

AUSBRINGUNG  
UNTERSCHIEDLICH HOHER HACKSCHNITZELMENGEN  
AUF ACKERBÖDEN

**Auswirkungen auf Boden, Fruchtart und Wassererosion.**

**Masterarbeit**

eingereicht von

**Ruth Veronika PAMMER** Bakk.techn.

an der Universität für Bodenkultur, Wien

August 2012

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Peter Liebhard

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau



Dipl.-Ing. Herbert Eigner

Zuckerforschung Tulln GmbH





## **Danksagung**

Ich danke jedem meiner drei Betreuer für ihren außergewöhnlichen Zeitaufwand und die Qualität des Betreuungsklimas.

Lili König und Roman danke ich für ihre Gesellschaft bei der Proben- und Feldarbeit: gottseidank hatte ich euch, und nicht jemand anders.

Meine Anerkennung und mein Dank gelten meinen Eltern für Unterstützungen aller Art auf meinem definitiv nicht geraden Weg hierher.

..und für Genetik und Kleinkindstadiumerziehung ;)

Um Entschuldigung für oftmaliges Aufwecken in viel zu früher Frühe bitte ich Habakuk und Karin – ihr habt natürlich besseres verdient. Kuss, und auf dass ihr ewig in meinem Leben bleibt.

Allen Höfen auf denen ich gearbeitet habe, und ihren Menschen: es war super.





# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Problemstellung</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2 Zielsetzung</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3 Fragestellung</b> .....	<b>21</b>
<b>2. Ausgewählte Literatur</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1 Grundlagen Boden</b> .....	<b>23</b>
2.1.1 Humus .....	23
2.1.2 Der landwirtschaftliche Boden .....	27
2.1.3 Möglichkeiten zur Verminderung der Wassererosion.....	31
<b>2.2 Holz und Holzderivate</b> .....	<b>35</b>
2.2.1 Dekompositionscharakteristik von Holz (Hackschnitzeln) .....	35
2.2.2 Relevante chemisch-physikalische Charakteristika von Holz .....	38
2.2.3 Ausgangszusammensetzungen von Asche und verkohltem Holz im Vergleich zu Holz .....	39
2.2.4 Mögliche Probleme der HS-Verwendung .....	40
2.2.5 Praxisrelevante und wirtschaftliche Aspekte der Ausbringung von Hackschnitzeln .....	43
2.2.5 - I. Wahl des Holzes .....	43
2.2.5 - II. Ökonomisch konkurrenzierende Holzverwertung .....	44
<b>2.3 Landwirtschaftliche Praktiken und Ansätze</b> .....	<b>46</b>
2.3.1 Verwendung von Hackschnitzeln als meliorierender Stoff.....	46
2.3.2 Konkurrenzierende Verfahren zur Hackschnitzel-Ausbringung .....	54
2.3.2 - I. Verfahren zur Verminderung der Wasser-Erosion .....	55
2.3.2 - II. Effizientere Verwendung von Holz als meliorierenden Stoff? .....	56
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>58</b>
<b>3.1 Standorte</b> .....	<b>59</b>
3.1.1 Boden .....	61
3.1.2 Witterung .....	64
<b>3.2 Methoden</b> .....	<b>67</b>
3.2.1 Versuchsanlage .....	67
3.2.2 Varianten .....	67
3.2.3 Versuchsdurchführung .....	68
3.2.4 Datenerhebung und mathematisch statistische Auswertung .....	71
<b>3.3 Kennwerte des Bodens</b> .....	<b>74</b>
3.3.1 Verrottung organischer Substanz.....	74
3.3.2 Humusgehalt .....	76
3.3.3 Bodenfeuchte.....	76
3.3.4 Bodentemperatur .....	77
3.3.5 Eindringwiderstand .....	78

3.3.6	Infiltrationsrate .....	78
3.3.7	Veränderung ausgewählter Pflanzennährstoffe .....	81
<b>3.4</b>	<b>Wachstum, Ertragsbildung und Ertrag .....</b>	<b>83</b>
3.4.1	Ertragsbildung und Ertrag bei Getreide, 2010.....	83
3.4.2	Wachstums- und Entwicklungsverlauf bei Mais, 2011 .....	84
	3.4.2 - I. Zählung und Messung des Maisaufganges .....	84
	3.4.2 - II. Frischgewicht des Jungmaises .....	85
	3.4.2 - III. Wuchshöhe in der Blüte.....	86
	3.4.2 - IV. Stickstoffgehalt in der Milchreife .....	86
3.4.3	Ertragsbildung und Ertrag bei Mais, 2011 .....	87
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1</b>	<b>Kennwerte des Bodens .....</b>	<b>89</b>
4.1.1	Verrottungsgrad der Hackschnitzel und Humusgehalt.....	89
	4.1.1 - I. Verrottung der organischen Substanz.....	89
	4.1.1 - II. Humus-Gehalt.....	91
4.1.2	Auswirkung der Hackschnitzel auf ausgewählte Bodenkennwerte und den Nährstoffgehalt.....	92
	4.1.2 - I. Bodenfeuchte .....	92
	4.1.2 - II. Bodentemperatur .....	96
	4.1.2 - III. Eindringwiderstand .....	98
	4.1.2 - IV. Infiltrationsrate.....	99
	4.1.2 - V. Nährstoffgehalt nach EUF.....	99
<b>4.2</b>	<b>Pflanzliche Parameter .....</b>	<b>101</b>
4.2.1	Auswirkung der Hackschnitzel auf ausgewählte Kennwerte im Wachstums- und Entwicklungsverlauf.....	101
	4.2.1 - I. Keimrate .....	101
	4.2.1 - II. Maisaufgang – Wuchshöhe .....	103
	4.2.1 - III. Frischgewicht des Jungmaises.....	105
	4.2.1 - IV. Wuchshöhe zur Zeit der Blüte.....	106
	4.2.1 - V. Stickstoffgehalt in der Milchreife .....	107
	4.2.1 - VI. Unkrautbesatz, 2011 .....	108
4.2.2	Auswirkung der Hackschnitzel auf Kennwerte der Ertragsbildung und des Ertrags.....	108
	4.2.2 - I. Getreide, 2010 .....	108
	4.2.2 - II. Mais, 2011 .....	109
<b>5.</b>	<b>Conclusio .....</b>	<b>111</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>116</b>
<b>7.</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>119</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>121</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung 1:</b>	Oberboden ca. 7 Jahre nach der Ausbringung von ankompostiertem Holzmaterial.....	15
<b>Abbildung 2:</b>	Vegetationsunterschied zweier Teile einer Brachfläche mit ehemals homogenem Erscheinungsbild, ca. 7 Jahre nach der Ausbringung von ankompostiertem Holzmaterial auf einen Teil der Fläche .....	15
<b>Abbildung 3:</b>	Gesamterscheinungsbild zweier Teile einer Brachfläche mit ehemals homogenem Erscheinungsbild, ca. 7 Jahre nach der Ausbringung von ankompostiertem Holzmaterial auf einen Teil der Fläche .....	16
<b>Abbildung 4:</b>	Oberboden zweier Teile einer Brachfläche mit ehemals homogenem Erscheinungsbild, ca. 7 Jahre nach der Ausbringung von ankompostiertem Holzmaterial auf einen Teil der Fläche. ....	17
<b>Abbildung 5:</b>	Quantitative Annäherung an das endgültige Umsetzungsprodukt verschiedenster Ausgangssubstanzen. ....	24
<b>Abbildung 6:</b>	Überblickskarte - Standorte der Versuchsanlagen und der Wetterstation .....	60
<b>Abbildung 7:</b>	Lufttemperatur in °C - Langenlebarn, Mittel von 1971-2000. ....	65
<b>Abbildung 8:</b>	Niederschlag in mm - Langenlebarn, Mittel von 1971-2000. ....	65
<b>Abbildung 9:</b>	Versuchsplan der Langparzellenversuchsanlage Tulln.....	69
<b>Abbildung 10:</b>	Versuchsplan der Langparzellenversuchsanlage Atzelsdorf.....	70
<b>Abbildung 11:</b>	Übersichtsplan zur Probenahme sowie zur Verteilung der Mess-Stellen auf den Langparzellen-Versuchsanlagen TULLN und ATZ.....	73
<b>Abbildung 12:</b>	Einfluss unterschiedlich hoher HS-Beaufschlagung auf die Bodenfeuchte der Standorte TULLN und ATZ. prozentuelle Abweichung vom interpolierten Standard-Wert. Mai 2011.	93
<b>Abbildung 13:</b>	Einfluss unterschiedlich hoher HS-Beaufschlagung auf die Bodenfeuchte der Standorte TULLN und ATZ. Gravimetrischer Wassergehalt (Gewicht/Wasser/Trockengewicht Boden) und absolute Abweichung des grav. Wassergehaltes vom interpolierten Standard-Wert . Mai 2011. ....	93
<b>Abbildung 14:</b>	Differenzen der Tages-Minimaltemperaturen und der Tages-Maximaltemperaturen von den Varianten mit 30 und 90 t/ha HS-Beaufschlagung zu den Werten einer Standard-Variante, am Standort TULLN, Sommer 2011. ....	96
<b>Abbildung 15:</b>	Differenzen der Tages-Minimaltemperaturen und der Tages-Maximaltemperaturen von den Varianten mit 30 und 90 t/ha HS-Beaufschlagung zu den Werten einer Standard-Variante, am Standort ATZ, Sommer 2011.....	97
<b>Abbildung 16:</b>	Nitrat- und Natriumgehalt (mg/100g Boden) im Oberboden am Standort TULLN in den Jahren 2008, 2009 und 2010. ....	99
<b>Abbildung 17:</b>	Nitratgehalt (mg/100g Boden) im Oberboden am Standort ATZ in den Jahren 2009 und 2010.....	100
<b>Abbildung 18:</b>	Einfluss einer ein- und zweimaligen, unterschiedlich hohen HS-Beaufschlagung auf den Feldaufgang bei Mais (Reihenlänge: zehn Meter) zu zwei Zeitpunkten, Standort TULLN, 2011 .....	101

<b>Abbildung 19:</b>	Einfluss einer ein- und zweimaligen, unterschiedlich hohen HS-Beaufschlagung auf den Feldaufgang bei Mais (Reihenlänge: zehn Meter) zu fünf Zeitpunkten, Standort ATZ, 2011.....	102
<b>Abbildung 20:</b>	Einfluss einer einmaligen und zweimaligen unterschiedlich hohen HS-Beaufschlagung auf die Höhe der gekeimten Maispflanzen des Standortes TULLN im Jahr 2011. Darstellung als prozentuelle vom aus den flankierenden Standardparzellen interpolierten Soll-Wert (theoretischer Wert).....	106
<b>Abbildung 21:</b>	Einfluss einer einmaligen und zweimaligen unterschiedlich hohen HS-Beaufschlagung auf die Höhe der gekeimten Maispflanzen des Standortes TULLN im Jahr 2011. ....	103
<b>Abbildung 22:</b>	Höhe der Maispflanzen der unaufgedoppelten Varianten auf dem Standort ATZ, 2011.	104
<b>Abbildung 23:</b>	Höhe der Maispflanzen der aufgedoppelten Varianten auf dem Standort ATZ, 2011....	104
<b>Abbildung 24:</b>	Einfluss unterschiedlich hoher Beaufschlagung mit Hackschnitzeln auf die Wuchshöhe von Mais (in cm), Standorte TULLN und ATZ, 2011. ....	106
<b>Abbildung 25:</b>	Einfluss einer zweimaligen, unterschiedlich hohen Beaufschlagung mit Hackschnitzeln auf die Wuchshöhe von Mais (in cm), Standorte TULLN und ATZ, 2011.....	106
<b>Abbildung 26:</b>	Verringerter Unkrautbesatz auf der Variante mit einer Hackschnitzelbeaufschlagung von 180 t/ha, Standort TULLN, 2011.....	108
<b>Abbildung 27:</b>	Maispflanzen einer Standard-Variante und der mit 90 t/ha beaufschlagten Variante (Hackschnitzel) des Standortes Tulln, 19. Mai 2011.....	113

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 1:</b>	Übersicht über die Eigenschaften von Humaten mit Anmerkungen zu relevanten Unterschieden zu den Eigenschaften der zwei anderen Huminsäure-Formen der Humine und Fulvate .....	26
<b>Tabelle 2:</b>	Anteile von Lignin und Zellulose an mehreren Koniferen und Weichhölzern (Werte in % extraktfreien Holzes).....	35
<b>Tabelle 3:</b>	C/N-Verhältnisse ausgewählter Materialien - Holzschnitt, Rinde, Laub und Nadeln, verschiedenartigen Sägemehle, verschiedenartigen Getreidestroh.....	36
<b>Tabelle 4:</b>	Anhaltswerte für die Wärmeleitfähigkeit verschiedener wassergesättigter Böden .....	38
<b>Tabelle 5:</b>	Übersicht über die im Kapitel 2.3.1 vorgestellten Studien. ....	47
<b>Tabelle 6:</b>	Bodenphysikalische und -chemische Ergebnisse aus dem Versuch von Free (1971). ....	48
<b>Tabelle 7:</b>	Bodenphysikalische und -chemische Ergebnisse aus dem Versuch von Hoagland et al. (2008). ....	49
<b>Tabelle 8:</b>	Bodenphysikalische und -chemische Ergebnisse aus dem Versuch von Holtz et al. (2004). ....	49
<b>Tabelle 9:</b>	Bodenphysikalische und -chemische Ergebnisse aus dem Versuch von Miller et al. (2000). ....	50
<b>Tabelle 10:</b>	Bodenphysikalische und -chemische Ergebnisse aus dem Versuch von Tahboub et al. (2008). ....	51
<b>Tabelle 11:</b>	Bodenphysikalische und -chemische Ergebnisse aus dem Versuch von Foltz und Copeland (2008). ....	53
<b>Tabelle 12:</b>	Bodenphysikalische und -chemische Ergebnisse aus dem Versuch von Gao et al. (2007). ....	54
<b>Tabelle 13:</b>	Nährstoffgehalte am Standort TULLN im Herbst 2008 nach EUF, in mg/100 g Boden; Trennung nach Flächennutzung im Vorjahr (B: Brache, ZR: Zuckerrübe). ....	62
<b>Tabelle 14:</b>	Nährstoffgehalte am Standort ATZ im Herbst 2009 nach EUF, in mg/100 g Boden. ....	63
<b>Tabelle 15:</b>	Witterungsverhältnisse 2009 – 2011, Tulln/Langenlebarn. ....	66
<b>Tabelle 16:</b>	Niederschlagswerte im Monatsmittel, Tulln/Langenlebarn, Jahr 2011. ....	66
<b>Tabelle 17:</b>	Bodenbearbeitung der Langparzellenversuchsanlagen TULLN und ATZ im Vorversuchsjahr und den Versuchsjahren 2008-2011. ....	68
<b>Tabelle 18:</b>	Übersicht über die Messungen des Eindringwiderstandes, 2011. ....	78
<b>Tabelle 19:</b>	Übersicht der Messungen der Infiltrationsrate, 2011. ....	79
<b>Tabelle 20:</b>	Tage an denen im Jahr 2011 Keimrate und Wuchshöhe von Maispflanzen der Versuchsstandorte TULLN und ATZ erhoben wurden. ....	85
<b>Tabelle 21:</b>	Übersicht über die durchgeführten Messungen des Stickstoffgehaltes zur Milchreife, Mais 2011. ....	86
<b>Tabelle 22:</b>	Anteil an grobem organischen Material am Boden, in % der Bodenprobe. Standorte TULLN und ATZ, Herbst 2010. ....	89
<b>Tabelle 23:</b>	Anteil an mittelgrober organischer Substanz am Boden, in % der Bodenprobe. Standorte TULLN und ATZ, Herbst 2010. ....	90
<b>Tabelle 24:</b>	Anteil an organischem Kohlenstoff am Boden, in % der Bodenprobe. Standorte TULLN und ATZ, Herbst 2010. ....	90

<b>Tabelle 25:</b>	Humusgehalte der Parzellen der Standorte TULLN und ATZ im Jahr 2010. ....	91
<b>Tabelle 26:</b>	Humusgehalt (in %) des Versuchsstandortes ATZ im Jahr 2009. ....	92
<b>Tabelle 27:</b>	Penetrometer-Eindringwiderstand (N/m <sup>2</sup> ) an den Standorten TULLN und ATZ, Frühjahr 2011. ....	98
<b>Tabelle 28:</b>	Frischgewicht (in g/Pflanze) der Maispflanzen an den Standorten TULLN und ATZ, im Mai 2011. ....	105
<b>Tabelle 29:</b>	Mit einem Hydro-N-Tester gemessene Blattfarbenwerte der Maispflanzen auf den Standorten TULLN und ATZ, im Stadium der Milchreife, 2011. ....	107
<b>Tabelle 30:</b>	Parameter des Ertrages und der Ertragsbildung des Getreides der Standorte TULLN und ATZ, 2010. ....	109
<b>Tabelle 31:</b>	Parameter des Ertrages und der Ertragsbildung des Maises der Standorte TULLN und ATZ, 2011. ....	110



# 1. EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die Bedeutung des Bodens, Basis jeglicher ackerbaulichen Tätigkeit seiend, ist selten am Landwirt vorbeigegangen: dementsprechend kann auf viele Maßnahmen und Methoden zurückgegriffen werden die die nachhaltige Ertragsfähigkeit (das Wohlbefinden) des Bodens unterstützen. Sie zielen entweder auf eine Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit ab (wie zB. das Ausbringen von Stallmist), oder darauf, die Bodenfruchtbarkeit vermindernde Vorgänge zu verhindern (wie zB. die Errichtung von Windschutzgürteln gegen Winderosion).

Manche Maßnahmen bergen das Potential in beiden Bereichen Erfolge zu erzielen, so wie der Zugang der in dieser Arbeit bearbeitet wird. Von der getesteten Maßnahme – Aufbringung von Hackschnitzeln auf Äcker – wird das Potential zu kurzfristig erzielter Verringerung der Wassererosion (Oberflächenbedeckung) erwartet, und langfristig eine Erhöhung des Humusgehaltes.

Die sofortige und die erst später einsetzende erosionsmindernde Wirkung der Hackschnitzel wird in Kapitel 2.1.3 besprochen. Die Eignung von Holz zum Aufbau des Humusgehaltes ist hauptsächlich in den Kapiteln 2.1.1 und 2.2 aufbereitet.

Wassererosion von wertvollem Ackerboden in Hanglagen betrifft viele Gebiete Österreichs – sowohl das pannonische Trockengebiet, in dem die Versuchsstandorte liegen, als auch zB. die niederschlagsreicheren Zonen wie das südoststeirische Hügelland, mit seinem Schwerpunkt auf Maisanbau, und andere. Offener Boden zwischen den Reihen führt bereits in sehr leichten Hanglagen zu den häufig anzutreffenden Rinnen. Wasser, das nicht schnell genug in den Boden einsickern kann fließt auf der Oberfläche ab. Ein Fluss entsteht, der wertvollen Oberboden mit sich zieht; und auch wo die Erde am Acker (in Senken) verbleibt: die erodierte Fläche verliert an Qualität.

Das Problem der Wassererosion auf Hang- und Kuppenlagen, speziell im Zuge einer (im Vergleich zu Getreidekulturen) weitreihigen Hackfrucht, wirft die Frage auf was gegen diese Art der Erosion getan werden kann, und getan wird.

Es gibt bekannte Gegenmaßnahmen wie u.a. das Konturpflügen oder die Bodenbedeckung durch Untersaaten. Jedoch ist zB. Konturpflügen ab einer gewissen Hangneigung nicht mehr möglich (oder wird durch die Schlagform verhindert) und werden zB. Untersaaten oft durch ungenügenden Niederschlag verhindert. Den meisten der Gegenmaßnahmen ist dieses gemein: sie sind nicht immer durchführbar oder erfordern Kompromisse. Flächenkompromisse im Falle der Verkürzung der erosiven Hanglänge, ev. Produktivitätskompromisse im Falle der Untersaaten, oder zeitliche Wirkungsbeschränkungen durch die Erfordernisse einer Saatbettbereitung.

Die erosionshemmende Wirkung der Hackschnitzel ist anfänglich diesen begrenzten Maßnahmen zuzurechnen. Die Hemmung des Wasserflusses beruht auf der

Oberflächenbedeckung, und diese wird im Fall von Holz zwar nicht unmittelbar durch Zersetzung zunichte, jedoch mit Bodenbearbeitungsgängen sukzessive verringert.

Die Erhöhung der Gefügestabilität und die Verbesserung der Infiltrationseigenschaften eines Feldes haben hingegen eine erosionshemmende Wirkung, die keinen Beschränkungen unterworfen ist. Erreicht wird dies über eine das Bodengefüge beeinflussende Einbringung von organischer Masse. Dies ist die später einsetzende Wirkung von Hackschnitzeln.

Die Einbringung von Hackschnitzeln sollte somit von Anfang an die Bodenfruchtbarkeit unterstützen: eine sofortige Erosionsminderung durch Oberflächenbedeckung würde in eine später einsetzende infiltrationsfördernde, erosionshemmende Bodenmelioration übergehen, die lange Zeit stabil bleibt.

Hinter jedem Versuch steht ein Konzept: ohne solide Hinweise auf die Tauglichkeit einer Idee wird ein Kosten, Zeit und Versuchsfläche erforderndes Experiment nicht gestartet. Das Konzept ruht manchmal auf einer in der Theorie verankerten Idee, manchmal, wie in diesem Fall, auf einer Beobachtung:

Auf vier Flächen wurden die von einer Kompostanlage ausgesiebten, groben Holzreste ausgebracht. Drei Felder wurden ackerbaulich genutzt und verfügen über keine Vergleichsflächen die der exakt gleichen Nutzung unterzogen wurden. Die vierte Fläche ist Teil eines Wiesenstückes, das in seiner Gesamtheit als Brache unbearbeitet blieb. Etwa fünf bis sieben Jahre später bemerkte Herr Dr. Wiklicky, in dessen Jagd- und Spazierrevier die Brache liegt, Veränderungen in Vegetation und Aufwuchs, die sich mittels Spatenprobe als auf eine Veränderung des Bodens zurückführen ließen.

Die wertvolle Beobachtung - der ungewöhnlich rasanten Veränderung des Bodens - führte zum Hackschnitzelprojekt der Agrana Tulln. Die Frage der Reproduzierbarkeit und Kausalität der Bodenveränderung ist der Kern des Exaktversuchs, und seiner Bearbeitung im Rahmen dieser Arbeit. Diese Fragen, und die Frage nach allfälligen Nebeneffekten, werden auch durch die Einbeziehung vorhandener Literatur bearbeitet.

Zu den vier Ursprungsflächen existieren keine wissenschaftlichen Daten zum Ausgangszustand, der Aufbringungsmenge oder Materialqualität, und deswegen wurde von einer näheren Beprobung dieser Schläge abgesehen. Der Blick in den Garten Eden der Möglichkeiten, der das für Bodenfruchtbarkeit schlagende Herz höher schlagen lässt, soll jedoch nicht vorenthalten werden: die umseitigen Photos wurden im Frühjahr 2011 auf dem veränderten und unveränderten Teil der Brach-Fläche geschossen, die laut Dr. Wiklicky ehemals einen homogenen Eindruck bot.



