Gerste ggü. Mais (5)	Rand zu 7	Mitte	R. zu Brache	R. ggü. Mais
9	Wiese (wild) am kleinen See	M. ggü. Bohnen (West)	M. ggü. Grünspargel (6) (Ost)		
10	Wald am kleinen See	Wald zu 9.2	Waldrand am kleinen See		
11	Wiese am großen See	Hanglage (Nord)	Hang ggü. Strand (Süd)		
12	Wald am großen See	Wald ggü. Strand	Waldrand am großen See		
13	Acker zu Brache (groß)	Mitte	R. zur Straße		
14	Acker zu Brache (klein)	Mitte	R. zur Straße		
15	Mais (mit Kürbis und Gerste im Wechsel)	R. zu Salat	R. ggü. Wald		
16	Dauerklees	Höhenlage ggü. Mais	Tiefelage ggü. Hauptstraße		
17	Dauergerste	Mitte			
18	Klee (seit Frühjahr)	M. ggü. Mais (15)	M. ggü. Hauptstraße		
19	Spargel (seit 5 Jahren)	Tiefelage ggü. Mais	Höhenlage ggü. Hauptstraße		
20	Wiese (vorher wild)	R. ggü. Spargel			
21	Viehwäldchen	R. ggü. Spargel	R. ggü. Mais		

den mehreren Proben pro Feld einige wenige repräsentative ausgewählt werden, die im Folgenden untersucht wurden.

## 2.2 Korngrößenanalyse

Die Korngrößenanalyse erfolgte nach DIN ISO 11277:2002-08 (Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralbö-

den – Verfahren mittels Siebung und Sedimentation) sowie ergänzend DIN 1968-2:1973-04 (Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat)

### 2.2.1 Korngrößenklasseneinteilung

In [Tab. 2](#) sind die für die Korngrößenanalyse relevanten Kornfraktionen nach bodenkundlicher Kartieranleitung [1] dargestellt.

### 2.2.2 Probenvorbehandlung

Die Proben wurden luftgetrocknet, vorsichtig gemörsert, um verbackene Strukturen zu lösen und darauf grobes organisches Material herausgelesen. Da bereits bei der Fingerprobe ein hoher Sandanteil festgestellt wurde, wurden nach DIN ISO 11277 je 30 g homogene Mischprobe abgewogen.

Da der Anteil an organischer Substanz im A-Horizont hoch ist (> 2%), wurde diese vor der Analyse zerstört. Zunächst wurde die Probe mit 30 ml destilliertem Wasser durchfeuchtet und das organische Material schließlich mit 30 ml 30-prozentiger Wasserstoffperoxid-Lösung ( $H_2O_2$ ) zerstört (siehe [Abb. 2](#)). Das Probengefäß wurde mit einem Glasstab mehrmals durchmischt und die Schaumbildung mit Ethanol reguliert. Das Gefäß wurde über Nacht mit einer Petrischale abgedeckt stehen gelassen und am folgenden Tag bei 40 °C auf ein Wasserbad gestellt. Nach Abklingen der Blasenbildung infolge der Zersetzung des Wasserstoffperoxids wurde die verbliebene grobe Organik mit einer Pinzette entfernt.

Die hohe Leitfähigkeit in den Proben wies auf einen entsprechend hohen Salzgehalt hin. Deshalb wurden die Proben zur Vorbereitung des Pipettverfahrens vorher gewaschen. Dazu wurden je Probe 25 ml einer Calciumchlorid-Lösung hinzugegeben, welches als Flockungsmittel die Sedimentation der Tonminerale bewirkte. Das Gefäß wur-



Abb. 2: Reaktion nach Zugabe von  $H_2O_2$

Tab. 2: Korngrößenklasseneinteilung nach [1]

Fraktion	Äquivalenzdurchmesser in mm	Analysemethode
<b>Feinboden &lt; 2 mm</b>		
Ton	< 0,002	Sedimentationsanalyse
Schluff	0,002 bis < 0,063	
Sand	0,063 bis < 2,0	Sedimentationsanalyse
<i>Feinsand</i>	0,063 bis < 0,2	
<i>Mittel-/ Grobsand</i>	0,2 bis < 2,0	Siebanalyse
<b>Grobboden &gt; 2 mm</b>		
Kies	2 bis 63	Siebanalyse

de darauf mit destilliertem Wasser auf 250 ml aufgefüllt. Da keine Zentrifuge zur Verfügung stand, wurde die Probe vier Stunden lang stehen gelassen, bis sich alle Bodenpartikel abgesetzt hatten und anschließend der klare Überstand abpipettiert bzw. dekantiert. Das Dekantieren und Waschen mit destilliertem Wasser wurde so lange wiederholt (drei- bis viermal), bis sich eine Leitfähigkeit von etwa 0,4 mS/cm eingestellt hatte.

Für die Dispergierung von Bodenaggregaten wurde die Proben-Lösung vollständig in eine Flasche überführt, 25 ml Dispergiermittel (33g NaPO<sub>3</sub> + 7g NaCO<sub>3</sub> in 1l H<sub>2</sub>O) hinzugegeben und die Flasche auf 500 ml mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Die Proben wurden schließlich sechs Stunden lang im Überkopfschüttler geschüttelt.

### 2.2.3 Siebanalyse

Zur getrennten Erfassung der grobkörnigen Bodenbestandteile wurde die Suspension aus der Flasche möglichst rückstandsfrei durch ein Sieb mit 2-mm- (Kies) und eines mit 0,2-mm-Maschenweite (Grob-/Mittelsand) gespült und diese Rückstände jeweils in Weithalskolben überführt. Die Siebrückstände wurden bei 105 °C getrocknet. Die Fraktion > 2 mm wurde schließlich gravimetrisch bestimmt. Bei der Fraktion > 0,2 mm wurden nach dem Trocknen geringe Mengen an feineren Rückständen festgestellt, welche den Massenanteil verfälschen würden. Deshalb wurde die Fraktion noch einmal vorsichtig gemörsert, um die homogenisierte Probe erneut auf der Siebmaschine trocken durch eine 0,063-mm-Maschenweite zu sieben. Daraufhin wurde die Fraktion in gewogenen Porzellantiegeln zwei Stunden lang bei 550 °C in einem Muffelofen geglüht, um jegliche übrig gebliebene Organik zu entfernen. Nachdem die Tiegel auf Raumtemperatur abgekühlt waren, wurden diese abgewogen und das Gewicht der Fraktion durch Differenz des Leergewichts ermittelt.

### 2.2.4 Sedimentationsanalyse – Pipettmethode nach Köhn 1928

Das Prinzip basiert im Wesentlichen auf einer Auftrennung der feineren Korngrößenfraktionen (< 0,063 mm) durch Sedimentation im Schwerfeld der Erde. Nach dem Stoke'schen Gesetz wird die Sinkgeschwindigkeit  $v$  von kugelförmigen Partikeln in Abhängigkeit ihres Durchmessers  $d$  beschrieben:

$$v = d^2 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot g / 18\eta$$

$\rho_p$ : Partikeldichte in g cm<sup>-3</sup>

$g$ : Erdbeschleunigung in cm s<sup>-2</sup>

$\rho_f$ : Dichte des Fluids in g cm<sup>-3</sup>

$\eta$ : Viskosität des Fluids in g cm<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>

Somit werden zu unterschiedlichen Entnahmezeiten in einer bestimmten Entnahmetiefe jeweils nur bestimmte Partikeldurchmesser erfasst.

Nachdem die Probensuspension zunächst wie zuvor beschrieben gesiebt wurde, wurde sie in einen Sedimentationszylinder überführt und bis zur 1-Li-

ter-Marke mit destilliertem Wasser aufgefüllt. In einen weiteren Zylinder wurde 25 ml Dispergiermittel gegeben und auch dieser auf 1 l aufgefüllt. Nachdem die Temperatur der Suspensionen zur Bestimmung der Probennahmezeiten gemessen wurde, wurde der Zylinder mit einem Gummistopfen verschlossen und die Suspension durch zehnfaches Umkippen homogenisiert. Daraufhin wurde die Stoppuhr beim Absetzen des Zylinders gestartet.

Bei den Messreihen wurde eine Temperatur von 26 °C gemessen, wodurch sich für die Fraktion < 0,063 mm (Schluff und Ton) eine Probennahme in 20 cm nach 48 s ergibt, sowie für die Fraktion < 0,002 mm (Ton) in 5 cm nach 3 h 22 min 21 s. Es wurde jeweils ein Aliquot mit dem Pipettapparat (siehe Abb. 3) nach vorgegebener Anleitung entnommen und in ein Wägegläschen (Becherglas getrocknet und gewogen) überführt.

Im Anschluss daran wurde die im Zylinder verbliebene 0,063-mm-Fraktion (Feinsand) analog des in Punkt 2.2.3 beschriebenen Verfahrens bestimmt.

Auch die feinen Fraktionen wurden bei 105 °C in den Trockenschrank gestellt,



Abb. 3: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Korngrößenfraktion < 0,063 mm mittels Pipettverfahren nach Köhn



anschließend im Exsikkator über einem Trockenmittel abgekühlt und schließlich ausgewogen. Durch Differenz bei der Probenmengen erhielt man die einzelnen Korngrößenmengen.

Im Zylinder mit verdünntem Dispergiermittel wurden ebenfalls zwei Blindproben genommen und das arithmetische Mittel ihrer Trockenmasse ermittelt. Da dieses in der Suspension gelöst vorliegt und nach Eintrocknung mit der Fraktion ausgewogen wird, wurden die Massenteile um den ermittelten Mittelwert korrigiert und anschließend auf 1 l bezogen. [Volumen der Köhn-Pipette: 21,2225 ml, Multiplikation der ausgewogenen Mengen mit dem Faktor 1000/21,2225 auf 1 l]

### 2.3 Humusanteile – Bestimmung des Glühverlustes

Der Glühverlust wurde nach DIN 18128:2002-12 (Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes) bestimmt und entspricht der Vorgehensweise nach DIN 19684-3 (Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau – Chemische Laboruntersuchungen – Teil 3: Bestimmung des Glühverlustes und des Glührückstands).

#### 2.3.1 Prinzip der Methode

Durch Glühen der unbehandelten Bodenprobe bei 550 °C wird die organische Substanz zerstört. Die Gewichts-differenz des Glührückstandes zum Ausgangsmaterial stellt den Glühverlust dar und somit den Anteil der organischen Substanz in der Probe.

Da es hierbei schwerpunktmäßig auf die relativen Unterschiede der Glühverluste ankommt, können die bei allen Proben zu erwartenden geringen Verfälschungen durch teilweise ausgetriebenes Kristall-

wasser und die Oxidation von Eisenoxiden gleichermaßen vernachlässigt werden.

#### 2.3.2 Durchführung

Zunächst wurden je 25 g Bodenprobe eingewogen und in einem hitzebeständigen Glas bei 105 °C über Nacht getrocknet. Daraufhin wurden sie fein gemörsert und kleinstes organisches Material ausgelesen. Von dieser feinen Probe wurden nun ca. 10 g erneut in den Trockenschrank gestellt und in der Zwischenzeit die Porzellantiegel vorbereitet. Diese wurden gespült, mit Ethanol gereinigt und bei 105 °C getrocknet, um eine Gewichtskonstanz zu erreichen. Danach wurden sie im Exsikkator über einem Trockenmittel auf Raumtemperatur etwa eine Stunde abkühlen gelassen und schließlich auf einer Analysenwaage auf 0,0001 g genau ausgewogen. Nach dem Auswiegen wurden die Tiegel möglichst schnell mit genau 10 g zuvor im Exsikkator gekühlter Bodenprobe gefüllt. Die Tiegel wurden – bereits von der Reinigung an – nur mit einer Tiegelfange für die weiteren Schritte transportiert, um Gewichtsverfälschungen durch Fingerkontamination möglichst zu vermeiden.

Schließlich wurden die Tiegel im kalten Muffelofen positioniert und dessen Temperatur darauf stufenweise auf 550 °C gesteigert und nach deren Erreichen zwei Stunden lang geglüht. Danach wurde der Muffelofen abgeschaltet und die Tiegel wurden bei geöffneter Tür auf etwa 100 °C abkühlen gelassen, was mit einem Infrarotthermometer verfolgt wurde. Anschließend wurden die Tiegel bis zum Erreichen der Raumtemperatur in einen Exsikkator gestellt. Sobald diese erreicht war, wurden die Tiegel erneut auf 0,0001 g ausgewogen und der Glühverlust ermittelt. Der Glühverlust beschreibt den Masse-

anteil, der beim Glühen der Trockenmasse als Gas entweicht und wird wie folgt berechnet: siehe Formeln am Seitenende

## 3. Ergebnisse und Auswertung

### 3.1 Feinbodenartendreieck – Bestimmung der Bodenart

Mit den prozentualen Anteilen der Kornfraktionen, welche durch die Siebanalyse und die Sedimentationsanalyse ermittelt wurden (siehe [Tab. 3](#)), kann im sogenannten Feinbodenartendreieck (siehe [Abb. 4](#)) die Feinbodenart ermittelt werden (siehe [Tab. 4](#)).