**ABBILDUNG 2: VEGETATIONSUNTERSCHIED ZWEIER TEILE EINER BRACHFLÄCHE MIT EHEMALS HOMOGENEM ERSCHEINUNGSBILD, CA. 7 JAHRE NACH DER AUSBRINGUNG VON ANKOMPOSTIERTEM HOLZMATERIAL AUF EINEN TEIL DER FLÄCHE (RECHTES BILD). (PAMMER: FRÜHJAHR 2011)**



**ABBILDUNG 1: OBERBODEN CA. 7 JAHRE NACH DER AUSBRINGUNG VON ANKOMPOSTIERTEM HOLZMATERIAL: BILDUNG DUNKEL GEFÄRBTEN BODENS, DER SICH VOM AUSGANGSBODENMATERIAL (HELLER TEIL), WIE ER AUF DEM UNBEAUFSCHLAGTEM BRACHTEIL EXISTIERT, DEUTLICH ABHEBT. (PAMMER: FRÜHJAHR 2011)**



**ABBILDUNG 3: GESAMTERSCHEINUNGSBILD ZWEIER TEILE EINER BRACHFLÄCHE MIT EHEMALS HOMOGENEM ERSCHEINUNGSBILD, CA. 7 JAHRE NACH DER AUSBRINGUNG VON ANKOMPOSTIERTEM HOLZMATERIAL AUF EINEN TEIL DER FLÄCHE, UNTERES BILD. DAS OBERE BILD STELLT DEN UNBEEINFLUSSTEN TEIL DER BRACHFLÄCHE SOWIE DEN AUSGANGSZUSTAND DER GESAMTFLÄCHE DAR. (PAMMER: FRÜHJAHR 2011)**



**ABBILDUNG 4: OBERBODEN ZWEIER TEILE EINER BRACHFLÄCHE MIT EHMALS HOMOGENEM ERSCHEINUNGSBILD, CA. 7 JAHRE NACH DER AUSBRINGUNG VON ANKOMPOSTIERTEM HOLZMATERIAL AUF EINEN TEIL DER FLÄCHE. DAS BILD LINKS ZEIGT DEN BODEN DES UNBEEINFLUSSTEN TEILS DER BRACHFLÄCHE; DAS BILD RECHTS ZEIGT DEN BODEN DES BEAUFSCHLAGTEN TEILS – HIER IST DIE URSPRÜNGLICHE BODENFÄRBUNG NUR MEHR FLECKENWEISE ERKENNBAR. (PAMMER: FRÜHJAHR 2011)**

## 1.1 PROBLEMSTELLUNG

Ein Aufbau eines stabilen Porengefüges durch eine intensive Erhöhung des Humusgehaltes ist im Ackerbau nicht immer möglich. Der Verbleib von Ernteresten auf dem Feld ist eine Maßnahme, die sich aus mehreren Gründen empfiehlt, jedoch gemeinhin für eine Vermehrung von Humus nicht ausreicht (vgl. 2.1.2), und oftmals – aus Gründen der Phytosanität oder anderweitiger Nutzungsmöglichkeit - nicht gewünscht wird. Der Anbau von Zwischenfrüchten ist ebenso eine Maßnahme, die sich nicht nur durch den Effekt auf den Humusgehalt empfiehlt, in dieser Richtung aber eher „nur“ zur Stabilisierung des gegenwärtigen Gehaltes beiträgt, und seltener einen Aufbau bewirken kann (vgl. 2.1.2). Beide Maßnahmen verlangen zudem manchmal Kompromisse, die von Landwirten zum Teil nur bedingt tragbar sind (frühreifere Sorten, Zeitaufwand...). In der Viehwirtschaft ist der Eigenviehbestand bei Flächenkopplung für Humusgehaltserhöhungen meist nicht ausreichend.

Das Problem besteht somit darin, eine praktikable, wirtschaftliche Form der infiltrationsfördernden Bodenmelioration zu finden. Praktikabel und wirtschaftlich sowohl in der Ersterarbeitung als auch in der Erhaltung, und im besten Fall- nachdem die Bereitschaft zu extrem spät wirksamen Investitionen gering ist: wirtschaftlich innerhalb eines vernünftigen zeitlichen Rahmens.

Könnte die Hackschnitzelausbringung diese wirkungsvolle Maßnahme sein? Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme relativiert sich mit dem variierenden „Break-Even-Point“ unterschiedlicher Flächen. Auf einem Acker in ebener Lage mag sich durch Gewitter zB. Wasser an der Oberfläche stauen (und Probleme mit sich bringen) aber damit ist nicht so viel (fast unwiederbringlich) verloren wie durch Wassererosion auf einem Acker in Hang-, Steil-, oder Kuppenlage bei dem Wassererosion in voller Kraft einsetzt. Hanglagen sind Gebiete, für die die Hackschnitzelausbringung eine Teillösung zur Verminderung der Wassererosion sein könnte.

### **Aspekte der Maßnahme „Hackschnitzelausbringung“**

Es sind mehrere Aspekte, die die Verwendung von Holz geeignet, und eine wissenschaftliche Überprüfung dieser Eignung von Interesse erscheinen lassen. Die Möglichkeit negativer Effekte steht jedoch ebenso im Raum wie die Betrachtung des Umfeldes der „Ressource Holz“.

Folgende Aspekte sind zu beachten und zu diskutieren:

#### **ASPEKTBEREICH EFFEKT**

- Es ist anzunehmen, dass Holz, von seiner stofflichen Zusammensetzung ausgehend, zu einem Großteil in Dauerhumus übergeht, und damit langfristig strukturverbessernd wirkt, anstatt – über Umwege - als CO<sub>2</sub> aus dem Boden veratmet zu werden (vgl. 2.1.1)

Bevor dieser Effekt zu wirken beginnt ist es denkbar, dass das Holz und seine Abbauprodukte auf anderen Wegen wirken:

- Holz als sperriges Material könnte das Gefüge in beeinflussendem Ausmaß verändern (vgl. 2.1.3).
- Die einige Jahre dauernde, ganzjährige (Teil-)Bedeckung der Oberfläche nimmt Einfluss auf die oberflächliche Wassergeschwindigkeit, und vermindert im Sinne der ABAG<sup>1</sup> die Erosion (vgl. 2.1.3).
- Das angeregte Bodenleben erhöht die Menge an Schleim- und sonstigen Kittstoffen, die das Gefüge stabilisieren und Porengänge für perkolierendes Wasser länger offen halten (vgl. 2.1.2).
- Chemisch-physikalische Eigenschaften von Holz und seinen Abbauprodukten könnten zu einer höheren, schnelleren Wasseraufnahme des holzbestückten Bodens führen, wenn sie die äquivalenten, positiven, chemisch-physikalischen Eigenschaften des Bodens übertreffen; das Gegenteil könnte ebenfalls eintreten (vgl. 2.2.2).

Auch negative Effekte durch die Aufbringung hoher Mengen organischer Masse sind zu erwarten (vgl. 2.2.4).

#### **ASPEKTBEREICH HOLZ**

- Holz ist eine begrenzte Ressource, und daher ist dessen Einsatz in der Bodenmelioration eher nur für Extremlagen möglich. Voraussetzung einer Holzverwendung für den Meliorationszweck ist kostengünstiges Holz, wie es in Ausnahmefällen und daher nur in begrenzter Quantität anfällt. Als Quellen können Siebreste von Kompostanlagen, vernässte Hackschnitzel oder extreme, die Sägewerk-Kapazitäten übersteigende, Windwurf-Ereignisse gelten (vgl. 2.2.5 - II).
- Eine weitere Voraussetzung für die Verwendung von Holz liegt in der Auswirkung der enthaltenen Gerbsäuren: ihr Einfluss auf die ökonomische Performanz von Ackerkulturen muss ausgelotet werden (vgl. 2.2.4).

#### **ASPEKTBEREICH KONKURRENZ**

Für eine sinnvolle Hackschnitzelanwendung müssten folgende Voraussetzungen gegeben sein:

- In der Holzverwendung: Es gibt Holzquellen (v.s.), die keine konkurrenzkräftigen Absatzmärkte aufweisen.
- Im Ergebniseffekt: Es gibt keine Melioration, die den erwünschten Effekt mit weniger Aufwand oder höherem Gesamt-Nutzen bewirkt (vgl. 2.3.2).

---

<sup>1</sup> Allgemeine Bodenabtrags-Gleichung

## 1.2 ZIELSETZUNG

Die Zielsetzungen unterscheiden sich aufgrund des zeitlichen Rahmens in die zwei Ebenen

- a) des Versuchsziels, und
- b) des Ziels der vorliegenden Arbeit.

Eine Beschränkung gilt für beide Ebenen: die Hackschnitzelausbringung wird, im Sinne des relativen Nutzgewinns und der Zweckmäßigkeit, nur für den Hintergrund der besonders von Wasser-Erosion betroffenen Hang- und Kuppenlagen diskutiert.

Das **Ziel des Versuchs (a)** besteht in der wissenschaftlichen Bearbeitung eines Feldversuchs zur Beantwortung der Validität der Hypothesen zu den zwei zeitlichen Wirkungsschienen, die den Erfolg der Ausbringung von Hackschnitzeln ausmachen würden.

- H1: Die Ausbringung der Hackschnitzel bewirkt schon vor ihrer vollständigen Zersetzung eine erhöhte Infiltration bzw. verminderte Erosion.
- H2: Holz setzt sich, in einem im Vergleich zu sonstigem organischen Material erhöhtem Grad, in Dauerhumus um.

Das **Ziel der vorliegenden Arbeit (b)** besteht in der Teilbearbeitung ausgewählter offener Fragen.

Die quantifizierende Bearbeitung einer Humuserhöhung kann zB. erst in einigen Jahren sinnvoll durchgeführt werden, eine gewisse Dokumentation ist jedoch als von Anfang an existierend wünschenswert. Die Zielsetzungen dieser Arbeit beinhalten die:

- Beantwortung der unterhalb folgenden offenen Fragen durch die Auswertung der Feldversuche
- Erstellung einer umfassenden Übersicht über themenspezifisches und themenverwandtes Wissen
- Erstellung eines groben Ausblicks auf das Potential an praxistauglicher Wirtschaftlichkeit der untersuchten Methode
- Positionierung der Methode in der Zukunft

### 1.3 FRAGESTELLUNG

1. Wie wirkt sich die Ausbringung nach so kurzer Zeit auf den Humusgehalt, die Bodenfeuchte, die Bodentemperatur, den Eindringwiderstand, die Infiltrationsrate im Grobporenbereich, und den Nährstoffgehalt aus?  
Finden sich diesbezüglich Unterschiede in der Reaktion der zwei Standorte auf die Hackschnitzel-Ausbringung?
2. Finden sich durch die Einbringung der Hackschnitzel unerwünschte Effekte auf Aufwuchs und Ertrag ausgewählter Kulturpflanzen?  
Finden sich diesbezüglich Unterschiede in der Reaktion der zwei Standorte auf die Hackschnitzel-Ausbringung?



## 2. AUSGEWÄHLTE LITERATUR

### 2.1 GRUNDLAGEN BODEN

Mehr als eine getreue Nachbildung der drei Themenbereiche zu geben, wie sie in jedem Lehrbuch gefunden werden können, soll hier eine Kondensation auf die für den Versuch wesentlichen Wissensteile versucht sein: was wollen wir (und was nicht), worauf müssen wir deswegen achten, und wie kommen wir dorthin.

(1) Gewählt wurde ein Beginn mit Humus.

(2) Der nächstfolgende Teil, der landwirtschaftliche Boden, erweitert die Zusammenhänge und Abhängigkeiten.

(3) Der dritte Teil behandelt das Zusammenspiel des Bodens mit Infiltration und Wassererosion und auf dieser Basis die möglichen Wirkungsweisen der Ausbringung von Hackschnitzeln in diesem Bereich (erhöhte Infiltration/verminderte Wassererosion).

#### 2.1.1 HUMUS

Jedes eingebrachte organische Material unterliegt einer Weiterentwicklung im Boden, und deren Gesetze und Auswirkungen sind kein unerhebliches Wissen. Der ob seiner Förderung der Bodenstruktur erwünschte Humus entsteht (besser) aus anderen Ausgangssubstanzen als der vorwiegend Nährstoffe bereitstellende. Es kann nicht das Eine ohne das Andere erreicht werden, aber wenn eine der zwei Funktionalitäten gefördert werden soll, so ist dies möglich.

Unter Humus versteht sich die Gesamtheit von Huminstoffen, Streu- und Wurzelresten und Zwischenprodukten. Die Umformung der sich im Boden formenden (Bodenfauna, Wurzeln, Rhizome..) und in den Boden gelangenden (Pflanzenteile, organischer Dünger..) organischen Masse passiert durch chemisch-physikalische Vorgänge und zum großen Teil durch Bodenlebewesen.

Grundsätzlich muss bewusst sein, dass in den Boden gelangendes organisches Material mehrere Wege nehmen kann, und nicht alle führen zur Anreicherung von Humus. Wenn die Betrachtung auf Kohlenstoff und Stickstoff beschränkt wird, dann ergeben sich als parallel möglichen Fortbestand drei Wege:

1. Die Umformung in Huminstoffe.
2. Die biologische und chemische Fixierung (Körper- und Pflanzensubstanz bzw. chem. Bindungen) abseits der Formung von Huminstoffen.
3. Den Abgang aus dem System (Kohlenstoff: Veratmung/Verflüchtigung, Stickstoff: Auswaschung und Verflüchtigung)

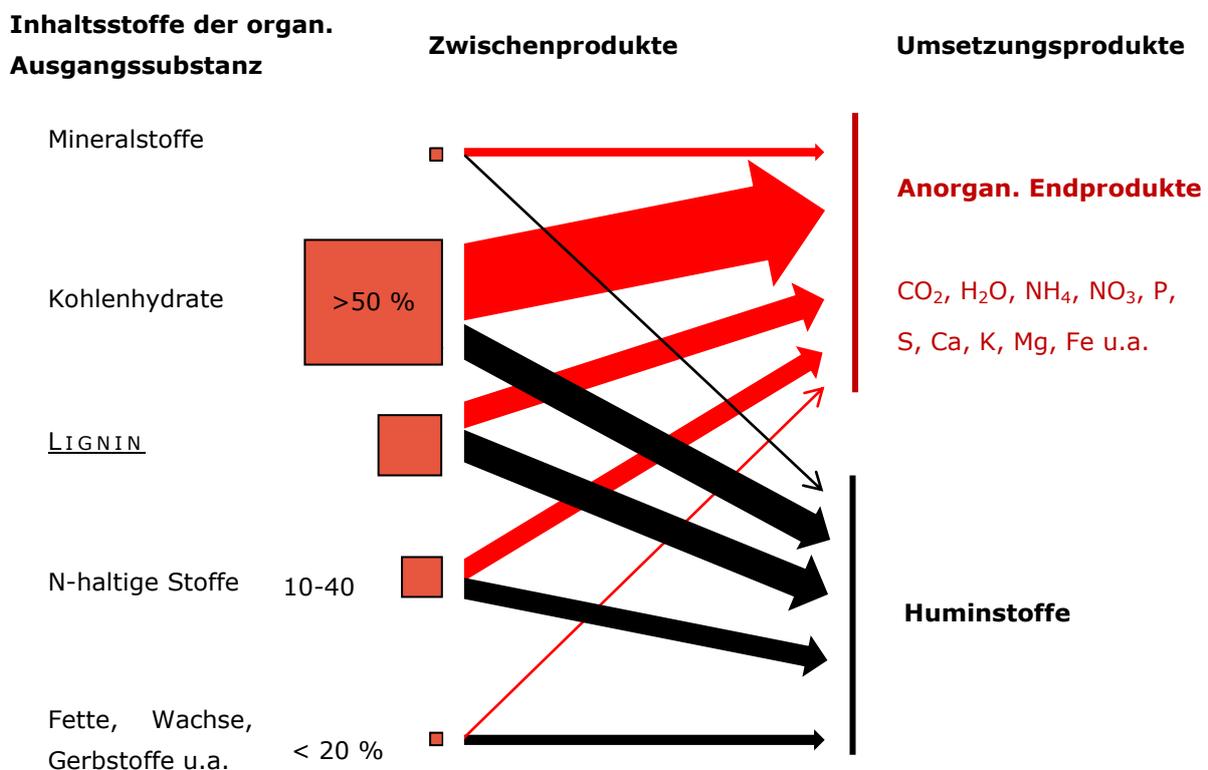
Welchen Weg der Kohlen- und Stickstoff nehmen hängt hauptsächlich von seiner stofflichen Verbindung ab. Es wird grob zwischen **Nährhumus** und **Dauerhumus** unterschieden. Bei BLUM (2007) finden sich dazu folgende Definitionen:

„Dauerhumus: mikrobiell schwer umsetzbare Stoffe, die im Boden durch Wasserbindung, Ionen-Adsorption und als Gefüge-Elemente wirksam werden“.

„Nährhumus: mikrobiell leicht umsetzbare Stoffe [...] damit Lieferanten von CO<sub>2</sub>, und mineralischen Pflanzennährstoffen“.

Die organischen Materialien die sich zu Nährhumus umformen sind demnach schnell wieder aus dem Boden verschwunden. Der Dauerhumus verhält sich jedoch anders: „Die im Boden verbleibenden Endprodukte des Umsatzes, die Huminstoffe sind gegenüber einem weiteren Abbau ziemlich resistent und überdauern im Boden Hunderte bis Tausende von Jahren.“(GISI, 1990, S.193) Von einem französischen Team wurde die Existenz von Humuskomplexen beschrieben, die (im Zusammenspiel mit der Lagerung in entsprechender Tiefe) bereits im Mesozoikum geformt wurden (DI-GIOVANNI et al., 1998). Als Annäherung zum insgesamt im Boden verbleibenden Kohlenstoff-Anteil nennen WOLF und SNYDER (2003) 20-40 %: Humus hat ein C:N-Verhältnis von ungefähr 10:1 (50 % der Struktur C, 5 % der Struktur N), und dieses im Vergleich zu den Ausgangsmaterialien verdichtete Verhältnis entsteht durch das Veratmen des Kohlenstoffs als CO<sub>2</sub>.

Gemäß der einführenden Definition von Humus besteht der Dauerhumus aus (1) schwer zersetzbaren Materialresten, (2) dessen Endprodukten - den Huminstoffen, und aus den (3) Zwischenprodukten dieser Umwandlung. Aus der *Abbildung 5* ist ersichtlich, dass vor



**ABBILDUNG 5: QUANTITATIVE ANNÄHERUNG AN DAS ENDGÜLTIGE UMSETZUNGSPRODUKT VERSCHIEDENSTER AUSGANGSSUBSTANZEN. DER UMSETZUNGSPROZESS KANN DABEI ÜBER VERSCHIEDENSTE FORMEN DER CHEMISCHEN, PHYSIKALISCHEN UND BIOTISCHEN FESTLEGUNG GEFÜHRT SEIN. (QUELLE: BLUM, 2007, S.35)**

allem der Ausgangsstoff Lignin zu dieser Gruppe gehört, bzw. zur Angehörigkeit an diese Gruppe führt. Lignin unterliegt einer Umwandlung die zu über zwei Dritteln in eine Bildung von Huminstoffen mündet, und nur zu einem Drittel in die komplette Zersetzung in anorganische Bestandteile, die nicht strukturbildend sind.

Der Grund für diese Unterschiede ist die energetische Verwertbarkeit für die Bodenorganismen. Während der Kohlenstoff, der Stickstoff, und andere Stoffe, aus manchen Verbindungen leicht und energiegewinnend metabolisiert werden können, ist dies bei Lignin nicht der Fall.

## Lignin

Lignin ist ein wasserlösliches, durch Säure zu fällendes Produkt, das den Huminstoffen bereits im Ausgangszustand ähnelt (PAUL, 2007).

Dieses Konstrukt kann zwar von manchen gram-negativen Bakterien<sup>2</sup> und Aktinomyceten<sup>3</sup> angegriffen werden, jedoch ist es zweifelhaft dass sie das Lignin komplett zersetzen können. Es ist sogar zweifelhaft ob sie das Lignin in irgendeiner Form energetisch nutzen können. Wahrscheinlich ist, dass sie Lignin nur stellenweise angreifen, mit dem Ziel eine Zellulose und Hemizellulose umgebende Barriere zu zerstören. Sicher ist, dass Bakterien Lignin nicht so gut zersetzen können wie Pilze dies tun; und nicht einmal diese zersetzen Lignin komplett. Von dieser Substanz wird also immer etwas in den dauerhaften Kohlenstoff-Pool des Bodens übergehen. (PAUL, 2007)

Aus Lignin können, gemäß der neuesten und populärsten Theorie (Polyphenoltheorie, vgl. PAUL, 2007) zwei Huminstoff-Formen entstehen:

(1) LIGNIN --Polyphenol-Oxidation--> QUININE --Polymerisation--> DUNKLE, HUMOSE  
SUBSTANZ: HUMINE

(2) LIGNIN ----Polyphenol-Oxidation----> QUININE ----Polymerisation unter Mitwirkung von  
Aminosäuren--> AMINO-QUINONE ---Oxidation---> QUINONE ----Verdichtung--->  
BRAUNE, STICKSTOFFHALTIGE  
HUMOSE SUBSTANZ MIT HOHEM MOLEKULAREM GEWICHT: HUMATE

In schwach sauren bis neutralen, nährstoffreichen Böden mit hoher biotischer Aktivität (Aminosäuren!) zum größten Teil Humate. Nachdem diese Kategorie auf die meisten Äcker zutrifft, und auch die wünschenswertere Form ist, wird diese Huminstoff-Art in der *Tabelle*

<sup>2</sup> Pseudomonadaceae, Azotobacter, Neisseriaceae

<sup>3</sup> Nocarota, Streptomyces

1 eingehend beschrieben, während zu den Huminen hauptsächlich folgendes relevant scheint: Sie weisen ein geringes Wasserhalte- und Adsorptionsvermögen auf, entstehen in allen Bodenarten, und binden sich noch stärker als die Humate und Fulvate an die Minerale (PAUL, 2007). (BLUM 2007)

**TABELLE 1: ÜBERSICHT ÜBER DIE EIGENSCHAFTEN VON HUMATEN MIT ANMERKUNGEN ZU RELEVANTEN UNTERSCHIEDEN ZU DEN EIGENSCHAFTEN DER ZWEI ANDEREN HUMINSÄURE-FORMEN DER HUMINE UND FULVATE. (QUELLE: BLUM, 2007)**

POLYMERISATIONSGRAD	<b>mittel</b>	
FARBE	<b>braun bis schwarz</b>	Fulvate: nur gelb- bis rotbraun
C %	<b>45 – 60</b>	
N %	<b>3-8</b>	mehr als Humine und Fulvate (n.b. bzw. 0,5-2)
SÄURECHARAKTER	<b>mittel</b>	
WASSERHALTE- UND ADSORPTIONSVERMÖGEN	<b>hoch</b>	Humine und Fulvate: gering
MOBILITÄT IM BODEN	<b>mittel</b>	
ENTSTEHUNG	<b>vorwiegend biotisch</b>	

Den Humaten werden außerdem eine wachstumsfördernde Wirkung durch die Stimulation der Keimung, zugeschrieben, und eine Wirkung als Atmungskatalysator wird diskutiert. Polyphenole der Humate könnten die Enzymsysteme und die Zellteilung der Pflanzen fördern, was die besser ausgebildeten Wurzelsysteme und die erhöhte Nährstoff-Aufnahme erklären würde (SENN und KINGMAN 1973, nach WOLF und SNYDER 2003).