Zum Großteil handelt es sich bei den untersuchten Feldern am Vogelstang-See um sandig-tonige Lehme, während punktuell der sandige bzw. tonige Anteil variiert (siehe [Abb. 4](#): rosa). Am Viehwäldchen sind überwiegend Sande vorzufinden, wobei teilweise auch ein hoher Lehmannteil vorhanden ist (siehe [Abb. 4](#): blau).

### 3.2 Humusanteile

Für die Proben am Vogelstang-See ergibt sich eine Abnahme der Humusgehalte (siehe [Tab. 5](#)) in der Reihenfolge Wald (ca. 10–12%), Wiese (8–10%) und Acker (1–5%). Für die sandigen Proben am Viehwäldchen sind diese Größenverhältnisse in der Form nicht erkennbar, worauf im Folgenden näher eingegangen wird.

### 3.3 Zusammenhang zwischen Bodenart, Landnutzung und Humusanteil

Die Zustandserhebung hat gezeigt, dass der Landwirt seine Felder in seiner fachlichen Praxis bereits entsprechend den jeweiligen Gegebenheiten bei Bodenart und Humusgehalt bewirtschaftet.

$$\text{Glühverlust (in \%)} = \frac{(\text{Trockengewicht des Tiegels mit Probe} - \text{Glühgewicht des Tiegels mit Probe}) \cdot 100}{(\text{Trockengewicht des Tiegels mit Probe} - \text{Leergewicht des Tiegels})}$$

$$\text{Glühverlust (in \%)} = \frac{(\text{Trockengewicht des Tiegels mit Probe} - \text{Glühgewicht des Tiegels mit Probe}) \cdot 100}{10 \text{ g}}$$





Tab. 3: Mittels Sieb- und Sedimentationsanalyse ermittelte Massen der Korngrößenfraktionen

Proben-Nr.	Siebanalyse			Sedimentationsanalyse	
	>2 mm in g	2 mm > 0,2 mm in g	0,2 mm > 0,063 mm in g	≤ 0,063 mm in g	< 0,002 mm in g
1.2	0,2560	2,3934	3,2121	0,4699	0,2265
2.2	0,1469	3,1068	3,0269	0,4616	0,2214
3.2	0,8986	6,6118	3,9837	0,3836	0,1485
4.1	0,6433	8,7261	3,6370	0,3141	0,1482
5.2	0,0813	2,5367	2,7521	0,4785	0,2212
6.1	0,0619	5,3231	5,1122	0,3788	0,1751
6.2	1,0897	9,9149	5,1152	0,2471	0,0976
7.1	0,2232	10,0532	2,7916	0,3164	0,1492
7.2	0,0665	11,0739	1,7947	0,2872	0,1457
8.2	0,1236	8,6061	3,1920	0,3270	0,1627
8.3	0,6446	13,1929	2,2673	0,2387	0,1276
9.1	0,0000	4,4988	4,1751	0,3429	0,1576
9.2	0,0000	4,1844	2,8565	0,3248	0,1804
10.1	0,0000	3,6798	3,1274	0,3361	0,1712
10.2	0,0664	3,9057	1,748	0,3142	0,1898
11.1	0,0123	3,4715	3,2779	0,3435	0,1343
11.2	0,0202	5,1291	1,9942	0,3524	0,1557
12.1	0,0319	7,8884	2,6972	0,2843	0,1320
12.2	0,0388	5,8852	1,9595	0,3379	0,147
13.1	0,2121	13,2048	0,6953	0,274	0,1572
14.1	0,1825	6,2476	4,3584	0,3549	0,193
15.1	0,0654	10,5496	2,6521	0,2904	0,1375
15.2	0,2326	13,0659	2,9708	0,2156	0,1099
16.1	0,0112	23,2742	3,4410	0,0626	0,0404
16.2	0,0206	16,9521	3,1862	0,1204	0,0700
17	0,0246	21,7815	3,8432	0,0609	0,0383
18.1	0,0386	15,7209	3,9255	0,1592	0,0907
18.2	0,0279	21,4364	3,1945	0,0703	0,0481
19.1	0,0884	16,0275	3,7532	0,1720	0,1003
19.2	0,0000	22,0379	3,0692	0,0781	0,0530
20	0,4595	13,0459	3,5430	0,2018	0,1123
21.1	0,0079	21,0034	3,2874	0,0747	0,0502
21.2	0,0132	21,3917	4,2112	0,0629	0,0403

So werden Früchte, die bezüglich der Nährstoffversorgung und des Wasserhaushalts wenige Ansprüche an den Boden haben, wie beispielsweise Spargel, bevorzugt auf sandigem Boden angebaut (vgl. Proben 19.1, 19.2). Mais ist humuszehrend, beansprucht durch den Anbau also eine große Menge Humus im Boden bzw. begünstigt den Humusabbau. Um eine ausgeglichene Humusbilanz, also ein Gleichgewicht zwischen Humusauf- und abbau aufrechtzuerhalten, muss der Humusverlust deshalb durch eine Fruchtfolge mit humusmehrenden Früchten wie Winterweizen ausgeglichen werden. Das zurückbleibende Stroh kann Humus anreichern und damit die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig aufrechterhalten, auch wenn der Verkauf des Strohs kurzfristig für die Landwirte attraktiv scheint.

Dabei weisen die sandigen Böden der Felder am Viehwaldchen teilweise trotz humusfördernder Dauerkulturen wie z. B. Gerste, einen spärlichen Humusanteil von 1 % auf (vgl. Probe 17), wäh-

rend sich der Boden mit der Bodenart (schwach-, sandig-) toniger Lehm am Vogelstang-See bis zu 14 % aus Humus zusammensetzt (vgl. Probe 10.1, 10.2). Dies ist auf die Kapazität zur Bildung von organisch-mineralischen Bindungen, den so genannten Ton-Humus-Komplexen zurückzuführen, die aufgrund der spezifischen Oberflächen der Tonminerale zustande kommen. Quarzkörner dagegen besitzen diese Oberflächen nicht, womit die Speicherfunktion über Komplexbindungen fehlt.