Damit Humate entstehen braucht es eine Präsenz von Aminosäuren, also in organischen Strukturen verbauten Stickstoff. Ein an Bodenaktivität reicher Acker wird auf diese Anforderung schneller reagieren können als ein relativ inaktiver Boden, aber die Einbringung der organischen Masse Hackschnitzel bringt von alleine, wenn auch etwas verzögert, erhöhte Aktivität mit sich. Diese Automatik bedingt auch schon den zweiten Anspruch: es muss genügend Stickstoff (organisch und anorganisch) als Angebot vorhanden sein. Ist er das nicht, so ist der Bodenleben-Pool in seiner Ausweitung beschränkt, und gleichzeitig konkurrieren die Organismen mit den Kulturpflanzen, so dass am Ende auch diese in ihrer Entwicklung gehemmt sind. Diese Konkurrenz findet sich als N-Sperre in der ackerbaulichen Literatur (BAEUMER, 1992; vgl. 2.2.4).

Zu den Huminsäuren ist eine Klarstellung von Bedeutung: sie agieren nur als Säure, wenn ihre Austauscher mehrheitlich mit Wasserstoff-Ionen bestückt sind. Auch dann ist der Effekt auf den pH-Wert des Bodens vernachlässigbar, da diese Säure nicht wasserlöslich ist. Die Austauscher sind neben den Wasserstoff-Kationen mit anderen ein-, zwei- oder dreiwertigen Kationen besetzt ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ). Die Art der

gehaltenen Ionen hat eine Auswirkung auf die Löslichkeit der Humate – monovalente Kationen steigern die Löslichkeit – aber ist ansonsten mehr für die Nährstoffspeicherung und –nachlieferung des Bodens von Bedeutung als für die Humate selbst. (vgl. WOLF und SNYDER, 2003)

Abschließend: Der Grund weswegen Humus für jede Bodenart von Bedeutung ist liegt in seinem Ausgleichscharakter. In tonigen Böden sorgt er für stabile Auflockerung, in sandigen für Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität sowie Kohäsion. In jedem Fall wird das Gefüge pflanzenfreundlicher.

## 2.1.2 DER LANDWIRTSCHAFTLICHE BODEN

Während im vorhergehenden Kapitel der Humus an sich behandelt wurde, werden hier Interdependenzen und Interaktionen im System Boden vorgestellt, die für die langfristige Wirkung einer Einbringung von Hackschnitzeln von Bedeutung sind. In diesem Kapitel finden sich nur fünf der mit Humus interagierenden Themenkreise; sie sollen als Gedanken- und Referenzbasis dienen.

### **I Gefüge und Nährstoffe**

Ein stabiles Gefüge entsteht in den Böden der gemäßigten Klimazone durch die Verbindung von Huminstoffen mit mineralischen Teilchen. Kalziumbrücken tragen auch zur Stabilität bei, und bei fortschreitendem Kalziummangel sollte diese Wirkung nicht vergessen werden, aber maßgeblich für die Stabilität des Bodengefüges unserer Breiten sind die organo-mineralischen Verbindungen (BLUM, 2007): die Verbindung von Huminstoffen mit Tonmineralen und/oder Oxiden.

Humus verändert über seine Wirkung auf den Boden fast alle Faktoren eines Bodens, die das Pflanzenwachstum beeinflussen (WOLF und SNYDER, 2003). Die Gefügewirkung von Humus ist für die Beeinflussung der meisten dieser Faktoren verantwortlich, zB. Gasaustausch, Wasserhaushalt, Durchwurzelungswiderstand oder Bodentemperatur. Daneben besitzt Humus auch eine Charakteristik, die auf andere Weise wirkt und von essentieller Bedeutung für den landwirtschaftlichen Boden ist.: die Kationenaustauschkapazität (KAK). Je höher die KAK eines Bodens, desto weniger sind die in kationischer Form vorliegenden Nährstoffe der Auswaschung unterworfen, und desto reichhaltiger ist der Nachlieferungspool des Bodens. Die KAK eines Bodens wird bestimmt von der organischen Substanz des Bodens und den Tonmineralen, wobei die organischen Substanz des Bodens jedoch eine viel höhere KAK besitzt als die meisten Tonminerale. (vgl. WOLF und SNYDER, 2003; HARTZ et al., 2004)

Die Gefügewirkung von Humus kann jedoch trotzdem als größerer Nutzen betrachtet werden. Wie essentiell ein gutes Gefüge für die Pflanzenentwicklung ist zeigt zB. eine Studie von SANBORN et al. (2004), in der eine Hackschnitzelmelioration eines Alfisols ( $A_{he}$ - $B_t$ ) zum maximalen Wachstum von Fichte führte obwohl die anderen Meliorationsvarianten

zu höheren Gehalten an C, N und S sowie  $N_{\min}$  geführt hatten. Der einzige Vorteil der Hackschnitzelvariante war eine deutlich verminderte Bodendichte in 7 – 14 cm Bodentiefe.<sup>4</sup>

### **Eindringwiderstand**

Der Eindringwiderstand eines Bodens wird durch seine Bodendichte und den Wassergehalt bestimmt, und ist von Bedeutung da er als mechanischer Widerstand dem Wurzelwachstum gegenübersteht (BAEUMER, 1992). „In Modellversuchen mit Gerstenwurzeln (RUSSELL und GOSS, 1974) bewirkte schon eine geringfügige Steigerung des Widerstandes um 0,1 bar eine Minderung des Längenwachstums um etwa 10 %. Bei 1 bar erhöhte sich die Hemmung auf 0 % der Kontrolle.“ (BAEUMER, 1992, S.70). Ebenfalls Baeumer zitiert noch einen weiteren Versuch, von EAVIS et al. (1971): bei einem Modellversuch mit Erbsen wurden die Lagerungsdichte und die Wasserspannung des Bodens verändert, mit dem erwarteten Ergebnis, dass die Eindringtiefe der Wurzeln mit der steigenden Lagerungsdichte und Wasserspannung abnahm.

Der Eindringwiderstand eines Bodens ist daher ein nicht zu vernachlässigender Faktor, und seine Messung kann aufgrund der Kausalitäten einen Hinweis auf den Gefügestand des Bodens bilden. Die Bodendichte hängt nämlich vom Gehalt an organischen Inhaltsstoffen, der Bodenstruktur und der Bodentextur ab – also vom Bodengefüge (EIJKELKAMP 2001).

## **II Bodenleben**

Das Bodenleben ist mit dem Humus untrennbar verwoben. Die verschiedensten Stadien des organischen Materials des Bodens sind Nahrungsgrundlage verschiedenster Organismen, und erst diese Organismen ermöglichen die Humusform wie es sie gibt. Wenn dem „Humus“ eine fördernde Gefügewirkung zugeschrieben ist, so entsteht diese im Verband mit mikrobieller Aktivität (Zersetzung, Schaffung neuer Verbindungen durch mikrobielle Einflüsse wie der Aussonderung von Sekreten, Enzymen, oder durch Verdauungstätigkeit, Absonderung von Kittstoffen wie Zucker und Schleim, u.Ä.). Die Nährstoffverfügbarkeit ist ebenfalls eng mit den Mikroorganismen verknüpft: durch den Kreislauf des Einbaus von Nährstoffen in ihre Körpersubstanz, ihrem Sterben, und der folgenden Zersetzung, werden Nährstoffe immer wieder fixiert und immer wieder in (pflanzenverfügbarer) Form freigesetzt. Das Gleiche gilt für die in pflanzlicher Materie eingebauten Nährstoffe. Pflanzen sorgen teilweise auch aktiv für Nährstoffverfügbarkeit, aber „freie“ Nährstoffe in passender Form sind essentiell für ihre Nährstoffversorgung.

Die Düngung eines Bestandes ohne mineralischen Dünger muss auf ein reges Bodenleben zurückgreifen können, um zum einen einen rechtzeitigen Aufschluss des organischen Düngematerials zu erreichen, und dies zum anderen in einer Rate zu ermöglichen, die hoch genug ist um die Nachfragespitzen der Pflanzen befriedigen zu können.

---

<sup>4</sup> Die HS-Einbringung (140 t/ha, ofentrocken) wurde jedoch von adäquater N-Düngung begleitet (600 kg N/ha).

Dies ist eine der als positiv betrachteten Wirkungen eines regen Bodenlebens; eine der weniger gern gesehenen ist die Veratmung der eingebrachten organischen Masse. Die Veratmung des von den Organismen als Energiequelle benutzten Kohlenstoffs in Form von  $\text{CO}_2$  ist die eigentliche Ursache verringerter Humusgehalte der Böden. Manche der stofflichen Kohlenstoff-Verbände sind dabei für die Bodenorganismen leichter nutzbar als andere, und die Anteile dieser Stoffe im zugeführten organischen Material bestimmen somit den weiteren Weg der Umwandlung (in Dauerhumus oder Nährhumus). Die meisten Kohlenstoffverbände sind für die Bodenorganismen relativ gut energetisch nutzbar, so dass deren Abbau in ungestörten Böden oft von einem zu geringen Sauerstoffgehalt gehemmt wird. Wird ein Boden jedoch bewirtschaftet, so wird ihm – im Sinne der Nährstoffverfügbarkeit auch durchwegs positiv wirkend, denn diese wird durch intensiven Substratabbau gesteigert – durch die Bodenbearbeitung in großem Maße Sauerstoff zugeführt. Die dadurch gesteigerte Aktivitätsrate führt neben der stofflichen Veränderung der organischen Substanz des Bodens zu einer Verringerung des Gesamtkohlenstoffgehaltes. Als Beispiel kann ein Projekt dienen, das in REHFUESS' „Waldböden“ (1990) präsentiert wird. Die Beobachtungen fasst Rehfuess folgendermaßen zusammen: “Die Verbesserung der Humusform vom Rohhumus in Richtung Mull wurde demnach erkaufte mit erheblichen Humusverlusten.” (S.227). Hier wurde der Gesamt-Pool an Kohlenstoff (aus der Auflage und dem Humus stammend) einerseits qualitativ verbessert (weniger Auflage-C, mehr Humus-C), andererseits quantitativ verringert (von 100 %  $C_{\text{total}}$  auf, im Versuch, 63-93 %  $C_{\text{total}}$ ; 7-37 % C wurde veratmet).

Durch das beträchtliche Ausmaß, das die C-Veratmung annehmen kann, heißt es auch oft, dass eine Veränderung des Gehalts eines Bodens an organischer Materie in vielen Fällen leichter durch eine Änderung in der Bodenbearbeitung zu erreichen ist als mit dem Zusatz von Stalldünger, Kompost und Gülle, oder dem Einsatz von Zwischenfrüchten und Begrünungen (vgl. zB. WOLF und SNYDER, 2003). Die Stoffverbindungen, dessen Kohlenstoff leicht veratmet werden kann, werden als Nährhumus bezeichnet. Nun erfüllt natürlich auch dieser, solange er besteht, eine Gefügewirkung wie der Dauerhumus, und eine Dezimierung des Nährhumus ist eine Dezimierung des insgesamten Humusgehaltes und hat damit eine negative Auswirkung auf diejenigen Qualitäten, die durch Humus hervorgerufen werden. Soll jedoch gezielt die Gefügewirkung gestärkt werden, so muss vorrangig Material eingebracht werden, dessen Kohlenstoffverbände zumindest zu einem Teil nicht der energetischen Verwertung durch Bodenorganismen unterworfen sind. Nur dadurch ist eine Amassierung über die Zeit erreichbar, eine Steigerung des Humusgehaltes. Aber auch hierfür braucht es Nährhumus, denn biotische Aktivität ist eine Voraussetzung für die Umwandlung in Huminstoffe. Auch ist biotische Aktivität, v.s., in vielen anderen Belangen ein positiver Vermögenswert eines Ackers, weswegen nicht die Minimierung der Bodenaktivität das Ziel sein kann, sondern daran vorbei die Steuerung des C-Gehalts des Bodens über die Art des eingebrachten Materials, und die Steuerung der Mineralisierung über die Bodenbearbeitung.

### **III Rückführung von organischem Material**

Wie dargestellt (v.s.) ist nicht die abgeführte Pflanzenmasse verantwortlich für die Verringerung des Kohlenstoffgehalts eines Bodens, sondern hpts. die mikrobielle Atmung. Mit der Pflanzenmasse werden Nährstoffe vom Acker gebracht, aber den Kohlenstoff für die Pflanzenmasse holt die Pflanze über die Photosynthese aus der Luft. Da ja zumindest die unterirdische Pflanzenmasse im Boden verbleibt, trägt sie damit sogar, trotz einer Abfuhr der oberirdischen Masse, zu einem gewissen Teil zum C-Nachschub bei. Die unterirdische Pflanzenmasse ist zudem zu einem gewissen Teil verholzt, aber dieser Anteil variiert sehr zwischen den Pflanzen, wie auch die insgesamt Wurzelmasse. Perennierende Gräser zB. bilden  $\geq 2$  t/ha an Wurzelmasse aus, Luzerne sogar um die 6-7 t/ha, während Pflanzenarten wie Weißklee und Sommergetreide nur 1,5-2 t/ha, und Kartoffeln sogar nur um die 500 kg/ha Wurzelmasse ausbilden.

Das Problem des sich vermindernenden Gehaltes an organischem Kohlenstoff des Bodens entsteht somit nicht durch die Abfuhr der pflanzlichen Masse, vermindert sich aber durch die Rückfuhr von organischem Material oder die Belassung der Pflanzenmasse auf dem Feld. Alle Maßnahmen, wie die Beachtung der Fruchtfolgen, das Einmulchen von Untersaaten und die Zwischensaat, kommen dem Gehalt an organischem Kohlenstoff des Bodens natürlich trotzdem zugute und helfen oft, diesen Gehalt zu wahren. Eine Steigerung des Gehalts an organischem Kohlenstoff des Bodens wird dadurch aber schwer und selten erreicht (WOLF und SNYDER, 2003; FREE, 1971).

### **IV Bodentemperatur**

Die Temperatur des Bodens hat eine Auswirkung auf viele Prozesse im Boden, aber hier werden rein die Bedeutung der Frühjahrserwärmung angeschnitten, die durch Hackschnitzel (in Folge als „HS“ abgekürzt) beeinflussbaren Einwirkungen auf die Bodentemperatur benannt, und Temperaturwerte zur Orientierung – für die Bewertung der in Kapitel 4 präsentierten Mess-Werte - gegeben.

Die Frühjahrserwärmung ist von besonderer Bedeutung, da sie die Keimung der Samen beeinflusst, deren Ansprüche an die Temperatur unterschiedlich ist. Mais benötigt ein Minimum von 8-10°C und liegt damit relativ hoch in seinen Ansprüchen. Getreide hat sein Optimum in einem Temperaturbereich von 6-8°C, was sich in gleichmäßiger und zügiger Keimung ausdrückt, keimt aber auch wenn eine minimale Temperatur von 2-4°C überschritten ist. (JANSEN et al., 1998; DIEPENBROCK et al., 1999). Die Auswirkungen des Saatzeitpunktes sind dabei zumindest im Falle vorhandener Vergleichsflächen gut beobachtbar: eine verfrühte Saat führt generell zu einem verzögerten und verminderten Aufgang und geschwächten Keimpflanzen, eine verzögerte Saat zu verzögerter generativer und reproduktiver Entwicklung und zu einer Förderung des Längenwachstums. Die Nachteile sind bei der verzögerten Saat teilweise mit einer verringerten Wasserversorgung zu erklären. (DIEPENBROCK et al., 2005)

Die Faktoren, die die Frühjahrserwärmung am meisten beeinflussen, sind eng mit der Bodenart verwoben:

1. Schwere Böden (hoher Ton- und Schluff-Anteil) sind nasser bzw. länger nass, und da Wasser eine höhere Wärmekapazität und geringere Wärmeleitfähigkeit als Luft aufweist, verzögert sich die Erwärmung des Bodens im Vergleich zu leichten Böden, die eine geringere Feldkapazität aufweisen. Die Temperaturunterschiede an der Oberfläche von Böden mit unterschiedlichem Wassergehalt können zum Zeitpunkt der maximalen Einstrahlung bis zu 6°C betragen.
2. Die Bodenfarbe bestimmt zu einem beträchtlichen Teil die Absorption der wärmenden Sonnenstrahlen (BLUM, 2007). Die Bodenfarbe wird zu einem großen Teil vom Humusgehalt bestimmt: die dunkel färbenden Elemente sind oft die dunkelbraun bis schwarz gefärbten Huminstoffe. Zusätzlich ist die Ausgangsfärbung des Bodens von Bedeutung: Löss z.B. ist hell, und wird ebenso wie Sand nicht so dunkel wirken wie ein von Haus aus dunkler Boden mit einem gleichwertigen Humusgehalt. Die Färbung wirkt sich mitunter extrem aus: dunkle Böden sind sogar noch in 30 cm Tiefe durchschnittlich 0,5-2°C wärmer als helle Böden (SACHWEH, 2001).

Auf der Oberfläche belassenes Material verändert sowohl den Bodenfeuchtegehalt (verringerte Verdunstung, erhöhte Infiltration) wie auch die Farbe der Bodenoberfläche (vgl. DIEPENBROCK et al., 2005).

### 2.1.3 MÖGLICHKEITEN ZUR VERMINDERUNG DER WASSEREROSION

Wassererosion findet auf drei Arten statt: am Anfang rinnt das Wasser flächig ab, formt aber bald Rillen, und diese können sich zu Gräben entwickeln. Jede dieser Arten vermindert durch den Abtrag von humosem Oberboden die Produktionsleistung des Bodens.

Die ABAG (Allgemeine Bodenabtrags-Gleichung) ist eine Gleichung, die den durchschnittlichen, langfristigen, jährlichen Bodenabtrag berechnet. Die ABAG besteht aus den sechs Faktoren, die die Menge des Bodenabtrags bestimmen:

$$\mathbf{A = R * K * L * S * C * P}$$

**Legende zur ABAG:**

A	Mittlerer Bodenverlust ( <i>annual soil loss</i> )	
R	Niederschlagsfaktor (rain)	
K	Substratfaktor Bodenerodierbarkeitsfaktor) (auch	
S	Hangneigungsfaktor (slope)	<b>Faktoren der Topographie</b>
L	Hanglängenfaktor (length)	
C	Bedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor	<b>Faktoren der Bewirtschaftungsweise</b>
P	Bodenschutzmaßnahmenfaktor Erosionsschutzmaßnahmenfaktor) (auch	

Die ABAG wurde auf der Datenbasis verschiedenster Erosions- und Regensimulations-Versuche seit den 1930ern erstellt und ist seitdem immer wieder durch neue Ergebnisse erweitert worden. (vgl. USDA, s.a.; UNIV. HALLE, s.a.)

Die erweiterte Bodenabtragungsgleichung (RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation) ist weniger greifbar, da sie sehr stark mit der Gewichtung der einzelnen Faktoren arbeitet; die Faktoren an sich sind jedoch dieselben. Auch die ABAG selbst unterliegt verschiedensten Einschränkungen und Eichungsvoraussetzungen und wird hier daher lediglich zur Demonstration der Einflussfaktoren verwendet werden.

Etliche Parameter sind nicht beeinflussbar, wie etwa der Niederschlagsfaktor und die topographischen Faktoren. Folgende Parameter sind jedoch von Interesse:

1. **Der Substratfaktor (K)** ist über den Aufbau eines Gefüges (Richtung stabilem Krümelgefüge positiv) beeinflussbar.

In den Tropen und Semitropen wird der Boden vorwiegend von mineralischen Bindungen (Hydrooxiden mit Kaolinit) aggregiert. Diese sind relativ stabil, was die oft „exzellente“ Infiltrationseigenschaft tropischer Böden bewirkt. In den gemäßigten Zonen wird ein stabiles Aggregatgefüge zum überwiegenden Teil vom Anteil der organischen Masse entschieden. Geht diese verloren, wie es unter intensiver Bewirtschaftung leicht passieren kann, führt dies unweigerlich zu geringerer Infiltration (WOLF und SNYDER, 2003). Der Zusammenhang ist klar: Krümelgefüge bedeutet einen hohen Porenanteil, und Stabilität dieses Gefüges dessen Aufrechterhaltung (z.B. unter Wassereinfluss). Gefügefaktoren sind in Kapitel 2.1.2 ausgeführt; die spezielle Wirkung von Holz im Kapitel 2.2.1. Auskunft über das Gefüge geben visuelle Analysen, und (etwas standardisierter) Messungen der Bodendichte über z.B. eine Gewichtsbestimmung oder den Eindringwiderstand (wobei die Gewichtung des aktuellen Wassergehaltes des Bodens nicht vernachlässigt werden darf).

2. **Der Erosionsschutzfaktor (P)** bringt die Wirkung gesetzter Schutzmaßnahmen in die Gleichung ein, wie z.B. die Wirkung von die Hanglänge verringernden Methoden, oder eine Terrassierung.
  
3. **Der Bedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor (C)** umschließt die Subfaktoren Vorfrucht, Oberflächenrauigkeit, Bodenfeuchte, Pflanzenbedeckung und Bodenbedeckung.  
Der Nutzen der Bodenbedeckung steigt dabei mit der Persistenz des ausgebrachten Materials (WOLF und SNYDER, 2003), die bei Hackschnitzeln in deutlich höherem Grad gegeben ist als bei vorwiegend von Blattmasse zusammengesetzten Ernteresten. Bereits eine 20 %ige Oberflächenbedeckung vermindert den Wasserabfluss – als Zusammenspiel eines verlangsamten Flusses und erhöhter Infiltration – um etwa die Hälfte; dieser Prozentsatz erhöht sich allerdings mit der Erosionsanfälligkeit eines Feldes (DIEPENBROCK et al., 2005). Die Richtwerte bewegen sich durchgehend in diesem Bereich: BRUNOTTE (2007) führt einen um 60 % verringerten Bodenabtrag bei einer 30 %igen Bodenbedeckung an, FRIELINGHAUS et al. (1999a/b) sogar etwas mehr (bis zu 75 % bei einer 20-30 %igen Bedeckung, und eine Verminderung des Bodenabtrags um bis zu 90 % bei einer 30-50 %igen Bedeckung). Der Wasserabfluss verringert sich in den Beispielen von Frielinghaus et al. dabei auf um 60-70 %.

### **Infiltration und Perkolation**

Der Begriff „Infiltration“ wird im Weiteren als Überbegriff für das kontinuierliche Eindringen des Wassers in den Boden geführt: für das kontinuierliche Eindringen ist die Verteilung (Bewegung) des Wassers im Bodenkörper von Bedeutung, und diese wird manchmal als Perkolation, in Abgrenzung zur Infiltration (darunter ist in diesen Fällen dann lediglich das Eindringen des Wassers in den Boden zu verstehen) bezeichnet.

Abhängig ist die Perkolation (in den künftigen Kapiteln unter dem Begriff „Infiltration“ subsumiert) von der Kontinuität der Poren und der Vernetzung der Poren innerhalb eines Porensystems, also vom Bodengefüge.

Die Infiltration ist zum größten Teil von der Bodenoberfläche abhängig – verschlammte Oberflächen bedeuten die Verstopfung der in den Boden leitenden Poren. Der Verschlämmungsgrad einer Bodenoberfläche ist abhängig von der Stabilität des Bodengefüges.

Diese Abhängigkeitsverhältnisse können als Unterstreichung der Bedeutsamkeit des Substratfaktors K gelten. Die (Teil-)bedeckung der Oberfläche (Faktor C) ist besonders bei tonreichen Böden von Hilfe. SHANGNING und UNGER (2001) zeigten dazu auf zwei lehmigen Böden mit einer Mulchdecke aus Stroh folgende Ergebnisse: der Wassergehalt der Böden wurde sogar bei geringen Niederschlagsmengen erhöht. Das betont einerseits wie anfällig

manche Böden für Verschlammung sind, und lässt andererseits auf eine spürbare Veränderung der Oberflächenverschlammung rückschließen.

Die Hackschnitzel können im Zuge ihrer Präsenz am Ackerboden an zwei Ecken positiv wirken. Anfangs wirken sie hauptsächlich als Oberflächenbedeckung, die den Aufprall der Regentropfen abfedert und die Abflussgeschwindigkeit eines entstandenen Wasserfilms mindert – und damit seine mitreißende Kraft gegenüber Bodenpartikeln. Diese Wirkung bleibt einige Jahre erhalten (so auf wendende Bodenbearbeitung verzichtet wird und die HS mit unwendenden Bearbeitungsgängen nur allmählich in den Bodenkörper wandern). Mit der Zeit verändert sich der Grund der positiven Wirkung immer mehr in die Richtung einer aufgrund der HS-Zersetzung verbesserten Bodenstruktur. HS eignen sich hervorragend für den Aufbau gefügestabilisierender Substanzen (vgl. 2.1.1 und 2.2.1).

## 2.2 HOLZ UND HOLZDERIVATE

In diesem Kapitel werden Aspekte der Verwendung von Hackschnitzeln im landwirtschaftlichen Boden behandelt: von Effekt-beeinflussenden Eigenschaften des Holzes, über die von Holzderivaten, hin zu den Eigenschaften die den praktischen Wirtschaftsgebrauch beeinflussen.

### 2.2.1 DEKOMPOSITIONSCHARAKTERISTIK VON HOLZ (HACKSCHNITZELN)

Wie in den vorhergehenden Kapiteln dargelegt ist für die Dekompositionscharakteristik hauptsächlich die stoffliche Zusammensetzung des Holzes von Bedeutung.

Diese variiert zwischen Holz und Rinde, sowie den Gruppen der Harthölzer und Weichhölzer in starkem, und zwischen den Gattungen in geringerem Maß (vgl. *Tabelle 2*). (ERIKSSON et al., 1990; LOHMANN, 1980)

**TABELLE 2: ANTEILE VON LIGNIN UND ZELLULOSE AN MEHREREN KONIFEREN UND WEICHHÖLZERN (WERTE IN % EXTRAKTFREIEN HOLZES).**

(QUELLE: ZABEL und MORRELL, 1992, S.154, „Daten von KOLLMANN UND CÔTÉ (1968). Ergebnisse bereitgestellt von T. E. TIMELL“)

- - - - HARTHÖLZER - - - -					
Bestandteil	<i>Acer rubrum</i> L.	<i>Betula papyrifera</i> Marsh.	<i>Fagus grandifolia</i> Ehrh.	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	<i>Ulmus americana</i> L.
<b>Lignin</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>24</b>
Zellulose	45	42	45	48	51
- - - - KONIFEREN - - - -					
Bestandteil	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill	<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss	<i>Pinus strobus</i> (L.) Carr.	<i>Tsuga canadensis</i> L.	<i>Thuja occidentalis</i> L.
<b>Lignin</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>31</b>
Zellulose	42	41	41	41	41

ANMERKUNG: die angeführten Bäume sind keine typisch europäischen Hölzer, sind aber in ihrem Stoffgehalt repräsentabel.

Nachdem sich die Streu im Versuch nicht wiederfindet – und es mit Blick auf die Nährstoffbilanz eines Waldes auch nie sollte – wird sie im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Zu unterscheiden ist somit hauptsächlich zwischen Rinde, Nadelholz, und Laubholz, und nicht nur deren stoffliche Zusammensetzung, sondern auch das C/N-Verhältnis ist für die Umsetzung im Boden von Interesse. Das C/N-Verhältnis ist zwar kein guter Indikator für die Verrottungsentwicklung von Holz (HEAL et al., 1997, präsentieren ein Lignin/N-Verhältnis als Indikator, siehe auch BLUM, 2007), aber es ist von Bedeutung für die Abschätzung des Stickstoff-Düngebedarfs zur Abwendung einer N-Sperre im Boden (vgl. 2.2.4).

Die Verrottung von Holz war bisher primär im Gartenbau, durch die Verwendung von Rindenmulch als deckende Bodenaufgabe, von Interesse; die Angaben bezüglich der C/N-Verhältnisse bewegt sich dabei in einem akzeptabel konsensuellem Rahmen:

**TABELLE 3: C/N-VERHÄLTNISSE AUSGEWÄHLTER MATERIALIEN - HOLZSCHNITT, RINDE, LAUB UND NADELN, VERSCHIEDENARTIGEN SÄGEMEHL, VERSCHIEDENARTIGEN GETREIDESTROH.**

(Quellen: [1] Sachweh, 2001; [2] Sulzberger, 1994)

<i>Material</i>	<i>C:N-Verhältnis nach [1]</i>	<i>C:N-Verhältnis nach [2]</i>
Holzschnitt	100 – 150	100 - 200
Rinde	100 – 130	100 – 150
Laub, Nadeln		30 – 80
Sägemehl		
-Buche	100	
-Fichte	230	-
-alt	500	
Weizenstroh	100	-
Roggenstroh	60	-

In der *Tabelle 3* wurden die Werte von Weizenstroh, Roggenstroh, Laub und Nadeln zum Vergleich und als Orientierungshilfe angegeben.

Die Abweichung in der Einschätzung von Holzschnitt verdient Beachtung: sie entsteht vielleicht durch einen unterschiedlichen Anteil von Rinde im Holzschnitt, vielleicht auch durch die Wiedergabe eines unterschiedlichen Verhältnisses von Laubholz- und Nadelholz-Schnitt. Diese Unterschiede finden sich sehr deutlich in den Werten des Sägemehls wieder: die Werte von Buche und Fichte unterscheiden sich in hohem Maß. Die Werte des Sägemehls zeigen mit ihrem mächtigen Sprung in ihrem Verhältnis von 100/230 (Buche/Fichte) auf 500 (alt) aber noch etwas: der N-Gehalt von Holz ist extrem abhängig von der Lagerungsdauer. Die Zellstrukturen sind bei Hackschnitzeln noch intakter als bei Sägemehl, aber es sollte nicht vergessen werden, dass auch bei ihnen das Lageralter berücksichtigt werden muss.

### **Zersetzungsprodukte**

Die Zersetzungsprodukte variieren entsprechend der betrachteten Ausgangssubstanz. Diese sind, im Besonderen Lignin und seine Zersetzungsprodukte, im Kapitel 2.1.1 benannt.

### **Zersetzungsagenten**

#### **Biotische Zersetzung**

Die Zersetzung von Lignin ist eine Fähigkeit von einigen Bakterien, und einer Gruppe von Pilzen die aufgrund dieser Gemeinsamkeit als Weißfäulepilze benannt werden. Das Erscheinungsbild eines weißen, zersetzten Baum(teil)es weist auf eine Zersetzung durch

vorwiegend Lignin attackierende Pilze hin und führte zur Namensnennung. Die Zersetzung von Lignin ist von Bedeutung, da Lignin andere Stoffe (wie zB. Zellulose und Hemizellulose) einschließt und dadurch eine fortschreitende Zersetzung der Holzsubstanz, solange die Ligninstrukturen intakt sind, verhindern würde. Jedoch lösen auch diese Organismen Lignin nicht vollständig auf (vgl. 2.1.1).

Die vorrangige Zersetzung von Zellulose und Hemizellulose hinterlässt ein braunes Holzbild (Braunfäulepilze), und von diesem finden sich einige für die HS-Aufbringung auf einen Acker bedeutende Untersuchungen: Die braun zersetzten Holzrückstände seien Hot-Spots mikrobiologischer Aktivität, und Nährstoff- und Wasser-Senken. Die Holzrückstände der Braunfäule weisen schwammartige Charakteristika auf, die zu einem hohen Wassergehalt sogar in trockenen Perioden führen. Stellen mit Substrat aus diesem Ausgangsmaterial seien daher auch immer sehr gut durchwurzelt. Für die Landwirtschaft interessant ist auch eine anscheinend übliche Verbandung dieser Holzrückstände mit Stickstoff fixierenden Bakterien (ERIKSSON et al., 1990).

Interessant ist auch eine Beobachtung, die aus einer sich von anderen Pilzen anscheinend unterscheidenden, und äußerst nützlichen Charakteristik besteht: die Weißfäule-, Braunfäule- und Weichfäule-Pilze produzieren sehr viel an extrazellulären Schleimstoffen entlang ihrer Hyphen (ERIKSSON et al., 1990; HOLTZ et al., 2004). Schleimstoffe stellen wichtige Kittsubstanz für ein stabiles, im Ackerbau gewünschtes, Bodengefüge dar (vgl. 2.1.2)

#### **Lagerung**

Während der Lagerung von Hackschnitzeln findet eine Hitze-Zersetzung der Strukturen statt. Die Temperatur erreicht anfangs, von der Atmungsaktivität der lebenden Parenchym-Zellen verursacht, bis zu 49°C und kann danach – abhängig von der Lagerart - innerhalb von sieben Tagen auf 60-71°C steigen. Bei diesen Temperaturen findet eine Hitzezersetzung statt, bei der Essigsäure freigesetzt wird (KUBLER, 1982). Eine Hitzezersetzung ist an der braunen Färbung zu erkennen; dieser Charakteristik entsprechende Hackschnitzeln sind als sauer zu werten - es kann sogar ein pH-Wert von 3 erreicht werden.

#### **Sonne und atmosphärische Agenten**

Sonnenlicht und atmosphärische Agenten zersetzen Holz durch die photo-chemische Wirkung der Strahlen auf die Bestandteile der Zellwände, und durch die Oxidation der Zerfallsprodukte; die löslichen Zerfallsprodukte unterliegen danach einer Auswaschung. Die mechanische Zersetzung des Holzes durch die Quellung und Schrumpfung, die durch die wechselnde Feuchte des Holzes entsteht, setzt immer wieder frische Schichten diesen Einflüssen aus.

Durch den derart bedingten Abfall der äußeren Schichten wechselt die Farbe des Holzes auch immer wieder vom anfänglichen Braun (durch die photo-chemische Lignin-Zersetzung entstanden) zu einer Scheckung mit helleren Flecken. Der braune Farbton bleibt jedoch in der Praxis vorherrschend. (vgl. ZABEL und MORRELL, 1992)

## 2.2.2 RELEVANTE CHEMISCH-PHYSIKALISCHE CHARAKTERISTIKA VON HOLZ

Die **Wärmeleitfähigkeit** von Holz unterscheidet sich zwischen den Holzarten: schwere Hölzer, wie (lufttrockene) Eiche mit 0,17 W/mK, haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit als weichere Hölzer wie zB. (lufttrockene) Fichte mit 0,13 W/mK. Die Wärmeleitfähigkeit steigt auch mit der Holzfeuchte. (vgl. LOHMANN, 1980). Im Vergleich zu den Wärmeleitfähigkeiten der (wassergesättigten) Böden ist dies eine geringe Leitfähigkeit (vgl. *Tabelle 4*) und eine Auswirkung auf die Bodentemperatur liegt, in Anlehnung an die im Weinbau mit Rindenmulch getätigten Bodentemperaturversuche (vgl. 2.3.1), zumindest bei einer kompletten Bodenbedeckung im zu betrachtenden Bereich.

**TABELLE 4: ANHALTSWERTE FÜR DIE WÄRMELEITFÄHIGKEIT VERSCHIEDENER WASSERGESÄTTIGTER BÖDEN**

Bodenart	Volumetrische Wärmeleitfähigkeit		Bodenart	Volumetrische Wärmeleitfähigkeit	
	$k_u$ (ungefroren) W/mK	$k_f$ (gefroren) W/mK		$k_u$ (ungefroren) W/mK	$k_f$ (gefroren) W/mK
<b>Kies</b>	2,0-3,3	2,9-4,2	<b>Ton</b>	0,9-1,8	1,5-2,5
<b>Sand</b>	1,5-2,5	2,7-3,9	<b>Tonstein</b>	2,6-3,1	2,7-3,2
<b>Schluff</b>	1,4-2,0	2,5-3,3	<b>Sandstein</b>	3,1-4,3	3,2-4,4

(Quelle: SMOLTZYK, 2011, S129)

Der **pH-Wert** von Holz ist im Durchschnitt nur leicht sauer (pH 5-6), aber manche Laubhölzer (zB. die Eiche) liegen eher im Bereich pH 4 (TRÜBSWETTER, 2009; WOLF und SNYDER, 2003)

**Holz und Wasser.** Holz nimmt Wasser aus zwei Quellen auf: aus der Atmosphäre flüssiges Wasser sowie Wasser in Form von Dampf, und flüssiges Wasser aus dem Kontakt mit nassem, porösen Material (Erde). Trockenholz ist sehr hygroskopisch und nimmt sehr schnell gasförmiges Wasser (Wasserdampf) aus der Umgebung auf. Harthölzer nehmen dabei mehr Wasser auf als Koniferen, was wahrscheinlich auf den höheren Gehalt an Hemizellulose und den niedrigeren Gehalt an Lignin zurückzuführen ist.

Für die Zersetzung ist ein Wassergehalt auf dem Level des Fasersättigungspunktes nötig, und dieser liegt mit einem Feuchtelevel von 25-35 % gemeinhin über dem Feuchtegrad, der durch hygroskopische Anziehung aus dem atmosphärischen Wasserdampf gezogen wird. (ZABEL und MORRELL, 1992; SCHNIEWIND, 1989)

Die biotische Zersetzung des Holzes selbst erhöht die Wasserhaltekapazität des Holzes und verändert die Wasserspannungs-Verhältnisse (WARD, 1986).

In Bezug auf die Rinde ist anzumerken, dass v.a. die Rinde von Nadelhölzern eine natürliche Wasserabweisung vorweist. Dies wirkt sich in reinen Rinden-Topfsubstraten mit einem ungünstig schnellen Wasserabfluss aus (WOLF und SNYDER, 2003), wird in einem HS-Gemisch aber höchstwahrscheinlich eine vernachlässigbare Wirkung zeigen.

MILLER et al. (2000) verglichen die Eigenschaften von Stroh und Holz in Bezug auf ihren Wasserhaltecharakter und konstatierten eine höhere Wasserrückhaltefähigkeit des Holzes, sowohl im Zuge einer Trocknung wie auch einer Bewässerung.

### 2.2.3 AUSGANGSZUSAMMENSETZUNGEN VON ASCHE UND VERKOHLTEM HOLZ IM VERGLEICH ZU HOLZ

Holz kann auf zwei thermochemische Arten energetisch nutzbar gemacht werden (vgl. SIEGL 2010):

1. Vergasung: Die Vergasung ist eine partielle Oxidation, in der die chemische Energie (in zwei Schritten/vier Phasen) in Form von Brenngas/Rohgas gespeichert wird.
2. Verbrennung: Die Verbrennung arbeitet mit einer vollständigen Oxidation, in der die chemische Energie in einem Schritt (ein Schritt/vier Phasen) als Wärme freigesetzt wird.

Was bei der dritten Phase beider Verwertungen (Vergasung >500°C) verloren geht ist in Form von N<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> der Stickstoff. Das C:N-Verhältnis der Rückstände ist damit zwangsläufig in jedem Fall ungünstiger als das des unveränderten Holzes.

#### **Asche**

Asche verfügt über keinen strukturellen Wert mehr für den Boden; sie ist so schnell zersetzt, dass sie keinen Dienst mehr für die Erhaltung von organischer Substanz leisten kann (KROMER et al., 1982; WOLF und SNYDER, 2003).

Ihr potentieller Wert liegt in ihrer Verwendung als Nährstofflieferant. Die Asche hat zwar nur einen geringen Nährstoffanteil (WOLF und SNYDER, 2003; ZABEL und MORRELL, 1992; KROMER et al., 1982) und ist für weite Transporte deswegen uninteressant, aber durch den hohen Kalkgehalt ist die Düngung mit Pflanzenasche zur Hebung des pH-Wertes brauchbar. Der höhere Phosphorgehalt von Aschen aus Holz ist im Gegensatz zu Phosphor aus Aschen anderweitigen pflanzlichen Materials zwar nicht verfügbar, und Kali ist in der Holzasche nur zur Hälfte vorhanden (im Vergleich zu Stroh- und Ganzpflanzenasche) (BMLFUW, 2011). Als Kalkung oder Nährstoffdüngung kann Holzasche aber (bedingt) nützlich sein und hebt sich damit von der Holzverwendung in Form der HS ab; der Aschegehalt der Baumarten der gemäßigten Zone übersteigt nämlich selten 1 % (ZABEL und MORRELL, 1992).

#### **Verkohletes Holz**

Biokohle kann sich in seinen Eigenschaften extrem unterscheiden. Das Wasserverhalten von Biokohle reicht zB. von abweisend (aufgrund hydrophober Öle und Harze, oder einem hohen Anteil torrefizierten Holzes) bis hygroskopisch. Auch der variierende Salzgehalt

macht einige Biokohlen ungeeignet als Bodenzusatzstoff. Der pH-Wert wiederum variiert wenig, schließt jedoch durch seine Höhe die Verwendung von Biokohle in manchen Fällen aus: der hohe pH-Wert macht die Kohle im Sinne einer Kalkung in manchen Fällen zusätzlich interessant, aber manche alkalische Böden könnten diesen zusätzlichen Effekt nicht gut verarbeiten. Kein von der Verwendung ausschließender Aspekt sind die variierenden Anteile von leicht löslichen Stoffen („mobile matter“) und verbleibenden Stoffen („resident matter“)<sup>5</sup>; sie verändern einfach den Effizienzquotient. (vgl. MCLAUGHLIN, 2010)

**Torrefikationsprodukte:** Die Torrefikation ist ein Prozess langsamer Röstung bei 250 bis 400°C, aus dem im Endeffekt eine schwarze und krümelige Biokohle entsteht. Biokohle dieser Entstehungsart zeichnet sich (charakteristisch für alle Kohlen) durch Verwitterungsunempfindlichkeit auf, jedoch auch durch seine Widerstandsfähigkeit in Bezug auf Wasser: es wird nicht aufgenommen (vgl. €CO-ECO WORLD MAGAZINE, 2011). Diese Charakteristik macht das Torrefikationsprodukt für die Lagerung und den Transport interessant, jedoch nicht für den auf Melioration abzielenden Bodenzusatz.

## 2.2.4 MÖGLICHE PROBLEME DER HS-VERWENDUNG

### **Gerbsäure**

Im gärtnerischen Bereich wird Rindenmulch (für mehrere Zwecke) schon seit langer Zeit eingesetzt. Zu seiner Verwendung findet sich der Hinweis, dass Rindenmulch für Wege, Blumen, Obstbäume und Büsche geeignet ist, von Gemüse und Stauden hingegen nicht vertragen wird. In Bezug auf die Keimung wird festgehalten (HILDEBRAND, 1979), dass der Rindenmulch durch den hohen Gerbstoffgehalt insbesondere die Keimung von Samenunkräutern unterdrückt, jedoch nicht auf Wurzelunkräuter – und damit auf die im Ackerbau gefährliche Ackerkratzdistel oder die Quecke – wirkt. (WOLF und SNYDER, 2003; SACHWEH, 2001)

Nadelhölzer weisen keine Gerbstoffgehalte auf, aber die Verwendung von Laubholzmehl als organischer Zuschlagsstoff zu (Topf-)Substraten wird wegen den Gerbstoffen mit max. 15 %vol. beschränkt (SACHWEH, 2001).

Durch längere Lagerung wird allerdings, wie der Stickstoffgehalt, auch der Gerbstoffgehalt gesenkt (HILDEBRAND, 1979). Im Gartenbereich ist es allgemein gebräuchlich (stark gerbhaltiges) Laub über den Winter abzulagern bevor es für (oberflächige) Mulchzwecke verwendet wird (SULZBERGER, 1994). Holz sollte durch seine langsamere Zersetzung und höhere spezifische Oberfläche zwar weniger Gerbstoffe verlieren, aber beeinflusst wird der Gerbstoffgehalt durch Lagerung sicherlich trotzdem. Auch bei WALKER (1993) findet sich – leider nur als Nebensatz zu seiner Abhandlung über Holzverwertung, und deswegen

---

<sup>5</sup> Anmerkung: diese Klassifizierung ist mit den Definitionen „Nährhumus“ und „Dauerhumus“ vergleichbar.

genauso unquantifiziert – die Aussage, dass sich die Menge an Extrakten (u.a. Gerbstoffe), die aus Holz zu gewinnen möglich ist, mit der Lagerung der Rinde signifikant verringert.

### **Stickstoff-Konkurrenz (N-Sperre)**

Mikroorganismen und Pflanzen stehen in einem Konkurrenzverhältnis sobald das Stickstoffangebot limitierend wirkt. Bei der Zugabe von organischem Material ohne entsprechende Stickstoffgabe wird durch die Erhöhung der mikrobiellen Tätigkeit diese Konkurrenz verschärft. Die (anfängliche) Verbaueung des schon limitierenden Stickstoffs in mikrobielle Körpersubstanz kann sich auf die Kulturpflanzen entsprechend negativ auswirken. (BAEUMER, 1992; SACHWEH, 2001; BLUM, 2007; KROMER et al., 1982; ESCHEN et al., 2007)

Im Falle der Hackschnitzel trifft dieser Mechanismus, durch den geringen Eigengehalt des Holzes an Stickstoff auf alle Fälle zu; ZABEL und MORRELL (1992) benennen den Proteingehalt eines Baumes als lediglich zwischen 0,03 % (dem Gehalt von totem Kernholz) und 0,1 % (dem Gehalt jungen Splintholzes) schwankend. C:N-Verhältnisse unterschiedlicher Hölzer werden auch im Kapitel 2.2.1 behandelt.