Bezüglich der Humusanteile lässt sich außerdem erkennen, dass sie umso höher sind, je mehr Biomasse über einen langen Zeitraum in Humus umgewandelt werden kann und je weniger zuvor abgetragen wird. So ist in einem Waldboden (vgl. Probe 10.1, 10.2) vergleichsweise zu einer Wiese bei gleicher Entwicklungsdauer (vgl. Probe 9.1, 9.2) mehr Humus vorhanden, da der Eintrag an Biomasse in den Boden höher ist. Eine Wiese (vgl. Proben 9, 10) zeigt allgemein einen höheren Humusanteil als ein Acker (vgl. Pro-

ben 1-8), doch sind auf dem Acker auch mehrere Faktoren differenzierbar. Wird ein Acker im Zwischenfruchtanbau begrünt und brachgelegt, ist sein Humusanteil höher. So wurden auf einigen Äckern Klee und Senf gemeinsam gesät und sobald der Senf geblüht und gebrochen ist, dieser nach einigen Monaten gemulcht. Diese Begrünung dient dem Erosionsschutz und zum Humusaufbau (vgl. Probe 1), während der Klee keimt, blüht und wieder gemäht wird. Dabei werden dem Boden reichlich Nährstoffe zugeführt, ebenso, wenn Dauerkulturen an humusmehrenden Früchten angebaut werden, Gerste beispielsweise (vgl. Probe 17) oder der Boden gedüngt wird. Auch zeigte sich ein Unterschied zwischen dem Anbau von Körnermais (vgl. Probe 3), dessen Ernterückstände lediglich in den Boden gegrubbert werden und Silomais (vgl. Probe 5), welcher mitsamt den Stängeln geerntet und entnommen wird. Letzterer Boden zeigt auf Dauer einen geringeren Humusgehalt, vorausgesetzt dieser wird nicht nachträglich gedüngt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Bodenart eng mit dem Humusgehalt zusammenhängt. Zugleich wird dieser jedoch maßgeblich durch anthropogenen Einfluss über Bewirtschaftungsmethoden und Fruchtanbau verändert.

Der Zusammenhang zwischen dem Humusgehalt und der Bodenart sowie der Landnutzung gegliedert in Wald, Wiese und Acker wird in [Abb. 5](#) dargestellt. Zum Zeitraum der Probennahme brachliegende Felder wurden aufgrund des minimal relevanten Zeitraums der Rubrik Acker zugeschlagen.

Es ist zu erkennen, dass der Humusanteil umso höher ist, je feinkörniger der Boden, entsprechend höher der Ton-Anteil. Diese Schlussfolgerung lässt sich unabhängig von der Landnutzung ziehen und ist insbesondere auf die besagten Ton-Humus-Komplexe zurückzuführen, deren Vermögen bedingt ist durch die Quantität der vorhandenen Tonminerale.

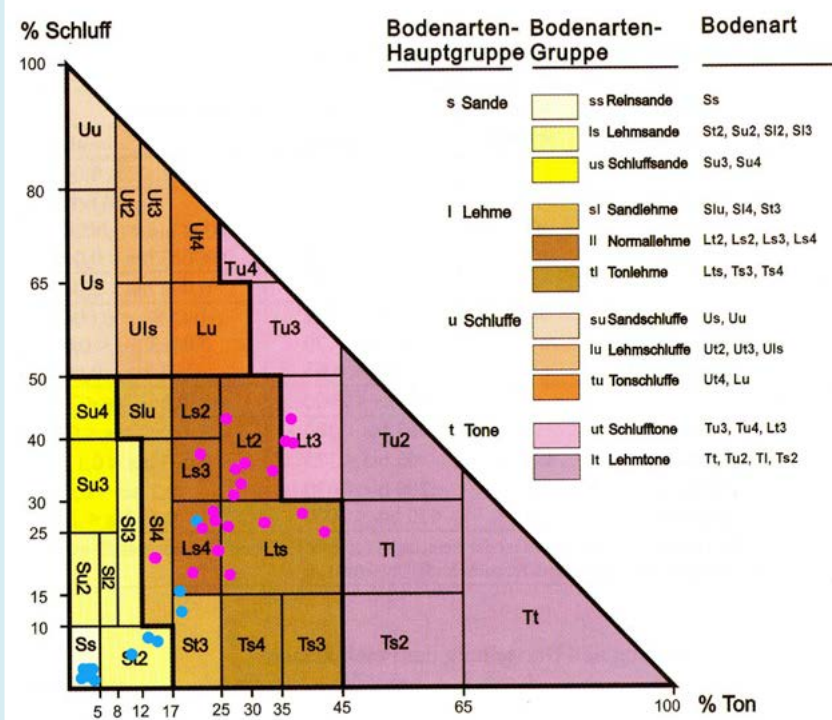


Abb. 4: Auswertung der Bodenarten im Feinbodenartendreieck nach [1]