Auf der anderen Seite kann sich die Konzentration an inorganischem Stickstoff im Boden wieder erhöhen. Dieser Effekt entstünde aus der erhöhten Menge an zersetzbarer mikrobieller Biomasse. Wann dieser Peak auftritt, hänge von der Art der Organismen ab die im Abbau der organischen Masse involviert sei. Im Falle von Holz werden vor allem Pilze gefördert, und diese haben langsamere Turn-Over-Raten als Bakterien. Die Rücklieferung von Stickstoff in den Boden, nach der initialen Stickstoff-Sperre, wird daher als langsamer und später einsetzend angenommen (ESCHEN et al., 2007).

Im Fall von Holz könnte aber auch die Stickstoff-Sperre an sich gemächlicher verlaufen und erst später einsetzen: durch die im Regelfall langsamere Abbaubarkeit von Lignin wurden unter holzigen Abdeckungen bereits geringe N-Immobilisierungen beobachtet (BEECK et al., 2006).

### **Wassernachlieferung und -knappheit**

Große Massen trockenen organischen Materials können zu einer Wasserknappheit führen, da das trockene organische Material Wasser aufnimmt. Vor allem durch große Stücke organischen Materials kann auch die kapillare Nachlieferung von Wasser ernsthaft unterbrochen werden und somit zu einem Problem bei der Keimung werden wenn dadurch der Kontakt vom Samen zur Erde verhindert wird. Dieses Problem tritt laut WOLF und SNYDER (2003) aber nur bei sofortiger Einarbeitung der organischen Masse auf: bei einer zum größten Teil auf der Oberfläche belassenen Ausbringungsart können diese Bedenken jedoch hinfällig sein, sofern die organische Substanz dort hinreichend zersetzt wird bevor sie in tiefere Bodenschichten gelangt. Dies trifft jedoch wahrscheinlich eher auf das schneller zersetzte Pflanzenmaterial (Erntereste) zu, und könnte im Falle der HS durchaus zu Problemen führen.

## **Sauerstoff**

In der Literatur findet sich der Hinweis, dass die Zugabe großer Mengen an organischem Material eine Sauerstoff-Knappheit im Boden herbeiführen können. Zustande kommt diese Knappheit an Sauerstoff durch eine erhöhte mikrobielle Aktivität, die durch Atmung die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Boden erhöht. Gefördert wird dies durch nasses Material, das den Gasaustausch des Bodens (durch die Bildung kompakter Schichten, bzw. durch die Füllung der Poren mit Wasser) verzögert. Diese Sauerstoffknappheit beeinflusst die Pflanzenatmung negativ und führt zu Wachstumsverzögerungen, da die Wasser- und Nährstoffaufnahmefähigkeit der Pflanzen sinkt. (vgl. WOLF und SNYDER, 2003).

Da Holz keine nasse Masse in diesem Sinn darstellt kann der konkrete Fall der HS-Ausbringung nicht wegen einer Herabsetzung der Gasaustauschrates als Gefahr betrachtet werden. Eine auf Gefahrenlevel erhöhte Atmungsaktivität ist jedoch zumindest für hohe HS-Mengen wie 90-180 t/ha anzudenken, v.a. falls der überwiegende Teil der HS, durch wendende Bodenbearbeitung, in einem Durchgang in den Boden gelangt. Die Verbandung der Ligninstrukturen mit den Zellulose- und Hemizellulose-„Depots“ legt zwar nahe (vgl. 2.2.1; ERIKSSON et al., 1990), dass es auch dann zu keiner sprunghaften Steigerung des Bodenlebens kommen würde, die mit der einer durch Blattmasse hervorgerufenen Steigerung vergleichbar wäre, aber eine Studie die sich speziell mit diesem Punkt befasst wurde nicht gefunden. Es ist jedoch keine Gefahr vorhanden solange auf die wendende Bodenbearbeitung verzichtet, und die HS-Menge im Zuge der anderweitigen Bearbeitungsgänge allmählich eingearbeitet wird.

## **Verminderte Verfügbarkeit von Mikro-Nährstoffen**

Die Gefahr der verringerten Verfügbarkeit von Mikro-Nährstoffen wird v.a. mit erhöhtem Humus-Gehalt in Verbindung gebracht. Bor wird von organischem Material adsorbiert, Kupfer immobilisiert, und Eisen und Zink werden u.a. durch die vermehrte MO-Gesellschaft in größerem Ausmaß zwischenzeitlich fixiert. (WOLF und SNYDER, 2003)

Die Fixierung von Mikro-Nährstoffen durch Humus ist den positiven Effekten gegenüber zu stellen. Zu Eisen und Zink ist anzumerken, dass die Turn-Over-Rate bei Mikroorganismen hoch ist, womit Eisen und Zink der Pflanze immer wieder in gelöster Form zur Verfügung stehen sollten.

## **Bodentemperatur**

Auf dem Boden belassene oder aufgebrachte Mulchschichten wie Erntereste und Stroh werden gemeinhin als Verzögerung der Frühjahrserwärmung betrachtet (DIEPENBROCK et al., 2005). Dies wird teilweise auf die Färbung, teilweise auf die erhöhte Bodenfeuchtigkeit zurückgeführt. Die Hackschnitzel verlieren ihre helle Färbung jedoch relativ schnell, weswegen die Möglichkeit besteht, dass der Verzögerungseffekt erhöhter Feuchte neutralisiert wird, oder dessen Einfluss sogar übersteigt und zu einer höheren, früheren Erwärmung von (helleren) Böden führt.

## 2.2.5 PRAXISRELEVANTE UND WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE DER AUSBRINGUNG VON HACKSCHNITZELN

### 2.2.5 - I. WAHL DES HOLZES

Hackschnitzel wurden aus praktischen Überlegungen heraus für den Versuch gewählt: Holz ist zwar eine begehrte Ressource, fällt aber in Ausnahmen immer noch kostengünstig an (vgl. 2.2.5 - II), und Holzmasse ist in Österreich in jedem Gebiet verfügbar. Die kostengünstigen Ausnahmefälle werden in der Regel jedoch nur überschaubare Mengen an Hackschnitzeln liefern, und damit ist die Ausbringung von HS nur für einen kleinen Teil der Ackerflächen vorstellbar - für die besonders von Wassererosion betroffenen Hang- und Kuppenlagen von mit Hackfrüchten bestellten Äckern.

Die Erforschung der Be- oder Unbedenklichkeit einer HS-Ausbringung betrifft (in Österreich) also hauptsächlich den HS-„Glücksfall“ einer kostengünstig zur Verfügung stehenden Holzmenge, und dieser wird somit selten hinsichtlich seiner Artenzusammensetzung auswählbar sein.

In diesem Kapitel soll abgeklärt werden, inwiefern und -weit die unterschiedlichen Zusammensetzungen, wie sie in der Praxis vorhanden sein werden, Einfluss auf den Ergebniseffekt haben könnten, und ob sonstige Aspekte zu beachten sind.

**Wie gewichtig ist die mögliche Abweichung vom erwünschten und erforschten Ergebnis durch ein Abweichen in der verwendeten Holzart zu sehen?**  
Die Elementarzusammensetzung fällt für verschiedene Holzarten und auch verschiedene Baumteile (Wurzel, Ast, Stamm) auffallend gleichartig aus (C ~50 %, O ~43 %, H ~6 %, N und Minerale ~1 %). Anders ist das mit den chemischen Bestandteilen, die je nach Holzart, Standort und Alter in ihrer Zusammensetzung erheblich variieren. (LOHMANN, 1980)

Für die mikrobiologische Zersetzung ist allerdings genau diese ausschlaggebend, da der gewünschte Dauerhumus aus mikrobiell schwer umsetzbaren Stoffen entsteht (BLUM ,2007): Lignin zB. wird zu zwei Dritteln in Dauerhumus bildende Huminstoffe umgesetzt während von Hemizellulose ein wesentlich größerer Anteil in die Kategorie leicht zersetz- und damit „verflüchtig“barer Endprodukte fließt (vgl. *Abbildung 5*, KAP.2.1.1).

Die Bandbreite der einzelnen Anteile bewegt sich dabei, je nach Vergleichsgruppe, in einem kleinen oder großen Rahmen. Auf erster Ebene können die Bestandteile von Holz mit drei Gruppen unterschieden werden: Holozellulose, Lignin, und Extraktstoffe. In *Tabelle 2*, KAP. 2.2.1, ist ersichtlich wie sehr diese Verteilung, vornehmlich zwischen Hartholz und Weichholz, schwankt. Im Vergleich zu unverholzten Pflanzen nimmt sich diese Schwankungsbreite als vernachlässigbar aus, aber sofern eine Auswahlmöglichkeit besteht hat eine Entscheidung auf Basis der nächstgenannten Punkte sicher Sinn.

**Wie lässt sich auf die Eigenschaften des zur Verwendung gedachten Holzes schließen?**  
Nachdem das Konzept der Hackschnitzelverwendung auch den Gedanken der

Wirtschaftlichkeit miteinschließt stellt sich die Frage ob, oder wie, sich Holz abseits von laborbasierten Untersuchungen auf seine Eignung hin einordnen lassen.

Für all jene die sich mit Holzarten in ihren Werkstoffqualitäten auskennen mag folgender Hinweis brauchbar sein: Die Zugfestigkeit eines Holzes beruht zum großen Teil auf Zellulose, während eine hohe Druckfestigkeit vom Lignin-Gehalt abhängig ist (vgl. LOHMANN, 1980).

Die Dichte eines Holzes ist keine gute Basis für Schätzungen: sie korreliert nur sehr schwach mit dem Zersetzungswiderstand (ZABEL und MORRELL, 1992). Die einfachste Unterscheidung bleibt demnach die zwischen Hart- und Weichhölzern: die Harthölzer weisen generell einen geringeren Anteil an Lignin auf als die Weichhölzer (vgl. *Tabelle 2*; LOHMANN, 1980), so dass sie in der Regel schneller zersetzt sind als die Weichhölzer (WOLF und SNYDER, 2003; ERIKSSON et al., 1990).

Anm.: Dies gilt allerdings nur für die Arten der gemäßigten Klimazone; tropische Harthölzer besitzen einen höheren Lignin-Gehalt, und einen höheren Aschegehalt, als die meisten Arten der gemäßigten Zone (ZABEL und MORRELL, 1992).

#### **Wie verändert sich die Ausbringungsmenge mit unterschiedlichen Holzarten?**

Wenn eine spezifische Ausbringungsmenge, wie zB. „am anderen Feld“ oder „in diesem Versuch“, erreicht werden soll (oder nicht erreicht werden soll) stellt sich die Frage ob „eine Tonne Holz gleich einer Tonne Holz“ ist.

Die Reindichte der Hölzer (Dichte ohne Hohlräume) beträgt einheitlich  $1,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g}$ . Wenn das Gewicht einer Holzmenge bekannt ist, kann somit mit einer Umrechnung von 1:1 gearbeitet werden.

Die Rohdichte (Dichte mit Hohlräumen) von Holz bewegt sich entlang der verschiedenen Arten allerdings von  $0,1$  bis  $1,4 \text{ g/cm}^3$ . Da sich die Rohdichte innerhalb einer Art noch dazu in einer Gauß'schen Normalverteilung bewegt, zahlt sich, falls mit Augenmaß von einem Holzvolumen ausgegangen wird, die Konsultation einer Arten-Rohdichte-Tabelle für entsprechende Mengenmodifikation aus.<sup>6</sup> (LOHMANN, 1980)

#### **2.2.5 - II. ÖKONOMISCH KONKURRENZIERENDE HOLZVERWERTUNG**

Österreich ist ein an Holz reiches Land, aber auch die Verwertungsmöglichkeiten sind nicht gering, und es stellt sich die Frage, ob die Ausbringung von Holz auf Felder ökonomisch überhaupt vertretbar ist. Von Interesse für die meliorative Ausbringung sind schon im Vorhinein daher nur diejenigen Holzquellen, aus denen minder bezahltes Holz stammt. Es bieten sich dafür Schlagrückklasse, Stock- und Wurzelholz, holzartige Grünabfälle, Landschaftspflegeholz, unbehandeltes Altholz, Holz aus Kurzumtrieb oder einer Durchforstung, oder Holz minderer Qualität an. Ausschlaggebend für die tatsächlich entstandenen Kosten und die möglichen Erlöse sind viele Faktoren, und so wird hier nicht

---

<sup>6</sup> zB. LOHMANN 1980 S.32

der Versuch unternommen, diese quantitativ zu erfassen. Die Absatzmöglichkeiten einer Betrachtung zu unterziehen scheint allerdings sinnvoll.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind die großen Abnahmebereiche für das aus den genannten Quellen stammende Holz die Versorgung von privaten Haushalten in Form von Pellets oder Hackschnitzeln, und die Verwendung zur energetischen Umwandlung in Biomasse(heiz-/kraft-)werken. Die Biomassewerke sind in Österreich jedoch noch nicht flächendeckend vorhanden, und für sie gilt – noch – eine Beschränkung der Biomasse-Eignung durch den Anspruch an die Trockenheit der zu verwendenden Biomasse. KROMER et al. (1982) konstatieren, aufgrund der Gutfeuchte (und auch wegen des ungünstigen C:N-Verhältnisses), eine sehr geringe Eignung von zB. Schnittholz für die Verwendung der Biogas-Erzeugung und der Pyrolyse.

Zur Zeit gibt es also immer noch Lücken im Absatzmarkt, aber diese schließen sich rasch. In der Steiermark soll in Frohnleiten schon 2014 der Regelbetrieb einer Torrefikationsanlage starten. Diese Art der Biomasseverwertung kann mit höheren Ausgangsfeuchtegehalten arbeiten und ist auf eine hohe Produktion ausgelegt. Da der primäre Absatzmarkt für torrefizierte Pellets nicht regionale und auch nicht herkömmliche Pelletsanlagen sind, sondern in der ergänzenden Befeuerung von Kohleheizungen liegt, wird die steirische Torrefikationsanlage auch nicht lediglich die Aufteilung des derzeitigen Holzpelletmarkt verändern. Sie schafft eine neue, zusätzliche Absatzmöglichkeit für Holz. Der Einzugsbereich kann dabei nur abgeschätzt werden, aber innerhalb von Österreich wird sich der Holzmarkt dadurch in höherem Maße in Richtung eines anbieterdominierten Marktes entwickeln. (€CO-ECO WORLD MAGAZINE, 2011; RUBICK und ENGLISCH, 2011)

Eine weitere Konkurrenz wird mit der Einführung der „2. Generation“ der Biokraftwerke entstehen. Mit ihr soll die Nutzung feuchtereicherer Ausgangsstoffe wirtschaftlich nutzbar werden (Gülle, Nahrungsmittelabfälle aus der Gastronomie, und Restholz mit einer Feuchte >50 %). Die Forschung an neuen Möglichkeiten ist in vollem Gang, und der wahrscheinliche Start dieser neuen Technologien in die Anwendung steht nicht mehr lange (fünf bis zehn Jahre) aus. (vgl. KNAUF, 2008)

Außerhalb von Österreich ist die Beschaffungslage bzw. der Absatzmarkt von Holzmasse zum Teil andersartig. Wo Holzpelletheizungen keine große Verbreitung erfahren haben sind Industrierückstände wie Holzwole aus der Sparte der Furnierholzerstellung, oder Spanholzrückstände, ein kostengünstiges und oftmals zur Gänze unverwertetes Produkt (vgl. FOLTZ und COPELAND, 2007; LARNEY et al., 2008). Auch die flächendeckende Ausbreitung von Torrefikationsanlagen bzw. Biokraftstoffanlagen der 2. Generation wird sich zwischen den Staaten unterscheiden.

Hinweis: Der Einsatz verschiedener Holz-Rückstände und -produkte aus den energetischen Verwertungen als meliorierender Bodenzusatzstoff wird in Kapitel 2.3.2 - II diskutiert.

## **2.3 LANDWIRTSCHAFTLICHE PRAKTIKEN UND ANSÄTZE**

Im Subkapitel 2.3.1. werden ausgewählte Studien und deren Ergebnisse vorgestellt.

Hackschnitzel werden bereits seit geraumer Zeit (zB. von LUNT im Jahr 1955, oder von FREE im Jahr 1971) immer wieder, jedoch insgesamt sehr spärlich, bezüglich ihrer theoretisch günstigen Eigenschaften als Bodenzusatz getestet. Nicht alle Versuche betreffen den landwirtschaftlichen (gärtnerischen, önologischen, ackerbaulichen) Bereich: die Bodenmelioration bzw. -bedeckung ist auch in Rehabilitationen gestörter Flächen (Aufschüttungen, Hangsicherungen) von großer Bedeutung. Während letztere Versuche keine Information über die Verträglichkeit von Hackgut (bzw. deren Inhaltsstoffen) auf landwirtschaftliche Kulturen liefern, sind sie wertvoll im Bereich ihrer Erkenntnisse über bodenphysikalische und -chemische Auswirkungen.

Im zweiten Subkapitel, 2.3.2., werden Alternativen zur Verminderung von Wassererosion und Alternativen in der bodenmeliorierenden Holzverwendung angeschnitten: die Sinnhaftigkeit einer HS-Ausbringung hängt schlussendlich auch vom Effizienzlevel anderer Maßnahmen ab.

### **2.3.1 VERWENDUNG VON HACKSCHNITZELN ALS MELIORIERENDER STOFF**

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Studien rund um eine Ein- oder Ausbringung von Holz in und auf Böden sind in *Tabelle 5* zusammengefasst.

**TABELLE 5: ÜBERSICHT ÜBER DIE IM KAPITEL 2.3.1 VORGESTELLTEN STUDIEN.**

<b>Autor</b>	<b>Boden</b>	<b>Material</b>	<b>Versuchsrahmen</b>	Organische Bodensubstanz	Aggregatstabilität	Bodendichte	Infiltrations- bzw. Erosions-Parameter	Wasserhaltekapazität	Bodenfeuchte	Gare (Gefüge)	Nährstoff-Verfügbarkeit	pH-Wert	Ertrag / Wachstum
<b>Free 1971</b>	<b>Toniger Lehm</b>	<b>HS aus Hartholz</b>	Gemüse	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓
<b>Hoagland et al. 2008</b>	<b>Sandiger Lehm</b>	<b>HS aus Hart- u. Weichholz</b>	Obstgarten						✓		✓		✓
<b>Holtz et al. 2004</b>	<b>Lehmiger Sand</b>	<b>Holzschnitt</b>	Mandel-Plantage		✓		✓	✓			✓	✓	
<b>Augustenborg et al. 2001</b>	<b>Lehmig</b>	<b>Holzspäne mit und ohne Stallmist</b>	Grünland								✓		✓
<b>Larney et al. 2007</b>	-	<b>HS mit Stallmist</b>	-	(x)									
<b>Miller et al. 2000</b>	<b>Toniger Lehm</b>	<b>HS mit Stallmist</b>	-			✓	✓	✓					
<b>Lunt 1955</b>	-	<b>HS</b>		✓						✓			
<b>Tahboub et al. 2008</b>	<b>Tonig</b>	<b>HS</b>	Pecan-Plantage	✓	✓	✓			✓	✓		✓	
<b>Foltz und Copeland 2008</b>	<b>Sandiger Lehm u. Kiesiger Sand</b>	<b>Holzschnitt</b>	Niederschlags-Simulation				✓						
<b>Grismer und Hogan 2008</b>	-	<b>HS (eingearbeitet)</b>	Niederschlags-Simulation				✓						
<b>Wischmeier und Meyer 1973</b>	-	<b>HS</b>	Niederschlags-Simulation				✓						
<b>Krapfenbauer 1971; Gut et al. 1990; Zöttl 1980; Spring 1993</b>	<b>div.</b>	<b>HS</b>	Weinbau				✓		✓				✓
<b>Gao et al. 2007</b>	<b>Synth.</b>	<b>HS</b>	Hangrevitalisierung	✓				✓			✓		

(Anm.: (x) = Indikator, dass der entsprechende Parameter nur als im weitesten Sinn behandelt betrachtet werden kann; der spezielle Studienfokus lässt jedoch keine sinnvollere Zuordnung zu.).

## Umrechnungshinweis; Orientierungsgrundlage

Mengenangaben in % (Zusatz von HS in %) beziehen sich meistens auf das Bodengewicht der obersten 30 cm. Ein Vergleich mit einer Angabe in t/ha ist durch die unterschiedlichen Bodendichte-Werte nur annähernd möglich. Eine Annäherung wäre zum Beispiel eine Umrechnung von 51 t/ha pro Prozentpunkt. (Bei einer Annahme einer Dichte von 1,7 g/cm<sup>3</sup> beträgt das Gewicht einer 30 cm mächtigen Bodenschicht eines Hektars 5.100 Tonnen).

## I Verwendung im landwirtschaftlichen Bereich

**FREE (1971)** experimentierte mit jährlichen Hartholz-Hackgut-Gaben auf für Gemüseproduktion genutztem Boden (toniger Lehm). Die HS zeigten nach und während den sieben Jahren einer jährlichen Ausbringung von etwa 7 t/ha (Trockenmasse) keine negativen Auswirkung auf den Fruchtertrag. Auch auf den Parzellen ohne ausgleichende N-Düngung wurde keine Wachstumsdepression bemerkt, jedoch führt FREE dies auf das hohe Ausgangslevel an Humus und Gefügestabilität des Versuchsbodens zurück, und merkt an, dass dieses Ergebnis nicht in einem (unpublizierten) Versuch mit einem Boden <2 % Humus erreicht wurde; dieser zeige außerdem eine Tendenz, auch für die Veränderungen der anderen Bereiche länger zu brauchen.

**TABELLE 6: BODENPHYSIKALISCHE UND -CHEMISCHE ERGEBNISSE AUS DEM VERSUCH VON FREE (1971).**

<b>Erosion (ABAG)</b>	vermindert	<b>Nährstoff-Verfügbarkeit</b>	K: erhöht P: keine konsistente Auswirkung
<b>Bodenfeuchte</b>	erhöht	<b>Aggregatstabilität</b>	erhöht
<b>SOM</b>	hoch signifikante Auswirkung	<b>Bodendichte</b>	unbeeinflusst bzw. erhöht <sup>1</sup>
<b>pH-Wert</b>	leicht gesunken		

<sup>1</sup>Erhöht, wenn die Hackschnitzel mind. 1 Jahr an der Oberfläche belassen wurden.

Signifikante Unterschiede auf den Ertrag wurden, als fruchtunabhängig, nur zwischen zwei Varianten-Paaren festgestellt: die Variante mit oberflächlich belassenen HS ist der Variante ohne HS signifikant überlegen ( $p=0,01$ ), und die Variante, in der die HS eingepflügt wurden und keine Zwischenfrucht angebaut wurde, ist der Variante mit Zwischenfrucht aber ohne HS signifikant überlegen ( $p=0,05$ ). Andere Signifikanzen unterscheiden sich nach den angebauten Früchten (Mais, Tomate, Kohl, Erbsen, Luzerne). Zwei weitere Trends sind jedoch augenscheinlich: manche Früchte verlangen zur HS-Gabe eine zusätzliche N-Gabe um einen positiven Effekt wirken zu lassen (jedoch nicht alle), und die Variante der oberflächlich belassenen HS zeigt seine positive Wirkung in stärkerem Maß als die Variante mit eingepflügten HS.

**HOAGLAND ET AL. (2008)** beschäftigten sich im Rahmen eines Vergleichs unterschiedlicher Bewirtschaftungen mit einer frisch ausgesetzten, biologisch geführten Apfelplantage mit HS. Gemessen wurden die Auswirkungen auf den Stickstoff-Zyklus, das Baumwachstum und die biologische Aktivität des Bodens. Die HS wurden nur im Zuge der herbstlichen, fräsenden Bearbeitung in den Boden eingebracht und bestanden aus Hart- wie auch Weichholz.

**TABELLE 7: BODENPHYSIKALISCHE UND -CHEMISCHE ERGEBNISSE AUS DEM VERSUCH VON HOAGLAND ET AL. (2008).**

<b>Verfügbare Stickstoff</b>	verringert*	<b>Bodenfeuchte</b>	erhöht
------------------------------	-------------	---------------------	--------

\*Isotopische Analysen bestätigten die Immobilisierung von Stickstoff in HS-Rückständen.

Das Baumwachstum wurde mit einer Erhöhung der Stamm-Querschnittsfläche um nahezu 300 % als außergewöhnlich benannt und weist eine statistisch signifikante Abweichung auf dem Level  $p=0,001$  auf. Das Wachstum wird als Reaktion auf die erhöhte Verfügbarkeit an Wasser vermutet.

**HOLTZ ET AL. (2004)** arbeiteten mit Baumschnitt von Mandeln auf lehmigem Sand: die Ergebnisse stammen teils aus einem Container-Versuch (133 Liter pro Mandelbaum), teils aus einer Mandelbaumplantage in der der Baumschnitt zum Zeitpunkt der Probenahmen bereits 14 Jahre lang jährlich als Bodenmelioration verwendet wurde. Die Containerversuche wurden für die Untersuchung der Nährstoffverfügbarkeit herangezogen, die Plantage diente der Ermittlung chemischer und physikalischer Parameter des Bodens.

Die Substratmischung der Container bestand zu einem Drittel aus Hackgut (etwa 410 t/ha).

**TABELLE 8: BODENPHYSIKALISCHE UND -CHEMISCHE ERGEBNISSE AUS DEM VERSUCH VON HOLTZ ET AL. (2004).**

<b>Infiltration<sup>1</sup></b>	signifikant erhöht von Anfang an	<b>Nährstoff-Verfügbarkeit</b>	Im <u>ersten Jahr</u> : > Ca, Mg, N, B, Zc, Ku, P, K, NH <sub>4</sub> < Mn, Fe, NO <sub>3</sub> Im <u>zweiten Jahr</u> nur mehr erhöhte P-Verfügbarkeit Im <u>dritten Jahr</u> : > Fe, Mn
<b>SOM</b>	erhöht		
<b>Aggregation</b>	erhöht; auch größerer Umfang der Aggregate		
<b>pH-Wert</b>	reduziert		

<sup>1</sup>18,9 Liter

Der Effekt der HS auf das Wachstum der Mandelbäume in den Containern wurde als positiv festgehalten.

**AUGUSTENBORG ET AL. (2001)** untersuchten über vier Jahre die Auswirkungen einer Ausbringung von Holz auf Grünland. Grundlage dafür war die Verwendung von Holzspänen als Einstreu über künstlich drainierten Außenstallflächen (Rinder) über den Winter. Die mit Dung vermischten Holzspäne werden in Irland üblicherweise auf für Silage gedachte Grünlandflächen ausgebracht; AUGUSTENBORG et al. untersuchten jedoch auch die äquivalente Holzspanausbringung ohne Dungzusatz.

Die Ausbringung einer Dung-Holz Mischung von bis zu 50 t/ha führte zu keinem Einbruch der Silage-TM-Ertrag oder dem N-Gehalt der Silage. Die Varianten von 3-15 t/ha an unbehandeltem Holz führten zu einem verringerten TM-Ertrag, jedoch nicht zu einem veränderten N-Gehalt der Pflanzenmasse. Augustenborg et al. schließen daher auf eine negative Wirkung über den Verschluss der Bodenoberfläche und schließen eine N-Sperre aus.

AUGUSTENBORG et al. führen drei Studien an, die ebenfalls keinen direkten Einfluss von Sägespan-Dung-Mischungen auf Ackerkulturen finden, jedoch eine Erhöhung des SOM. Die Ergebnisse bezüglich einer N-Sperre fielen bei diesen Versuchen unterschiedlich aus (hervorgerufen/nicht hervorgerufen).

**LARNEY ET AL. (2007)** berichten ebenfalls von einer Mischung aus Stallmist und Holz, jedoch mit Hackschnitzeln anstatt Sägespänen. Ihr Fokus liegt auf den Kompostierungseigenschaften dieser Mischung, jedoch sind einige Ergebnisse auch abseits davon interessant. So führen sie an, dass Hackschnitzel den konvektiven Luftstrom innerhalb einer Miete verbessern und weisen darauf hin, dass ein Kompost mit Hackschnitzeln am Ende mehr Kohlenstoff und Stickstoff aufweist als Kompost mit Stroh.

**MILLER ET AL. (2000)** vergleichen die Effekte von Stroh und Holz (Sägemehl mit Rindenmulch), als Zugabe zu Stallmist und Stallmistkompost und dessen darauffolgender Ausbringung, auf bodenphysikalische Parameter eines tonigen Lehms.

**TABELLE 9: BODENPHYSIKALISCHE UND -CHEMISCHE ERGEBNISSE AUS DEM VERSUCH VON MILLER ET AL. (2000).**

<b>Ausbringung</b>	<b>Erzielter Effekt</b>	<b>Variante mit höchstem Effekt bzw. Reihung der Effektsignifikanz</b>
Jährliche Ausbringung 39 und 77 t/ha	<b>verringerte Bodendichte</b>	mittlere Ausbringungsmenge von Stallmist mit Holz (Stallmist > Kompost; Holz > Stroh)
Einmalige Ausbringung 180 t/ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>erhöhte Wasserkapazität bei -20 und -1500 kPa</b></li> <li>• erhöhte Wasserleitfähigkeit bei gesättigtem Bodenzustand</li> <li>• erhöhte Anzahl und Porosität von Poren &gt;1mm</li> </ul>	Stallmist mit Holz > Kompost mit Holz > Varianten mit Stroh

Die signifikanten Auswirkungen der einmaligen Ausbringung auf bodenphysikalische Parameter war für die Autoren eine Überraschung: förderliche Auswirkungen von Zugaben an organischem Material werden üblicherweise erst als nach ein paar Jahren auftretend erwartet. MILLER et al. schließen von dieser schnellen Wirkung darauf, dass mehr die physikalischen Eigenschaften des Materials (Verteilung der Partikelgrößen, spezifische Oberflächen) zur Wirkung kamen als die chemischen (wie zB. der Kohlenstoffgehalt).

**LUNT (1955)** führte einen fünfjährigen Versuch mit Hackschnitzeln als Bodenverbesserungsmittel durch und kam zu dem Schluss, dass Hackschnitzel nicht toxisch für den Boden sind, und eine zwar bescheidene, aber im allgemeinen fördernde Wirkung auf das Gefüge, den Humusgehalt und diverse andere Bodeneigenschaften haben.

**TAHBOUB ET AL. (2008)** untersuchten die chemischen und physischen Charakteristika eines lehmig-tonigen Bodens der mit Pecan-Hackschnitzeln behandelt wurde. Es wurden in bis zu drei hintereinander folgenden Jahren jeweils 0, 4.5, 9, 13.5 und 18 t/ha aufgebracht. Einige Parzellen wurden zusätzlich mit Ammoniumsulfat gedüngt um eine N-Sperre auszuschließen (Düngung auf ein C:N-Verhältnis von 30:1). Das ausgebrachte Hackgut war sehr klein (2-8 mm Durchmesser, 2,5-5 cm Länge) und wurde einmal pro Jahr auf 10 cm Tiefe eingearbeitet.

**TABELLE 10: BODENPHYSIKALISCHE UND -CHEMISCHE ERGEBNISSE AUS DEM VERSUCH VON TAHBOUB ET AL. (2008).**

<b>Bodenfeuchte</b>	geringer Effekt <sup>1</sup>	<b>Aggregatstabilität</b>	signifikant erhöht
<b>SOM</b>	signifikant erhöht	<b>Bodendichte</b>	unbeeinflusst <sup>2</sup>
<b>Aggregation</b>	gefördert	<b>Bodengare</b>	gefördert
<b>pH-Wert</b>	unbeeinflusst	<b>Elektrische Leitfähigkeit</b>	unbeeinflusst

<sup>1</sup>Der Boden hatte allerdings von Haus aus eine hohe Feldkapazität. Eine signifikante Erhöhung der Bodenfeuchte wurde nur bei einer Probe festgestellt.

<sup>2</sup>Die Bodendichte blieb laut Tahboub et al. wahrscheinlich unbeeinflusst, weil die Pecan-HS zu wenig schnell verfügbare C-Quellen besaß um die Menge an Schleimstoffen, Zuckern, Fetten und halbhumiifizierten organischen Materialien hervorzurufen, die als Bindeagenten funktionieren.

### **Verwendung speziell im Weinbau**

Die Verwendung von Holz im Weinbau ist separat zu sehen und hat nur bedingte Aussagekraft für eine allfällige Verwendung von HS im Ackerbau. Im Weinbau wird vordringlich Rindenmulch (KNOLL, 2000) verwendet, und dies in einem an die gärtnerische Verwendung angelehnten Modus (KNOLL, 2000): die Aufbringung geschieht in einem die Bodenoberfläche stark bedeckenden Ausmaß.

Dies bedingt andere Ergebnisse zB. in der Bodenfeuchte (durch ein unterschiedliches Ausmaß an Verdunstungshemmung und noch höheren Erosionsschutz) oder in der Wirkung auf die Bodentemperatur (zB. durch einen höheren Grad an Bodenabdeckung). Eine (erzielte) Erhöhung des Humusgehaltes des Oberbodens ist auch durch die in diesem Bereich jährliche Anwendung (im Unterschied zum Ansatz der einmaligen Ausbringung einer Holzmasse wie er in dieser Arbeit verfolgt wird) von Rindenmulch bedingt.

Andere Versuchsergebnisse sind jedoch für den HS-Bereich als Tendenz bedeutend:

- KRAPPENBAUER (1971), GUT et al. (1990) und ZÖTTL (1980) konstatieren eine Erhöhung des Gesamtporenvolumens (v.a. der erwünschten Fein- und Mittelporen).
- In Bezug auf die Bodenerwärmung schneidet der dunkle Rindenmulch (auch die HS nehmen schnell eine dunkle Färbung an) besser ab als humusarmer Mineralboden oder helles Stroh (ZÖTTL, 1980; ZÖTTL, 1994); die geringe Wärmeleitfähigkeit führt trotzdem zu einer langsameren Frühjahrserwärmung des Bodens (SPRING, 1993).

## **II Verwendung in der Erosionsverminderung abseits des landwirtschaftlichen Bereichs**

**FOLTZ UND COPELAND (2008)** untersuchten die Auswirkungen unterschiedlich dichter Bodenbedeckung (0, 30, 50 und 70 %) lehmigen Sandes und skelettreichen Sandes auf die Wassererosion. Als Bodenbedeckungsmaterial wurde gehäckseltes Nadelholz gewählt, das in seiner Länge zwischen 25mm und 200mm variiert. Die Erosionssimulation wurde mit einem simulierten Regenfall von 50mm/h und tlw. zusätzlich dazu mit konzentrierten Strömen von 1 bzw. 4 l/min durchgeführt; letztere sollten die Wasserkraft von Wassermassen oberhalb gelegener Hangschichten simulieren.

**TABELLE 11: BODENPHYSIKALISCHE UND -CHEMISCHE ERGEBNISSE AUS DEM VERSUCH VON FOLTZ UND COPELAND (2008).**

	<b>Dauer bis zur Entstehung eines Abflusses</b>	<b>Abfluss-Rate</b> (Wasser)	<b>Erosion</b> (Masse an abgeführten Boden)	<b>Ø Durchmesser der erodierten Partikel</b>
Sandiger Lehm (Feinboden)	0 %: 5 min 30 %: + 6 min 50 %: + 10 min 70 %: +15 min	-25 bis -100 %	-64 bis -100 %	unverändert
Skelettreicher Sand (Grobboden)	0 %: 15 min 30 %: + 1 min 50+70 %: ähnlich minimale Unterschiede	-5 bis -60 %	-55 bis -94 %*	feiner je höher der Grad der Bodenbedeckung

\*Für eine Bodenbedeckung von 30 % wurde für diesen Boden keinen statistisch abgesicherte Differenz zur unbedeckten Variante gefunden.

Die Variante mit 30 % führte bei beiden Böden für die Niederschlagssimulation von 50 mm/h ohne den simulierten Oberhangeinfluss zu einer Verringerung der Erosionstiefe auf praktisch Null.

Eine Aufbringungsmenge von 30 % wird aber nur als ausreichend gesehen für Standorte, die keiner größeren Erosionsgefahr ausgesetzt sind. Für stärker erosionsgefährdete Hänge werden 50 % Bodenbedeckung auf Feinboden und 70 % auf gröberen Böden empfohlen. Holzstücke mit einer Länge von weniger als 25 mm wurden dabei generell als weniger effektiv in der Vermeidung von Wassererosion gesehen; das gleiche gilt für Längen über 200 mm. Abgesehen von dieser Einschränkung führen FOLTZ und COPELAND an, dass die erosionsmindernde Wirkung weniger ein materialspezifischer als wirklich ein Bedeckungs-Effekt ist.

**GRISMER UND HOGAN (2008)** bearbeiteten eine Reihe von Erosionsversuchen im Becken von Lake Tahoe; u.a. wurden Niederschlagssimulationen mit Böden durchgeführt, in die bis in 30 cm Tiefe Hackschnitzel eingebracht wurden. Die beste Infiltrationskapazität, und der geringste, bzw. tlw. auch ein vollständig verhinderter, Bodenabtrag konnte mit Revegetationsprogrammen erreicht werden, gleich danach steht jedoch die HS-Variante: mit ihr konnten ähnliche Resultate erreicht werden. Niederschlagsintensitäten von 180 mm/h führten in der HS-Variante tlw. zu keiner Erosion, teilweise schon bei Niederschlagsintensitäten von 100-120 mm/h zu einem Bodenabtrag; jedoch erst nach einem langem Zeitraum und in sehr geringem Maß (0,6 g/l). Die HS-Variante zeigte damit außerdem bessere Resultate als die Variante mit einer Mulchdecke aus Stroh.

Die Messungen im darauffolgenden Jahr bewiesen einen andauernden Effekt; die Ergebnisse waren unverändert.

**WISCHMEIER UND MEYER** (1973; übernommen aus GRISMER UND HOGAN 2008) zeigten in Studien einen Erfolg von HS-Abdeckungen und Stroh-Abdeckungen in folgendem Ausmaß: auf einem Hang von 9 m Länge und 20 % Gefälle führte eine Aufbringung von 1 t/ha zu Erosionsverminderungen von 32 bzw. 69 %. Eine Erhöhung der HS-Aufbringung auf 10 t/ha führte nahezu zu einem kompletten Stopp der Erosion.

**GAO ET AL. (2007)** haben ihren Fokus auf die optimale Mischung einer synthetischen Erde für die Begrünung von steilen Steinhängen gelegt und dabei die Wirkungen der Misch-Substanzen einzeln untersucht. Hackschnitzel dienen in der Mischung vorrangig zur Herstellung der erwünschten bodenphysikalischen und -chemischen Eigenschaften:

**TABELLE 12: BODENPHYSIKALISCHE UND -CHEMISCHE ERGEBNISSE AUS DEM VERSUCH VON GAO ET AL. (2007).**

<b>Wasserhaltekapazität</b>	signifikant erhöht*	<b>Nährstoff-Verfügbarkeit</b>	> N > P (bis zu einer HS-Gabe von 2 %)
<b>Organische Bodensubstanz</b>	hoch Auswirkung	signifikante	

\*Bei einer HS-Gabe > 2 %.

Sowohl die überirdische als auch die unterirdische Pflanzenmasseproduktion wird durch die Zugabe der HS signifikant gestärkt.

Die Signifikanzen dieser Studie sind für den landwirtschaftlichen Gebrauch zwar nicht sehr aussagekräftig, da sie auf der Basis einer synthetischen Mischung ohne HS entstanden, aber sie weisen auf die Felder hin, in denen die Stärken der HS liegen.

### 2.3.2 KONKURRENZIERENDE VERFAHREN ZUR HACKSCHNITZEL-AUSBRINGUNG

Sollte sich herausstellen, dass die anvisierte Wirkung tatsächlich durch eine HS-Ausbringung erreicht werden kann, stellt sich zur Sinnhaftigkeit der HS-Anwendung immer noch die Frage nach der Positionierung innerhalb der bereits bekannten und aufkommenden Verfahren. Die Beantwortung kann dabei nicht direkt gegeben werden: die meisten Verfahren variieren je nach Standort in ihrer Effektivität und auch Einsetzbarkeit. Abgesehen davon ist die Frage der Wirkung einer HS-Ausbringung aber auch losgelöst von der Effektivitäts- oder Effizienzfrage zu betrachten, da die Rahmenbedingungen einen großen Einfluss darauf haben. Zum Beispiel ist die Frage, welchen Stoff in Händen zu halten noch besser wäre, hinfällig wenn gerade Holz vorhanden ist; in diesem Fall interessiert nicht der Vergleich, sondern ob Holzausbringung unbedenklich ist und erwünschte Wirkungen zeitigt.

### 2.3.2 - I. VERFAHREN ZUR VERMINDERUNG DER WASSER-EROSION

Zur Verminderung von Erosion gibt es zum einen eine Reihe von Ansätzen (SÄCHSISCHES LA FÜR ULG, 2012), die alle in Standard-Textbüchern gefunden und vom Landwirt mehr oder weniger ohne Hilfsmittel eingesetzt werden können:

- Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren und Pflugrinnen
  - Anlage paralleler Streifen quer zum Gefälle, durch einen Wechsel der Fruchtart oder durch eine Einsaat abflussbremsender Grasstreifen
  - Schlagunterteilung durch Anlage von Erosionsschutzstreifen (z.B. Gehölze und Feldraine, bewirkt Verkürzung der Hanglänge)
  - Minimierung der Zeitspannen ohne Bedeckung, unter anderem durch Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfrüchte, Untersaaten und den Auftrag von Strohmulch oder Mulchsaaten
  - Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen
  - Förderung eines stabilen Krümelgefüges (Aggregationsförderung) durch die Förderung von Bodenaktivität und Humusgehalt
- Verkürzung der Hanglänge**
- Bedeckung des Bodens**
- Verbesserung des physik. Zustandes des Bodens**

Auf Einsatzprobleme dieser Maßnahmen wurde bereits an anderen Stellen hingewiesen. Hinzugefügt sei hier jedoch noch, dass die Verkürzung der Hanglänge sehr schnell nur mehr zu einer Verhinderung der offsite-Schäden (Verschlammung von Gräben oder Straßen) beiträgt - indem die Erosionsmasse im Querstreifen abgefangen wird - jedoch nicht mehr zu einer Verminderung der onsite-Schäden (Abtrag von Boden auf dem als Ackerfläche genutzten Boden). Für eine wirksame Konturnutzung dürfte die maximale Hanglänge bei zB. einer Hangneigung von 13-16 % nämlich nur mehr 30 m betragen und bei einer Neigung von 17-18 % nur mehr 20 m (SCHWERTMANN, nach HILLER 2007). Erosionsschutzstreifen innerhalb eines Schlages in dieser Dichte sind schwer vorstellbar.

Ein anderer Ansatz besteht in der Zugabe von Stoffen abseits des Stalldung in den Boden, seien diese Stoffe synthetisch oder natürlich.

Im Jahr 1951 wurde von BEAR erstmals ein chemisches „Bodenverbesserungsmittel“ entwickelt und in einer Spezial-Ausgabe von „Soil Science“ im Jahr 1952 veröffentlicht. Seitdem wurden einige Bodenverbesserungsmittel vermarktet, mit unterschiedlicher Effizienz und oft mit zu hohen Kosten verbunden um großen Einsatz zu finden (XIUBIN und ZHANBIN, 2001). Der landwirtschaftliche Einsatz von Polymeren wird jedoch z.B. auch noch 1997 von einigen Fachleuten (JHURRY, 1997) als empfehlenswert betrachtet.

Der Einsatz von natürlichen Bodenverbesserungsmitteln besteht, soweit ersichtlich, aus der Beimischung von Zeolithen oder Biokohle (sofern eine Zugabe an organischen Materialien wie Stallmist und pflanzlichem Material als dem Humusaufbau zugeordnet und hier ausgeschlossen wird). Zeolithe sind natürlich vorkommende Aluminosilikate mit Eigenschaften die sie für viele agrarische Anwendungen geeignet erscheinen lassen. Zeolithe können und werden tlw. synthetisch modifiziert, aber diese Modifizierungen betreffen eher ihren Einsatz in der Düngung bzw. Düngoptimierung. Ihre Eignung für diverse Anwendungen (Erhöhung der Infiltration, Erhöhung der Feldkapazität, Meliorierung metallisch kontaminierter Böden etc.) hängt von den tlw. stark variierenden Eigenschaften ab. (vgl. PAMMER, 2011, unveröffentlicht). Biokohle kann aus den unterschiedlichsten Ausgangsmaterialien erzeugt werden (Holz, Stroh, Trester, Mist..) und differiert je nach Ausgangsmaterial und Verkohlungsvergung ebenfalls in ihrer meliorativen Eignung (KLOß et al., 2012; MCLAUGHLIN, 2010).

#### NATÜRLICHE BODENVERBESSERUNGSMITTEL UND WASSER:

Dass Zeolithe die Wasseraufnahme trockener Böden fördern wurde schon von VORONEY und VAN STRAATEN (1988, nach RAMESH et al., 2010) gezeigt. Ihre Studie zeigte außerdem, dass auch die laterale Wasserverbreitung im Boden durch Zeolithenzusatz gesteigert werden kann. MU ET AL. (2006) zeigten eine Verzögerung der Erosion um 10 Minuten und eine Reduzierung von 44-50 % bei einer Niederschlagssimulation auf einem mit Zeolithen (und Lignin-Polymeren) veränderten Boden. XIUBIN und ZHANBIN (2001) zeigten in ihrem Versuch eine erhöhte Infiltration von 7-30 % und eine Verminderung der Erosion von 85 % auf leichten Hängen bzw. von 50 und 50 % auf steilen Hängen.