Tab. 4: Prozentuale Anteile der Korngrößenfraktionen und ermittelte Bodenarten

Proben-Nr.	Masse: Sand in g	Masse: Schluff in g	Masse: Ton in g	Masse ges. in g	Sand in %	Schluff in %	Ton in %	Bodenart
1.2	5,6055	10,4252	9,6289	25,6597	21,85	40,63	37,53	Lt3 (mittel toniger Lehm)
2.2	6,1337	10,2745	9,3886	25,7968	23,78	39,83	36,39	Lt3 (mittel toniger Lehm)
3.2	10,5955	10,0342	5,9536	26,5832	39,86	37,75	22,40	Ls3 (mittel sandiger Lehm)
4.1	12,3631	6,7735	5,9394	25,0760	49,30	27,01%	23,69	Ls4 (stark sandiger Lehm)
5.2	5,2888	11,0802	9,3792	25,7482	20,54	43,03	36,43	Lt3 (mittel toniger Lehm)
6.1	10,4353	8,5546	7,2070	26,1969	39,83	32,66	27,51	Lt2 (schwach toniger Lehm)
6.2	15,0301	6,0007	3,5552	24,5860	61,13	24,41	14,46	Sl4 (stark lehmiger Sand)
7.1	12,8448	6,8347	5,9866	25,6661	50,05	26,63	23,32	Ls4 (stark sandiger Lehm)
7.2	12,8686	5,6237	5,8216	24,3140	52,93	23,13	23,94	Ls4 (stark sandiger Lehm)
8.2	11,7981	6,6981	6,6227	25,1189	46,97	26,67	26,37	Lts (sandig-toniger Lehm)
8.3	15,4602	4,1913	4,9688	24,6203	62,79	17,02	20,18	Ls4 (stark sandiger Lehm)
9.1	8,6739	7,6876	6,3824	22,7439	38,14	33,80	28,06	Lt2 (schwach toniger Lehm)
9.2	7,0409	5,7604	7,4567	20,2580	34,76	28,44	36,81	Lts (sandig-toniger Lehm)
10.1	6,8072	6,7263	7,0232	20,5567	33,11	32,72	34,16	Lt2 (schwach toniger Lehm)
10.2	5,6537	4,8180	7,8996	18,3713	30,77	26,23	43,00	Lts (sandig-toniger Lehm)
11.1	6,7494	8,8138	5,2845	20,8476	32,37	42,28	25,35	Lt2 (schwach toniger Lehm)
11.2	7,1233	8,2248	6,2928	21,6409	32,92	38,01	29,08	Lt2 (schwach toniger Lehm)
12.1	10,5856	6,1326	5,1761	21,8943	48,35	28,01	23,64	Ls4 (stark sandiger Lehm)
12.2	7,8447	7,9515	5,8829	21,6791	36,19	36,68	27,14	Lt2 (schwach toniger Lehm)
13.1	13,9001	4,4599	6,3635	24,7235	56,22	18,04	25,74	Lts (sandig-toniger Lehm)
14.1	10,606	6,5850	8,0504	25,2414	42,02	26,09	31,89	Lts (sandig-toniger Lehm)
15.1	13,2017	6,1609	5,4353	24,7979	53,24	24,84	21,92	Ls4 (stark sandiger Lehm)
15.2	16,0367	3,9369	4,1348	24,1083	66,52	16,33	17,15	Ls4 (stark sandiger Lehm)
16.1	26,7152	0,0024	0,8599	27,5775	96,87	0,01	3,12	Ss (reiner Sand)
16.2	20,1383	1,3311	2,2547	23,7241	84,89	5,61	9,50	St2 (schwach toniger Sand)
17	25,6247	0,0212	0,7610	26,4069	97,04	0,08	2,88	Ss (reiner Sand)
18.1	19,6464	2,1840	3,2301	25,0605	78,40	8,71	12,89	St2 (schwach toniger Sand)
18.2	24,6309	0,0024	1,2228	25,8560	95,26	0,01	4,73	Ss (reiner Sand)
19.1	19,7807	2,3348	3,6824	25,7979	76,68	9,05	14,27	St2 (schwach toniger Sand)
19.2	25,1071	0,1390	1,4536	26,6997	94,03	0,52	5,44	Ss (reiner Sand)
20	16,5889	3,1735	4,2478	24,0103	69,09	13,22	17,69	St3 (mittel toniger Sand)
21.1	24,2908	0,1107	1,3217	25,7232	94,43	0,43	5,14	Ss (reiner Sand)
21.2	25,6029	0,0212	0,8552	26,4793	96,69	0,08	3,23	Ss (reiner Sand)

Ebenso ist der Humusanteil umso höher, je weniger Biomasse im Rahmen der Landnutzung abgetragen wird bzw. je mehr zugeführt wird.

### 3.4 Interpretation der Ergebnisse

Über die regionale Zustandserhebung wurden zunächst die Zusammenhänge zwischen dem Humusgehalt, der Bodenart und der Landnutzung analysiert. Hierbei zeichnete sich die besondere

Bedeutung des Ton-Anteils ab, der das Kohlenstoffspeichervermögen über die Bildung von Ton-Humus-Komplexen maßgeblich bestimmt.

#### 3.4.1 Zusammenhang Humusgehalt und Korngröße

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus der Zustandserhebung bezüglich des engen Zusammenhanges zwischen dem Humusgehalt und der Korngrößenzusam-

mensetzung, kann nun die Speicherfunktion des Bodens in Bezug auf CO<sub>2</sub> individuell für jede Korngröße bewertet werden. Dazu werden die Ergebnisse im Folgenden basierend auf zusätzlichen Recherchen und aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen [3] interpretiert und modellhaft formuliert.

Die niedrigen Humusgehalte im Sand resultieren vor allem aus der Trockenheit des Bodens aufgrund der geringen

Tab. 5: Humusanteile



Proben-Nr.	Humusanteil je Probe in %	Humusanteil je Feld in %	Proben-Nr.	Humusanteil je Probe in %	Humusanteil je Feld in %
1.1	6,012	6,00	9.1	9,628	10,62
1.2	5,736		9.2	11,619	
1.3	6,255		10.1	12,796	13,85
2.1	5,388	10.2	14,908		
2.2	5,998	5,78	11.1	9,112	10,05
2.3	5,958		11.2	10,981	
3.1	4,696		4,80	12.1	7,382
3.2	3,671	12.2		11,230	
3.3	6,042	4,36		13.1	4,350
4.1	4,430		13.2	6,472	
4.2	4,287	4,73	14.1	4,935	4,76
5.1	4,984		14.2	4,586	
5.2	4,925		3,67	15.1	3,197
5.3	4,286	15.2		3,318	
6.1	4,044	4,86	16.1	1,354	2,40
6.2	2,612		16.2	3,455	
6.3	4,368		2,08	17	1,208
7.1	4,810	2,06		18.1	2,612
7.2	4,272		3,07	18.2	1,543
7.3	4,524	1,44		19.1	2,306
7.4	5,834		1,186	19.2	1,806
8.1	5,441	1,44		20	3,074
8.2	4,260		1,44	21.1	1,695
8.3	3,663	1,44		21.2	1,186
8.4	4,808				

Feldkapazität. Damit geht eine geringe biologische Aktivität einher, wodurch die anfallende Streu wenig zersetzt wird. Außerdem werden die Abbauprodukte zusammenhängend mit dem Mangel an Wasser als Transportmedium gering in den Boden eingearbeitet. Der Kohlenstoff bleibt demzufolge zum Großteil in Form von Streu an der Oberfläche liegen und ist somit der Erosion durch Wind und Wasser ausgesetzt. Infolge der Bewässerung als regionale Anpassungsstrategie an die zunehmende Sommertrockenheit und die hohen Temperaturen wird der Kohlenstoffumsatz im Boden nun verstärkt. Damit werden die langkettigen Kohlenstoffverbindungen zu kurz-kettigen Verbindungen umgesetzt und mit ausreichender Wasserversorgung sind sie leichter in den Boden einzuarbeiten. So reichert sich Humus im Sand an und der Boden stellt im Kontext des Klimawandels eine CO<sub>2</sub>-Senke dar.

Von der biologischen Aktivität im tonigen Boden ausgehend, ist diese ebenfalls gering, da der Boden eine sehr hohe Feldkapazität besitzt und dadurch teilweise staunass wird. Allerdings liegt der entscheidende Punkt darin, dass die Humusteilchen über die sogenannten Ton-Humus-Komplexe langfristig sehr stabil gespeichert werden. Es ist zu vermuten, dass dieses Vermögen zur Kohlenstoffspeicherung durch die spezifischen Oberflächen der Tonminerale bei Weitem nicht ausgeschöpft ist, wodurch ein verstärkter Kohlenstoffumsatz einhergehend mit der Bewässerung, eine zusätzliche Humusakkumulation zur Folge hätte. Damit stellt auch der Ton eine CO<sub>2</sub>-Senke dar.