Die Anwendungsreife von Zeolithen in diesem Sektor scheint jedoch noch nicht gegeben zu sein: es gibt sehr wenige Versuche zu diesem Thema, so dass eine Richtlinie für Mengenverwendungen gemäß unterschiedlicher Böden noch nicht greifbar scheint (PAMMER 2011, unveröffentlicht).

Die Anwendung von Biokohle wurde bereits kommentiert (2.2.3).

### **2.3.2 - II. EFFIZIENTERE VERWENDUNG VON HOLZ ALS MELIORIERENDEN STOFF?**

Eine Evaluation inwieweit die hier vorgestellten Holzverwendungen eine effizientere Melioration bewirken als die Verrottung von Hackschnitzeln auf dem Feld würde den Rahmen sprengen. Die Sinnhaftigkeit einer Ausbringung von Holz (unbehandelt) ist aber zwangsläufig auch daran zu messen, welche Verbesserung dieses im Sinne der Anwendung noch erfahren könnte. Es soll daher eine Übersicht an Alternativen gegeben werden.

Ein großer Punkt in der gesamtwirtschaftlichen Betrachtung einer Einheit Holz ist die Kombination einer energetischen Nutzung (Wärme, Strom) mit der stofflichen Nutzung (Bodenmelioration, Baustoff..). Die folgenden zwei Punkte greifen diesen Aspekt auf:

1. Biokohle: Das meliorative Potential der Biokohle (verkohltes organisches Material) ist Gegenstand aktueller Forschung: eine Synthese des derzeitigen Wissensstandes

soll hier nicht versucht werden; eine meliorative Wirkung in manchen Belangen scheint jedoch gesichert zu sein (USBI und CEES, 2010; EUR 24099, 2010). Das meliorative Potential der Biokohlen ist jedoch unterschiedlich (MCLAUGHLIN, 2010).

2. Asche: Der „biologische Gesamteffekt“ wird verringert (vgl. 2.2.2): die Asche hat keinen strukturfördernden stofflichen Verband. Ihr Wert kann in einem Düngeeffekt bestehen, aber auch dieser ist sehr gering.

Die Erhöhung des biologischen (stofflichen) Effekts von Holz wurde mit drei Ansätzen erprobt:

3. Die gezielte Verrottung von Holz mit Braunfäulepilzen wurde aufgrund der wünschenswerten Eigenschaften des umgewandelten Produktes erforscht, aber mit Bedenken zusammengefasst. Das Umlegen der gezielten Verrottung auf große Mengen Holz, Holzschnitzel, Pulpe, Bagasse oder Stroh führt zu Problemen in der Kontrolle der Temperatur, Belüftung und Feuchtigkeit. Außerdem ist die Verrottung auch mit der gezielten Verrottung immer noch langsam und führt zu Problemen mit unerwünschten Mikroorganismen (ERIKSSON et al., 1990).
4. Die Kompostierung von Schnittholz wird in KROMER et al. (1982) intensiv behandelt, scheint aber höchstens für die Nutzung des Substrates als Verkaufsartikel an den gärtnerischen Bedarf deckende Erden- und Mulchindustrie interessant zu sein. Der Zwischenschritt der arbeitsaufwändigen Kompostierung ist für das Ziel der HS-Ausbringung sowieso nicht als sinnvoll zu betrachten.
5. Die Vermischung von Stallmist mit Hackschnitzeln aus praktischen Gründen (siehe 2.3.1).

Von den fünf Möglichkeiten, Holz in einer anderen als der unbehandelten Form der HS auf den Boden aufzubringen, bleiben bei einem Ziel der Strukturverbesserung des Bodens lediglich zwei Möglichkeiten konkurrenzfähig. Die eine ist die Nutzung als Biokohle: diese ist, mit Blick auf die Begrenztheit der Ressource Holz, aufgrund ihres zweifachen Nutzens (energetischer Nutzen und meliorativer Nutzen) der HS-Ausbringung schon bei äquivalentem Meliorationseffekt überlegen. Die zweite konkurrenzfähige Möglichkeit bedeutet potentiell sogar dreifachen Nutzen: als vorteilhafte Einstreu (Viehsauberkeit, Geruchsminderung u. mehr), Nährstoff-Retainer während der Kompostierung und schlussendlich als meliorierendes Element in der Ausbringung auf Felder.



## 3. MATERIAL UND METHODEN

### 3.1 STANDORTE

#### Großraum

Klima, Boden, Lage

Das Gebiet Tulln, in dem sich alle Versuchsstandorte befinden, liegt in einem thermisch heterogenen Gebiet mitten im Großgebiet des Übergangs von ozeanisch bzw. kontinental beeinflusstem West- zu Ost-Europa. Die Niederungen (170 m) liegen thermisch günstig mit (gerade noch) ausreichendem Niederschlag, die höchstgelegenen Gebiete (400-495 m) sind deutlich niederschlagsreicher und, vor allem in den Morgen- und Abendstunden, kälter. Das Jahresmittel sinkt mit steigender Höhe von über 9°C in der Donauniederung auf bis zu 8°C ab, während die Niederschlagsjahressumme von 620 mm auf fast 800 mm zunimmt.

Pflanzengeographisch-klimatologisch liegt die Ebene des Tullner Feldes im Pannonikum, während das Hügelland dem Unteren Baltikum zugerechnet wird. Die unterschiedliche Seehöhe bedingt zB. Abweichungen in der Länge der frostfreien Zeit um eine Woche zwischen den Seehöhen von 200 m und 300 m. Auch der Zeitpunkt für das Erreichen einer mittleren Tagestemperatur von +10°C verzögert sich: sie wird auf 200 m Seehöhe am 20. April, in 300 m Seehöhe erst am 25. April überschritten. Unterschritten wird sie wieder am 11. Oktober, respektive am 8. Oktober – diese Periode beträgt somit 174 bzw. 166 Tage (BMLF, 1976).

Der Höhenunterschied zwischen den Standorten Tulln und Atzelsdorf beträgt allerdings weniger als 100 Meter (60 m). Mit einer Seehöhe Tullns von 180 m, und einer Seehöhe Atzelsdorfs von 240 m befinden sich beide Standorte im Pannonikum. Zur Charakterisierung der Versuchsstandorte dienen die Messwerte der Station Tulln/Langenlebar von der ZAMG.

Die Entfernung der Versuchsstandorte zum Standort der Messstation ist in *Abbildung 6* ersichtlich. Die rechte Markierung der *Abbildung 6* kennzeichnet Langenlebar, die Kreuze markieren die Standorte Tulln (Mitte) und Atzelsdorf (links).

Das Tullner Feld ist prinzipiell eine Schotterflur, die sich durch eine Geländestufe von dem Aubereich entlang der Donau abhebt, mit geringen Höhenunterschieden. Abgedeckt ist diese durch tonige, lehmige und sandige Sedimentschichten. Der Grundwasserspiegel ist relativ hoch, beeinflusst den größten Teil der Böden aber nicht.

Beim Übergang zum Hügel- und Berggebiet entsteht durch Hangdruckwasser stellenweise Vernässungsgebiet; das flachwellige Hügelgebiet selbst gehört zur Molassezone und ist vorwiegend geprägt von Mergel und Sand, in geringeren Mengen von Tonen, Schotter, Konglomeraten, teilweise überdeckendem Löß und folgender Erosion.



**ABILDUNG 6: ÜBERBLICKSKARTE - STANDORTE DER VERSUCHSANLAGEN UND DER WETTERSTATION**  
 (QUELLE: GOOGLE-MAPS, FREI BEARBEITET)

Geographisch begrenzt wird das Gebiet, in dem alle fünf Versuchs-Standorte liegen, von Klosterneuburg und Purkersdorf im Osten bzw. Südosten, im Norden von Stockerau und Kirchberg, im Westen von Herzogenburg, und von Neulengbach im Süden. Der Großteil des Gebietes befindet sich südlich der Donau, 20-35 km nordwestlich von Wien.

(vgl. „Erläuterungen zur Bodenkarte 1:25000 - Kartierungsbereich Tulln Niederösterreich“ - KB 28, 1976, S.45-53).

### 3.1.1 BODEN

Zur Bodenbeschreibung wurde die Charakterisierungen der amtlichen, österreichischen Bodenkartierung (BMLF, 1976) herangezogen; diese wurden anhand von Bohrstichen im Herbst 2011 überprüft. Die geographische Position der Versuchsstandorte ist in der *Abbildung 6* verzeichnet. Der Status der Nährstoffergebnisse erfolgte auf Basis der Nährstoffuntersuchungen EUF (VdLUFA, 1997; VdLUFA, 2002a; VdLUFA, 2002b).

#### STANDORT TULLN

Der Standort Tulln (TULLN) befindet sich in der Ebene des Tullner Feldes (180m Seehöhe), und ist als **Tschernosem aus feinem Schwemmmaterial über Schotter und Kies** ausgewiesen.

Der A-Horizont ist als mittel bis schwer eingestuft und liegt auf einem leichteren, 20 cm mächtigen Horizont aus lehmigem Sand mit geringem Anteil an Schotter und Kies. Der mineralische Untergrund besteht aus grobem Lockermaterial: Schotter und Kies.

Die Mächtigkeit des A-Horizontes wird in den Bodenkartierungsauszügen als >70 cm angegeben.

Wasserverhältnisse	mäßig trocken, mit mäßiger Speicherkraft und mäßiger Durchlässigkeit
Krumentiefe	mittelkrumig (>20 cm, <40 cm)
Bodenart und Grobanteil	A <sub>1p</sub> + A <sub>2</sub> : sandiger Lehm, manchmal auch Lehm C: lehmiger Sand meist mit geringem Anteil an Schotter und Kies D: vorherrschend Schotter und Kies
Humusverhältnisse	mittelhumos, Mull
Kalkgehalt	mäßig kalkhaltig bis stark kalkhaltig
Bodenreaktion	neutral bis alkalisch
Erosionsgefahr	mäßig windgefährdet
Bearbeitbarkeit	gut zu bearbeiten
Natürlicher Bodenwert	hochwertiges Ackerland

#### Nährstoffgehalte nach EUF, Herbst 2008

*Tabelle 13* zeigt die Gehaltswerte von Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium und Bor; die Werte wurden früheren, unterschiedlichen Früchten entsprechend getrennt. Die angeführten Werte bewegen sich in einem Rahmen, welcher eine gemeinsame Versuchsauswertung der Teilflächen ermöglicht.

**TABELLE 13: NÄHRSTOFFGEHALTE AM STANDORT TULLN IM HERBST 2008 NACH EUF, IN MG/100 G BODEN; TRENNUNG NACH FLÄCHENNUTZUNG IM VORJAHR (B: BRACHE,ZR: ZUCKERRÜBE).**

Parzelle	1		2		3		4		5		6		7		Mittelwert	
	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B
Vorfrucht- beeinflussung	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B	ZR	B
NO <sub>3</sub>	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,1	0,9	1,2	0,8	1,0	1,3	1,4	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>
N <sub>org</sub>	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,5	1,4	1,5	1,2	1,4	1,0	1,1	1,1	1,3	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>
P <sub>I+II</sub>	6,2	4,3	6,5	3,7	6,3	4,7	6,5	4,1	7,9	4,5	5,8	4,1	7,7	4,1	<b>6,7</b>	<b>4,2</b>
P (P <sub>II</sub> /P <sub>I</sub> )	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>
K <sub>I+II</sub>	24	28	18	29	24	31	18	35	26	35	24	41	25	51	<b>23,2</b>	<b>36,2</b>
K (K <sub>II</sub> /K <sub>I</sub> )	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>
Ca <sub>II</sub>	44	63	36	62	40	61	30	63	48	59	33	55	48	58	<b>40,1</b>	<b>60,3</b>
Mg	4,12	2,3	3,2	2,5	3,1	2,6	3,0	2,6	4,0	2,0	3,9	2,5	3,6	2,4	<b>3,6</b>	<b>2,4</b>
Bor	0,6	1,2	0,5	0,9	1,1	0,8	1,3	0,8	0,7	0,8	0,5	0,4	0,9	0,5	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>

Legende: Hervorhebung der Werte, welche eine Beeinflussung der vorhergehenden Bewirtschaftung nahelegen.

Die Einstufung (BMLFUW 2011), die sich aus den in angegebenen Werten ergibt, wird davon nur teilweise betroffen:

- Der Gehalt an **organischem Stickstoff** bewegt sich an der unteren Grenze (90 % der Flächen weisen einen Wert zwischen 1,3 und 2,8 mg/100 g Boden auf)
- Die Werte des Ca<sub>II</sub>-Gehaltes trennen die Flächen in zwei Bereiche: die Zuckerrübe führte zu einem neutralen **Bodenreaktions-Zustand** (pH 6,6-7,2), die Brache zu einem Bodenreaktions-Zustand der knapp über und unter der Grenze zum Alkalischen liegt (pH 7,3-8,0).
- Der **Phosphor**-Gehalt fällt in die Klassen D (Zuckerrüben-Teil) bzw. C (Brache):
- Alle Parzellen (2 Ausnahmen) befinden sich mit ihrem **Kalium**-Gehalt in der Klasse D.
- Die gesamte Fläche ist mit **Magnesium** hoch versorgt.
- Die **Bor**versorgung stellt sich als stark schwankend dar.

#### STANDORT ATZELSDORF

Der Standort Atzelsdorf (ATZ) befindet sich auf den dem Wiener Wald zugewandten Hängen des Mitterberges, auf ca. 240 m Seehöhe, und erstreckt sich über einen Hang in eine Senke. Der Boden ist als **kalkhaltige Lockersediment-Braunerde aus Löss** ausgewiesen.

Der A-Horizont (>70 cm) ist in seiner Schwere als leicht bis mittel eingestuft; die Überprüfung erfolgte am Bohrstich.

Wasserverhältnisse	mäßig trocken, mit mäßiger Speicherkraft und mäßiger Durchlässigkeit
Krumentiefe	mittelkrumig (>20 cm, <40 cm)
Bodenart und Grobanteil	Ap + Bv + C: lehmiger Schluff oder sandiger Schluff; vereinzelt auch schluffiger Lehm
Humusverhältnisse	mittelhumos, Mull
Kalkgehalt	mäßig kalkhaltig bis stark kalkhaltig
Bodenreaktion	neutral bis alkalisch
Erosionsgefahr	in steiler Hanglage stark abschwemmungsgefährdet
Bearbeitbarkeit	sehr gut zu bearbeiten
Natürlicher Bodenwert	hochwertiges Ackerland

### Nährstoffgehalte nach EUF, Herbst 2009

Kritische Versorgungsbereiche, deren möglicher Einfluss auf die späteren Kulturen berücksichtigt werden müssten, finden sich v.a. auf der Parzelle 1: die niedrige Versorgung mit P und K erklärt sich aus der Nähe der Parzelle zum Vorgewende.

**TABELLE 14: NÄHRSTOFFGEGHALTE AM STANDORT ATZ IM HERBST 2009 NACH EUF, IN MG/100 G BODEN.**

Parzelle	1	2	3	4	5	6	7
NO <sub>3</sub>	0,56	0,79	0,77	0,73	0,8	0,98	0,8
N <sub>org</sub>	1,43	1,53	1,33	1,36	1,53	1,65	1,67
P <sub>ges</sub>	1,71	4,49	3,63	3,14	2,86	2,47	3,88
P (PII/PI)	0,8	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2
<b>K<sub>ges</sub></b>	11,39	17,07	19,35	21,96	21,85	21,89	26,32
K (K <sub>II</sub> /K <sub>I</sub> )	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6
<b>Ca II</b>	80,0	70,4	62,7	41,9	31,7	24,2	50,5
Mg	2,17	1,6	1,97	2,66	2,44	1,98	2,01
Bor	0,53	0,52	0,63	0,47	0,42	0,54	0,75

Legende: Hervorhebung der Nährstoffbereiche die eine starke Schwankungsbreite zwischen den Parzellen vorweisen.

Die Gehaltswerte nach EUF ergeben folgende Klassifizierungen (BMLFUW, 2011):

- Der Gehalt an **organischem Stickstoff** bewegt sich an der unteren Grenze (90 % der Flächen weisen einen Wert zwischen 1,3 und 2,8 mg/100 g Boden auf).
- Die Werte des CaII-Gehaltes zeigen einen mit hangabwärts leicht abnehmenden **pH-Wert**.
- Der **Phosphor**-Gehalt fällt in die Klasse C. Ausnahme ist Parzelle 1 mit einer eindeutigen Angehörigkeit zur Klasse B (niedrige Versorgung).
- Der **Kalium**gehalt verändert sich mit dem Hangverlauf von sehr niedrig/niedrig (Parzelle 1), über ausreichend (Parzellen 2 und 3) hin zur Klasse D.
- Die gesamte Fläche ist mit **Magnesium** hoch versorgt.
- Die **Bor**versorgung ist niedrig.

#### BODENFARBE, VERGLEICH: TULLN UND ATZELSDORF

TULLN	ATZ
dunkler Boden	heller, lössiger Boden
A-Horizont: sandiger Lehm – Lehm	lehmiger Schluff – sandiger Schluff
mittelhumos, Mull	mittelhumos, Mull



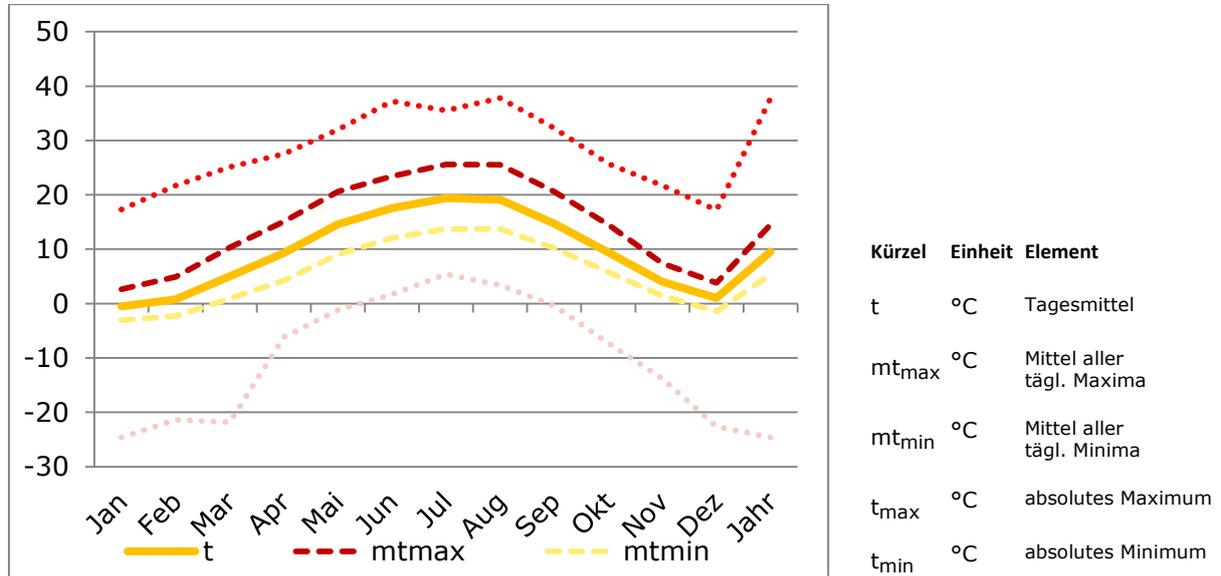
### 3.1.2 WITTERUNG

Die angeführten Witterungsdaten wurden dem allgemein zugänglichen Datenpool der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), einer nachgeordneten Dienststelle des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (BM.W\_F) entnommen.

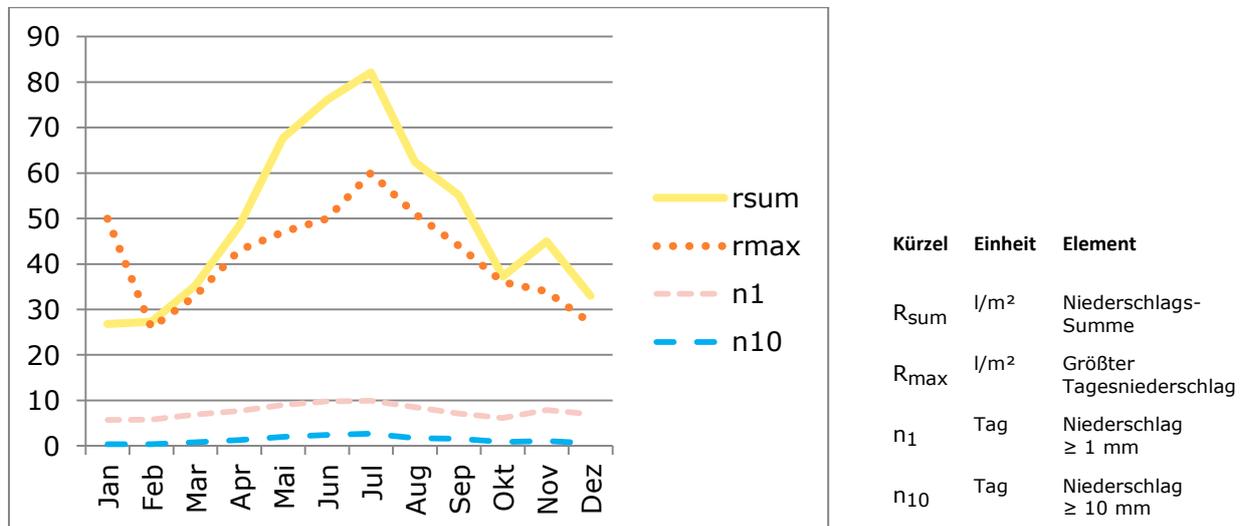
Die Daten sind der Wetterstation Tulln/Langelebarn zuzuordnen.

## JAHRESMITTEL

Als Jahresmittel werden die Jahresmittelwerte von 1971-2000 (Klimanormalwerte) verwendet.



**ABBILDUNG 7: LUFTTEMPERATUR IN °C - LANGENLEBARN, MITTEL VON 1971-2000.** (QUELLE: ZAMG 1)



**ABBILDUNG 8: NIEDERSCHLAG IN MM - LANGENLEBARN, MITTEL VON 1971-2000.** (QUELLE: ZAMG 1)

Die Niederschlagsmenge der beiden Versuchsjahre 2010 und 2011, absolut (RR) und im Vergleich zum langjährigen Mittel (RR %), sowie das Stärkst-Regen-Ereignis (RR max) sind für die Einbettung der Versuchsergebnisse wesentlich.