Zwischen Sand und Ton bildet Schluff die mittlere Korngröße und weist damit auch ein relativ günstiges Wasserhaltevermögen auf und zugleich optimale Verhältnisse für eine hohe biologische Aktivität. Der Humusumsatz ist hoch und befindet sich im Idealfall in einem Gleichgewicht. Verstärkt sich nun allerdings der Kohlenstoffumsatz im Boden, fehlt durch den Mangel an Tonminera-

len das Vermögen zur Kohlenstoffspeicherung, womit der Kohlenstoff vollständig zu Kohlenstoffdioxid umgesetzt und emittiert wird. Demzufolge verliert der Boden seine Funktion als CO<sub>2</sub>-Senke und wird infolge der Bewässerung als Anpassungsstrategie zur CO<sub>2</sub>-Quelle.

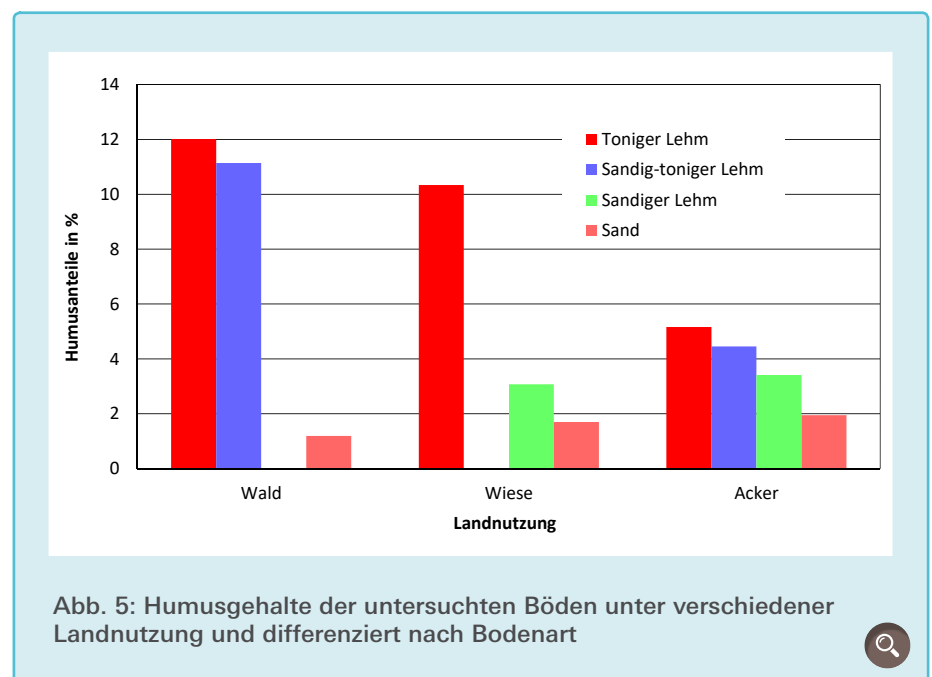
### 3.4.2 Auswirkungen für die Landwirtschaft

Nach diesen Schlussfolgerungen müssen ganz grundsätzliche Umstellungen in der Landwirtschaft angedacht werden, um eine mindestens ausgeglichene Humusbilanz zu gewährleisten. Da die künstliche Bewässerung bei Beibehaltung der bisherigen Anbaufrüchte zwar die Erträge steigert, unter den Vorzeichen höherer Temperaturen jedoch bei Schluff dazu führen kann, den Klimawandel durch verstärkte CO<sub>2</sub>-Emission weiter anzukurbeln, wären trockenresistentere Arten oder Züchtungen eine Anpassungsmöglichkeit. Auch für Sand und Ton, die bei ausreichender Wasserzufuhr und den klimabedingt hohen Temperaturen zwar CO<sub>2</sub>-Senken darstellen, ist langfristig zu bedenken, dass dies bei einer zu erwartenden größeren Häufigkeit von Dürrephasen im Hinblick auf verfügbare Wasserressourcen problematisch wird. Naheliegende Möglichkeiten

wären insofern eine angepasste Bearbeitung sandiger Böden zur Erleichterung der Humusakkumulation, ebenso durch zwischenzeitliche Begrünung. Letztere wäre für den Landwirt allerdings nur unter dem ökonomischen Aspekt nachhaltiger Entwicklung leistbar.

Aktuelle wissenschaftliche Publikationen [3] betonen die essenzielle Bedeutung der Böden für die Kohlenstoffspeicherung (und andersherum), da sowohl die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration reduziert als auch zugleich die Bodenfruchtbarkeit erhöht werden könnte. Obgleich noch viele Unsicherheiten und Unschärfen im Verständnis des Kohlenstoffkreislaufes und der vielfältigen Wechselwirkungen und Rückkopplungen zwischen Klimawandel und Humusdynamik bestehen und eine Quantifizierung der Kohlenstoffsенке „Boden“ bislang nicht möglich ist, sollte doch zumindest sichergestellt werden, dass Böden nicht durch unpassendes Bodenmanagement, dazu zählt ebenso die Anwendung von Anpassungsstrategien, zu einer Kohlenstoffquelle werden.

Mit dieser Arbeit wird daran anknüpfend ersichtlich, dass die Nachhaltigkeit jeder Anpassungsstrategie vor dem Hintergrund der dargestellten Zusammen-



hänge eine differenzierte Betrachtung nötig macht, um keine negativen Rückkopplungen durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Emission auszulösen. Dazu wären weiterführende Kontrollexperimente im Hinblick auf die aus den Anpassungsstrategien resultierenden Änderungen der Humusbilanz und Messreihen explizit zu Korngrößengemischen empfehlenswert.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei meinem Betreuer Dipl.-Geökol. Daniel Volz und seiner Kollegin Dipl.-Geogr. Svenja Brockmüller für ihre unermüdliche Unterstützung bei der Umsetzung dieses Projektes bedanken. In diesem Zusammenhang gilt mein Dank der Abteilung Geographie der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, die mir das Labor für mehrere Wochen zur Verfügung stellte. Auch bedanke ich mich recht herzlich bei Prof. Dr. Hermann Jungkunst dafür, dass er sich Zeit für ein intensives Gespräch genommen und mir bei der Interpretation der Ergebnisse geholfen hat.

Ein besonderer Dank gilt den Lehrern Heike Magg und Patricia Wiegand, die mich jahrelang mit großem Engagement in der „Jugend-Forscht-AG“ befreut haben sowie Hannelore Scheid, die mich für die Abiturprüfung mit schulrelevanter Literatur eingedeckt hat. Meinen Eltern und meinem Bruder danke ich ganz besonders für die tatkräftige Unterstützung bei der Probennahme.

## Literatur

- [1] AG Boden – Ad-hoc-AG Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Hannover.
- [2] Brunotte, E. (Hrsg.) (2001): *Lexikon der Geographie*. Spektrum, Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin.
- [3] Heitkamp, F., Jacobs, A., Jungkunst, H.F., Heinze, S., Wendland, M., Kuzyakov, Y. (2012): *Processes of Soil Carbon Dynamics and Ecosystem Carbon Cycling in a Changing World*. In: Lal, R., Lorenz, K., Hüttl, R.F., Schneider, B.U., Von Braun, J. (Hrsg.): *Recarbonization of the Biosphere, Ecosystems and the Global Carbon Cycle*. Springer Netherlands. Dordrecht.
- [4] Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (Hrsg.) (2015): *Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE LW), Böden und Klimaschutz – Potenziale erkennen und nutzen*. Online verfügbar unter: [https://www.thuenen.de/media/institute/ak/Projekte/bze-lw/Flyer\\_BZE-LW\\_2014.pdf](https://www.thuenen.de/media/institute/ak/Projekte/bze-lw/Flyer_BZE-LW_2014.pdf) [Stand: 03/2016]
- [5] UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2008): *Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden*. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-von-optimalgehalten-an-organischer> [Stand: 03/2016]
- [6] UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): *Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe der Bundesregierung*. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2015> [Stand: 03/2016]
- [7] UM BW – Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.) (2015): *Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg, Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen in relevanten Handlungsfeldern*. Online verfügbar unter: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimawandel/anpassungsstrategie-baden-wuerttemberg/> [Stand: 03/2016]
- [8] UM/LLUR SH – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig Holstein: *Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden Schleswig-Holsteins*. Online verfügbar unter: <http://www.schleswig-holstein.de/DE/Themen/B/boden.html> [Stand: 03/2016]
- [9] UM/LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2015): *Klimawandel in Baden-Württemberg\_Fakten-Folgen-Perspektiven*. Online verfügbar unter: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972/> [Stand: 03/2016]
- [10] Barsch, H., Billwitz, K., Bork, H.-R. (Hrsg.) (2000): *Arbeitsmethoden in Physische Geographie und Geoökologie*. Klett-Perthes. Gotha, Stuttgart.
- [11] Bauer, J., Englert, W., Meier, U., Morgenerer, F., Waldeck, W. (Hrsg.) (2001): *Physische Geographie – Materialien für den Sekundarbereich II*. Schroedel. Hannover.
- [12] Blume, H.-P., Stahr, K., Leinweber, P. (Hrsg.) (2011): *Bodenkundliches Praktikum*. 3. neu bearbeitete Auflage. Spektrum, Akademischer Verlag. Heidelberg.
- [13] Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2009): *Where have all the flowers gone? Grünland im Umbruch*. Bonn. (Positionspapier)
- [14] Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft: *Humusgehalte ackerbaulich genutzter Sandböden im Klimawandel – Experimente und Modellierung*. Jahrestagung der DBG, 3.–9. September 2011, Berlin.
- [15] Eitel, B., Faust, D. (Hrsg.) (2013): *Bodengeographie – Das geographische Seminar*. Westermann. Braunschweig.
- [16] Hülsbergen, J. (Hrsg.) (2012): *Humusaufbau als Chance im Klimawandel*. 6. Niedersächsisches Fachforum Ökolandbau, Altwarmbüchen.
- [17] IDW-Informationdienst Wissenschaft: *Boden nutzen und Klima schützen: Zalf verbindet Wissen über Bodenfunktionen und Nutzungssysteme*. ENDE, H.-P. Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung (ZALF) e.V. 04.12.2015.
- [18] Karl, S., Kandeler, E., Herrmann, L., Streck, T. (Hrsg.) (2012): *Bodenkunde und Standortlehre – Grundwissen Bachelor*. Ulmer. Stuttgart.
- [19] Kreuz, A., Korby, W., Rendel, A. et al (Hrsg.) (2010): *Terra – Geographie Kursstufe Gymnasium Baden-Württemberg*. Ernst Klett Verlag. Stuttgart, Leipzig.

- [20] LTZ – Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (Hrsg.) (2010): Bestimmung der Bodenart des Feinbodens mit der Fingerprobe.
- [21] Nätscher, L. (Hrsg.) (2009): Die Bestimmung der Bodenart mittels Fingerprobe. Bioanalytik Weihenstephan, TU München.
- [22] Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen bei der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (Hrsg.) (2015): Klimawandel in Rheinland-Pfalz\_Themenheft Boden.
- [23] UM NRW – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2011): Klimawandel und Boden\_ Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Boden als Pflanzenstandort.
- [24] VDLUFA – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.) (2010): Schlussbericht zum F&E-Vorhaben „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden-Einflussfaktoren und deren Auswirkungen“.
- [25] Titelbild und Fotos der Feldversuche [11.2]: Helin Dogan
- [26] Fotos der Laboranalysen: Dipl.-Geoökol. Daniel Volz (Pädagogische Hochschule Heidelberg, Abt. Geographie)

# Publiziere auch Du hier!

FORSCHUNGSARBEITEN VON  
SCHÜLER/INNE/N UND STUDENT/INN/EN

In der Jungen Wissenschaft werden Forschungsarbeiten von SchülerInnen, die selbstständig, z. B. in einer Schule oder einem Schülerforschungszentrum, durchgeführt wurden, veröffentlicht. Die Arbeiten können auf Deutsch oder Englisch geschrieben sein.

## Wer kann einreichen?

SchülerInnen, AbiturientInnen und Studierende ohne Abschluss, die nicht älter als 23 Jahre sind.

## Was musst Du beim Einreichen beachten?

Lies die [Richtlinien für Beiträge](#). Sie enthalten Hinweise, wie Deine Arbeit aufgebaut sein soll, wie lang sie sein darf, wie die Bilder einzureichen sind und welche weiteren Informationen wir benötigen. Solltest Du Fragen haben, dann wende Dich gern schon vor dem Einreichen an die Chefredakteurin Sabine Walter.

Lade die [Erstveröffentlichungserklärung](#) herunter, drucke und fülle sie aus und unterschreibe sie.

Dann sende Deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung per Post an:

### Chefredaktion Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter  
Paul-Ducros-Straße 7  
30952 Ronnenberg  
Tel: 05109 / 561508  
Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)

## Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter, der die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird den Euch, den AutorInnen zugeschickt und Du erhältst gegebenenfalls die Möglichkeit, Hinweise des Fachgutachters einzuarbeiten.

Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie **Jugend forscht** die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und als Open-Access-Beitrag veröffentlicht.

## Was ist Dein Benefit?

Deine Forschungsarbeit ist nun in einer Gutachterzeitschrift (Peer-Review-Journal) veröffentlicht worden, d. h. Du kannst die Veröffentlichung in Deine wissenschaftliche Literaturliste aufnehmen. Deine Arbeit erhält als Open-Access-Veröffentlichung einen DOI (Data Object Identifier) und kann von entsprechenden Suchmaschinen (z. B. BASE) gefunden werden.

Die Junge Wissenschaft wird zusätzlich in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet, d. h. Deine Arbeit kann von Experten gefunden und sogar zitiert werden. Die Junge Wissenschaft wird Dich durch den Gesamtprozess des Erstellens einer wissenschaftlichen Arbeit begleiten – als gute Vorbereitung auf das, was Du im Studium benötigst.





# Richtlinien für Beiträge

FÜR DIE MEISTEN AUTOR/INN/EN IST DIES DIE ERSTE WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNG. DIE EINHALTUNG DER FOLGENDEN RICHTLINIEN HILFT ALLEN – DEN AUTOR/INNEN/EN UND DEM REDAKTIONSTEAM

Die Junge Wissenschaft veröffentlicht Originalbeiträge junger AutorInnen bis zum Alter von 23 Jahren.

- Die Beiträge können auf Deutsch oder Englisch verfasst sein und sollten nicht länger als 15 Seiten mit je 35 Zeilen sein. Hierbei sind Bilder, Grafiken und Tabellen mitgezählt. Anhänge werden nicht veröffentlicht. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis zählen nicht mit.
- Formulieren Sie eine eingängige Überschrift, um bei der Leserschaft Interesse für Ihre Arbeit zu wecken, sowie eine wissenschaftliche Überschrift.
- Formulieren Sie eine kurze, leicht verständliche Zusammenfassung (maximal 400 Zeichen).
- Die Beiträge sollen in der üblichen Form gegliedert sein, d. h. Einleitung, Erläuterungen zur Durchführung der Arbeit sowie evtl. Überwindung von Schwierigkeiten, Ergebnisse, Schlussfolgerungen, Diskussion, Liste der zitierten Literatur. In der Einleitung sollte die Idee zu der Arbeit beschrieben und die Aufgabenstellung definiert werden. Außerdem sollte sie eine kurze Darstellung schon bekannter, ähnlicher Lösungsversuche enthalten (Stand der Literatur). Am Schluss des Beitrages kann ein Dank an Förderer der Arbeit, z. B. Lehrer und Sponsoren, mit vollständigem Namen angefügt werden. Für die Leser kann ein Glossar mit den wichtigsten Fachausdrücken hilfreich sein.
- Bitte reichen Sie alle Bilder, Grafiken und Tabellen nummeriert und zusätzlich als eigene Dateien ein. Bitte geben Sie bei nicht selbst erstellten Bildern, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. die genauen und korrekten Quellenangaben an (siehe auch [Erstveröffentlichungserklärung](#)). Senden Sie Ihre Bilder als Originaldateien oder mit einer Auflösung von mindestens 300 dpi bei einer Größe von 10 x 15 cm! Bei Grafiken, die mit Excel erstellt wurden, reichen Sie bitte ebenfalls die Originaldatei mit ein.
- Vermeiden Sie aufwendige und lange Zahlentabellen.
- Formelzeichen nach DIN, ggf. IUPAC oder IUPAP verwenden. Gleichungen sind stets als Größengleichungen zu schreiben.
- Die Literaturliste steht am Ende der Arbeit. Alle Stellen erhalten eine Nummer und werden in eckigen Klammern zitiert (Beispiel: Wie in [12] dargestellt ...). Fußnoten sieht das Layout nicht vor.

- Reichen Sie Ihren Beitrag sowohl in ausgedruckter Form als auch als PDF ein. Für die weitere Bearbeitung und die Umsetzung in das Layout der Jungen Wissenschaft ist ein Word-Dokument mit möglichst wenig Formatierung erforderlich. (Sollte dies Schwierigkeiten bereiten, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, damit wir gemeinsam eine Lösung finden können.)
- Senden Sie mit dem Beitrag die [Erstveröffentlichungserklärung](#) ein. Diese beinhaltet im Wesentlichen, dass der Beitrag von dem/der angegebenen AutorIn stammt, keine Rechte Dritter verletzt werden und noch nicht an anderer Stelle veröffentlicht wurde (außer im Zusammenhang mit **Jugend forscht** oder einem vergleichbaren Wettbewerb). Ebenfalls ist zu versichern, dass alle von Ihnen verwendeten Bilder, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. von Ihnen veröffentlicht werden dürfen, also keine Rechte Dritter durch die Verwendung und Veröffentlichung verletzt werden. Entsprechendes [Formular](#) ist von der Homepage [www.junge-wissenschaft.ptb.de](http://www.junge-wissenschaft.ptb.de) herunterzuladen, auszudrucken, auszufüllen und dem gedruckten Beitrag unterschrieben beizulegen.
- Schließlich sind die genauen Anschriften der AutorInnen mit Telefonnummer und E-Mail-Adresse sowie Geburtsdaten und Fotografien (Auflösung 300 dpi bei einer Bildgröße von mindestens 10 x 15 cm) erforderlich.
- Neulingen im Publizieren werden als Vorbilder andere Publikationen, z. B. hier in der Jungen Wissenschaft, empfohlen.

# Impressum

[JUNGE]  
wissenschaft



## Junge Wissenschaft

c/o Physikalisch-Technische  
Bundesanstalt (PTB)  
[www.junge-wissenschaft.ptb.de](http://www.junge-wissenschaft.ptb.de)

## Redaktion

Dr. Sabine Walter, Chefredaktion  
Junge Wissenschaft  
Paul-Ducros-Str. 7  
30952 Ronnenberg  
E-Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)  
Tel.: 05109 / 561 508

## Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,  
Pressesprecher der PTB  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
E-Mail: [jens.simon@ptb.de](mailto:jens.simon@ptb.de)  
Tel.: 0531 / 592 3006  
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)

## Design & Satz

Sabine Siems  
Agentur „provieler werbung“  
E-Mail: [info@provieler-werbung.de](mailto:info@provieler-werbung.de)  
Tel.: 05307 / 939 3350