**TABELLE 15: WITTERUNGSVERHÄLTNISSE 2009 – 2011, TULLN/LANGENLEBARN.** (QUELLE: ZAMG 2)

Jahr	T m	D	A max	Datum	A min	Datum	RR	RR %	RR max	Datum	
<b>2009</b>	10,7	1,2	33,4	23.07.	-13,7	21.12	<b>909</b>	<b>161</b>	<b>88</b>	22.06.	
<b>2010</b>	9,5	0	34,6	14.07.	-19,9	27.01.	<b>856</b>	<b>152</b>	<b>61</b>	25.09.	
<b>2011</b>	10,5	1,0	36,2	26.08.	-13,1	24.02.	<b>567</b>	<b>101</b>	<b>38</b>	08.06.	
<i>Legende</i>					A min	Absolutes Minimum der Lufttemperatur in °C					
T m	Monatsmittel der Lufttemperatur in °C				RR	Niederschlagshöhe in mm					
D	Abweichung vom Normalwert 1971-2000 in °C				RR %	Niederschlagshöhe in % der Normalmenge 1971-2000					
A max	Absolutes Maximum der Lufttemperatur in °C				RR max	Maximaler Tagesniederschlag in mm					

### MONATSMITTEL

Die Niederschlagscharakteristik der Versuchsstandorte wird exemplarisch anhand der Monatsmittel des Jahres 2011 gezeigt. Die Angabe des Niederschlags 2011 in % der Normalmenge 1971-2000 (**RR %**) setzt den Bezug zum typischen Jahresverlauf.

Farblich hervorgehoben werden die Tages-Niederschlagsereignisse höchster Menge, denn diese sind bezüglich Wassererosion und Infiltrationseigenschaften bedeutend.

**TABELLE 16: NIEDERSCHLAGSWERTE IM MONATSMITTEL, TULLN/LANGENLEBARN, JAHR 2011.** (QUELLE: ZAMG 2)

Monat	Niederschlag (RR)	Niederschlag in % (RR %)	Maximaler Tages-Niederschlag (RR max)	Datum
<b>JAN</b>	26	97	8	13.
<b>FEB</b>	4	15	4	11.
<b>MÄRZ</b>	39	110	23	18.
<b>APR</b>	18	39	4	12.
<b>MAI</b>	51	83	26	27.
<b>JUN</b>	138	201	<b>38</b>	8.
<b>JUL</b>	100	128	24	20.
<b>AUG</b>	43	71	20	15.
<b>SEPT</b>	59	114	<b>35</b>	19.
<b>OKT</b>	75	219	<b>31</b>	12.
<b>NOV</b>	0	0	0	-
<b>DEZ</b>	14	42	3	6.
<i>Legende</i>		RR %	Niederschlagshöhe in % der Normalmenge 1971-2000	
RR	Niederschlagshöhe in mm		RR max	Maximaler Tagesniederschlag in mm

## 3.2 METHODEN

Die vorliegende Arbeit beinhaltet Daten von zwei Langparzellenversuchsanlagen (Tulln und Atzelsdorf). Die Lage der Standorte ist in der *Abbildung 6* (Seite 60) verzeichnet.

Auf den Langparzellenversuchsanlagen wurden Schritte vermieden, die rein der Einarbeitung der Hackschnitzel gegolten hätten. Die Hackschnitzel sind somit lediglich der von der Kultur geforderten Bearbeitung (v.i.) unterlegen.

### 3.2.1 VERSUCHANLAGE

Die Versuche in Tulln (TULLN) und in Atzelsdorf (ATZ) weisen den gleichen Aufbau auf:

- Ein Feld wurde in sieben Langparzellen zu je 15 m Breite unterteilt. Die Länge der Langparzellen betrug 60 m (TULLN) bzw. 44 m (ATZ). Dieser Grundraster entspricht in seiner Verwendung der Langparzellen-Methode von LOCHOW UND SCHUSTER (1961): die beaufschlagten Versuchspartellen sind beidseitig von Standard-Parzellen flankiert. Auf diese Art und Weise kann ein Basis-Gradient zur Entwicklung eines Soll-Wertes für die dazwischenliegenden Versuchspartellen entwickelt werden.
- Die Streifen 1, 3, 5 und 7 sind Standardpartellen; die Streifen der Nummern 2, 4 und 6 sind die mit Hackschnitzeln beaufschlagten Versuchspartellen.
- Im Herbst 2010 wurden die Langparzellen in der Länge geteilt und somit zu zwei Partellen mit einer Länge von 30 m (TULLN) bzw. 22 m (ATZ). Die Aufteilung der Standardpartellen wurde beibehalten. Die Streifen mit Beaufschlagung werden nach ihrer Teilung als Partellen mit einfacher Ausbringung („**NG**“ – „nicht gedoppelt“) und zweifacher Ausbringung („**AG**“ – „aufgedoppelt“) unterschieden.

Eine visuelle Darstellung findet sich nachfolgend als Versuchsplan (*Abbildung 9* und *Abbildung 10*).

Der HS-Versuch ist einfaktoriell.

### 3.2.2 VARIANTEN

Die Erstaufbringung im Herbst der Jahre 2008 (TULLN) und 2009 (ATZ) unterschied die beaufschlagten Varianten mit einer Menge von 15, 30 und 90 Tonnen pro Hektar.

Auf einer der durch die Teilung der Langparzellen entstandenen Partellen wurde die jeweilige Menge der Erstaufbringung noch einmal aufgebracht, so dass die Beaufschlagung auf 30, 60 und 180 Tonnen pro Hektar erhöht wurde.

Der Standort TULLN weist eine Besonderheit auf: das Versuchsfeld wurde bis zwei Jahre vor dem HS-Versuch unterschiedlich bewirtschaftet. Während ein Teil in einer Fruchtfolge stand, wurde ein zweiter Teil als Brache geführt. Diese unterschiedliche Vergangenheit entspricht in ihrer Fläche der Teilung im Herbst 2010. In einigen Analysen, wie zB. den Nährstoffanalysen, wurde dieser unterschiedlichen

Vergangenheit Rechnung getragen, indem die Fläche schon vor der Teilung der Langparzelle zweigeteilt beprobt wurde.

### 3.2.3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Beaufschlagt wurden die Versuchsparzellen ausschließlich mit organischem Material in Form von Hackschnitzeln. Verwendet wurde dabei gemischtes Hackgut verschiedener Holzarten. Eine Analyse des Gerbstoffgehalt war nach längerer Lagerung des Hackgutes nicht zielführend. Bezüglich der Bedeutung der unbekanntenen Zusammensetzung des verwendeten Materials wird auf das Kapitel 2.2.5 - I (Wahl des Holzes) verwiesen.

Angebaut wurden Zuckerrübe im Jahr 2009, Triticale (TULLN) bzw. Winterweizen (ATZ) im Jahr 2010, und Mais im Versuchsjahr 2011.

Die Bodenbearbeitung im Versuchszeitraum ist in *Tabelle 17* ersichtlich.

**TABELLE 17: BODENBEARBEITUNG DER LANGPARZELLENVERSUCHSANLAGEN TULLN UND ATZ IM VORVERSUCHSJAHR UND DEN VERSUCHSJAHREN 2008-2011.**

2008 Herbst	Grubber, Pflug HS-Ausbringung (Rototiller)
2009 Frühjahr Herbst	Kultivator Grubber, Pflug Saat
2010	Grubber, Pflug HS-Ausbringung (Kreiselegge)
2011	Kultivator

# Standort TULLN

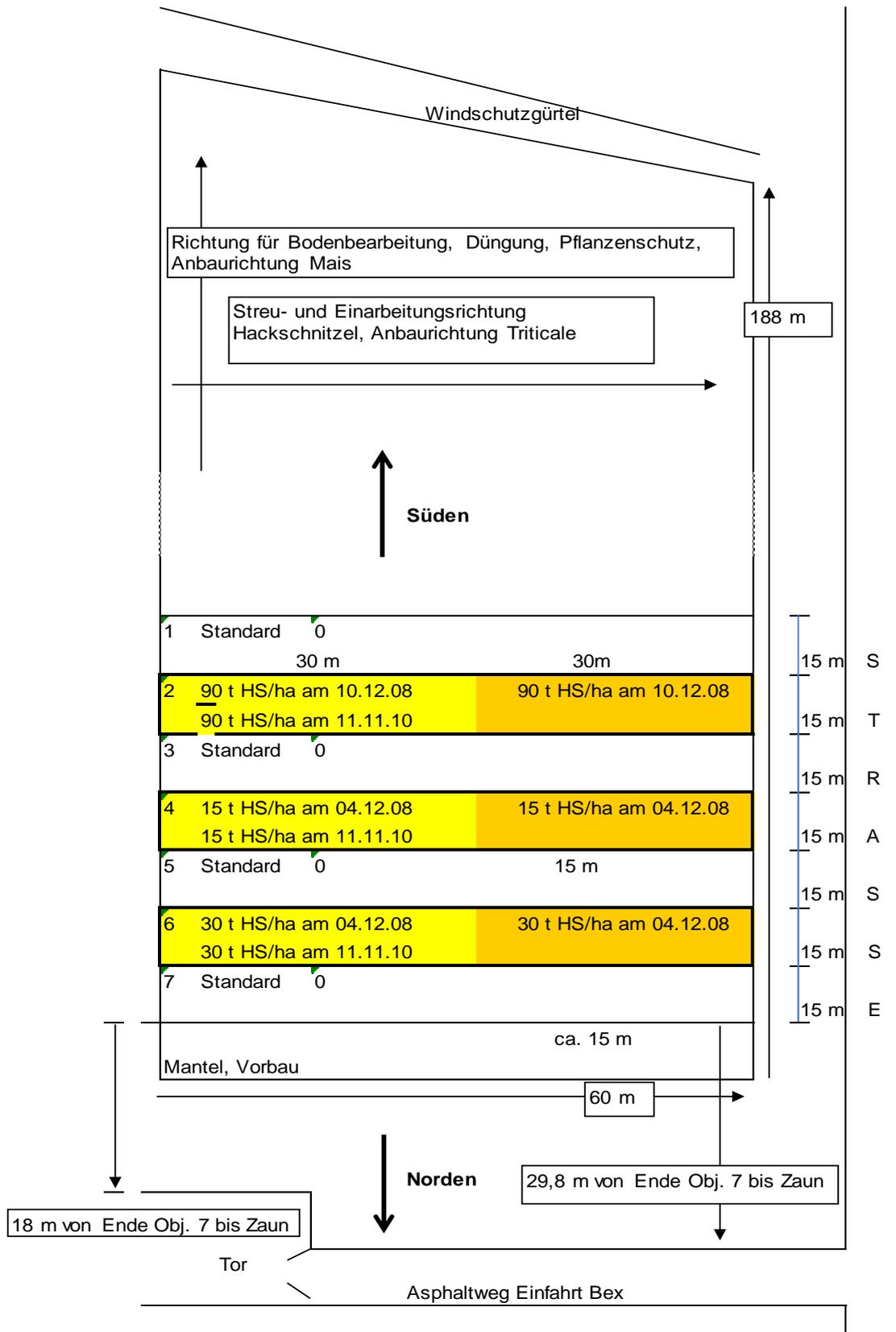
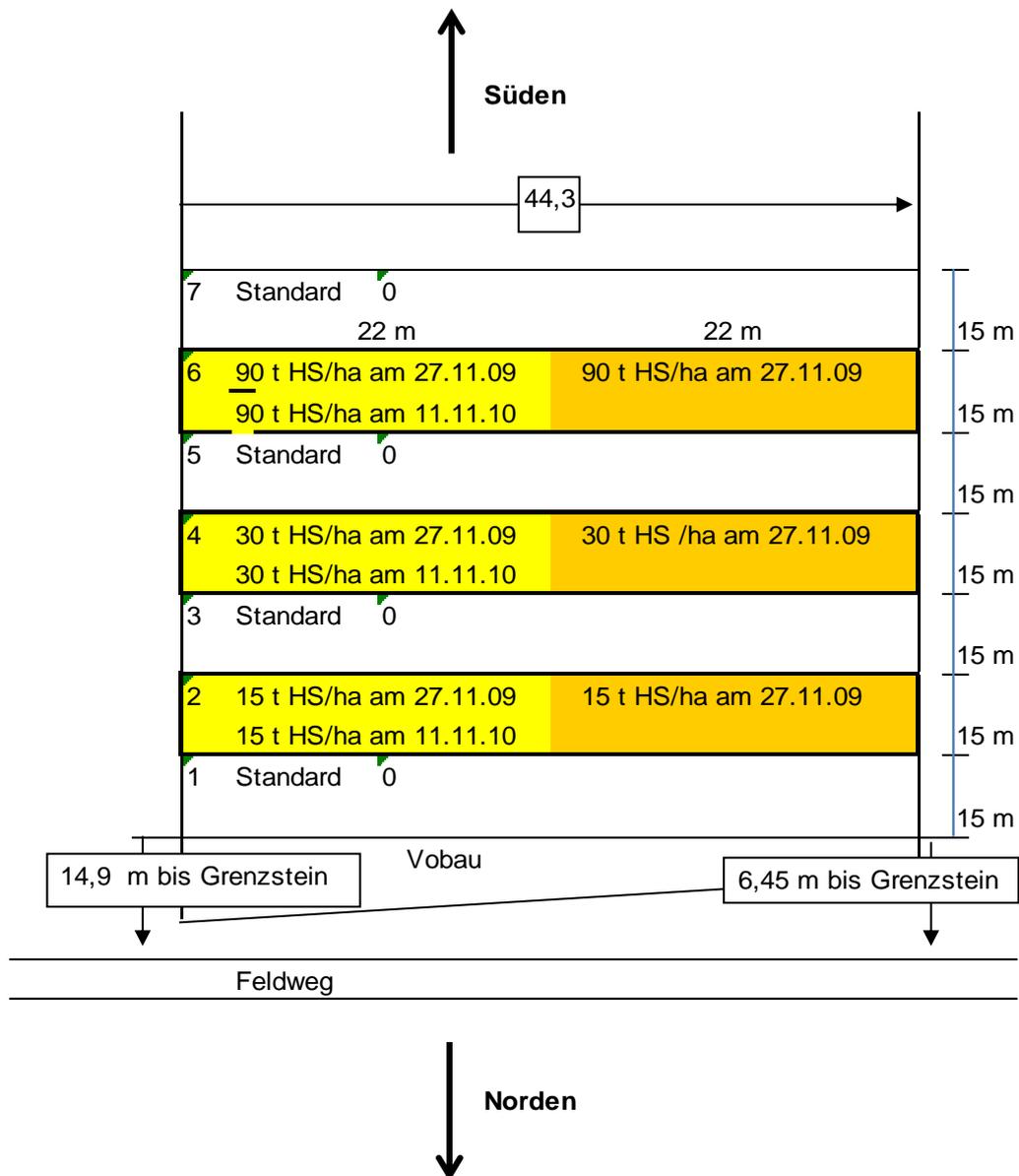


ABBILDUNG 9: VERSUCHSPLAN DER LANGPARZELLENVERSUCHSANLAGE TULLN

# Standort ATZELSDORF



**ABBILDUNG 10: VERSUCHSPLAN DER LANGPARZELLENVERSUCHSANLAGE ATZELSDORF.**

### 3.2.4 DATENERHEBUNG UND MATHEMATISCH STATISTISCHE AUSWERTUNG

#### STATISTIK

- Die Datenreihen die zu jeder der vier Standard-Parzellen Daten enthalten wurden entsprechend der von LOCHOW und SCHUSTER (1979) für Langparzellenversuchsanlagen vorgeschlagenen Methode ausgewertet. Daten, die nur eine Standard-Parzelle beinhalten wurden mit SAS 9.1 bearbeitet. Bei einem Vorhandensein von lediglich einem Datenblock (1 Wiederholung) wurde eine deskriptive Auswertung gewählt.
- Die Auswertungsmethodik, die LOCHOW und SCHUSTER (1979) vorschlugen, beruht auf dem Ausgleich des Bodeneinflusses durch die Bildung von Differenzwerten zu den Soll-Werten, die sich durch die flankierenden Standard-Langparzellen für die Varianten errechnen lassen (Definition „Soll-Werte“: „Wahrscheinlicher Standard-Ertrag für Variante [x]“, S.134). Durch diesen Bodenausgleich erübrigt sich eine Errechnung der Block-Streuung, und die korrigierten Erträge können mit einer Varianzanalyse ausgewertet werden.

Der korrigierte Ertrag einer Variante wird durch die Addition des mittleren Ertrags aller Standards mit dem Mittel der Differenzen (der Teilstücke/Wiederholungen) der Variante errechnet.

Der Gradientenansatz der Langparzellen-Versuchsarchitektur fließt noch an einer anderen Stelle ein: die Differenz-Werte werden genutzt, um mit einer Varianzanalyse das Streuungsquadrat und den mittleren Fehler der Differenz zu erhalten. Dieser mittlere Fehler der Differenzen dient, mit Hilfe des t-Wertes bei den entsprechenden Freiheitsgraden, zur Ermittlung der Grenzdifferenzen.

Der mittlere Fehler der Differenzen ist dabei für einen Vergleich zwischen den Varianten ungültig; die statistische Aussage wird auf Basis des mittleren Standard-Ertrages getroffen.

- Im SAS 9.1 wurde teils mit einer ANOVA und nachgelagertem Tukey-Test gearbeitet, teils mit einem Gemischten Modell (Bodentemperatur).
- Zur Größe der Langparzellen (Streifenparzellen) ist anzumerken, dass sie sich wesentlich von der für die Einzelparzellen eines „echten“ Parzellenversuchs empfohlenen Größe unterscheiden. Für diese wird bei Bodenbearbeitungs- oder -bewässerungsversuchen eine Einzelparzellengröße von 50 – 100 m<sup>2</sup> (je nach Prüffaktor und Versuchskultur) angestrebt (THOMAS, 2006). Diese Größe erreicht, in der Theorie, eine ausgleichende Variabilität von Einzelpflanzen, versichert aber gleichzeitig einen hohen Grad an Homogenität im Pflanzenbestand (THÖLE, 2010). Die wesentlich größeren Streifenversuche erreichen diese Homogenität nicht: dies kann als Nachteil, aber durch die Nähe zu realen Ackerböden auch als Vorteil angesehen werden. Durch die höhere Flächenheterogenität bedingt steigt damit zwar die

Wahrscheinlichkeit auf einen höherwertigeren „Versuchsfehler“, aber dies entspricht – v.s. – den Bedingungen eines wirtschaftlich genutzten Ackerbodens in höherem Maß.

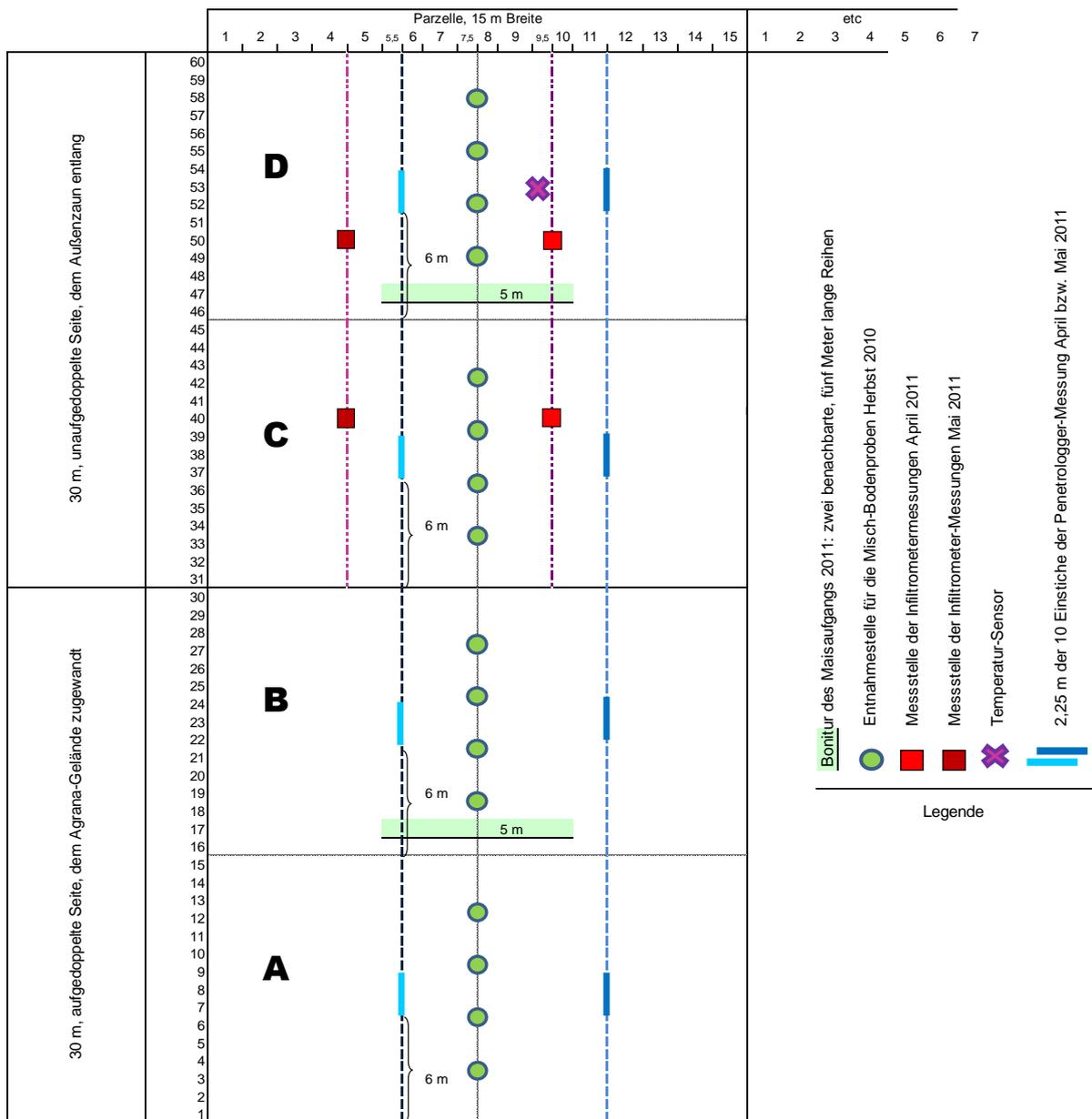
Dem höheren „Versuchsfehler“ kann außerdem sowohl mit der Einschränkung der Prüfglieder eines Prüffaktors, als auch mit der Einschränkung der Anzahl an Faktoren entgegenkommen werden. In beiden Fällen weist der HS-Versuch (einfaktoriell, mit 3-6 Prüfgliedern) beste Anpassung vor.

- Für die Darstellung der Feuchtegehalte von bodenchemischen und bodenphysikalischen Parametern (Bodenfeuchte, Feuchte des organischen Materials) wurde durchgehend der gravimetrische Wassergehalt verwendet ( $\omega = \frac{m_{\omega}}{m_d} * 100 \%$ ). Für die Darstellung des Feuchtegehalts pflanzlicher Stoffe wurde der Massenanteil gewählt ( $\omega = \frac{m_{\omega}}{m_d + m_{\omega}} * 100 \%$ ).

#### ÜBERSICHTSPLAN ZUR PROBENAHME SOWIE ZUR VERTEILUNG DER MESS-STELLEN

Die *Abbildung 11* zeigt anhand einer Parzelle exemplarisch die Verteilung der Mess-Stellen, wiewohl nicht jede Parzelle im vollen Umfang beprobt wurde; die Temperatursensoren zB. wurden nur auf drei Parzellen verwendet.

Die exemplarische Parzelle ist mit 60 Metern dargestellt, wie sie die Parzellen des Standortes Tulln vorweisen. Die Parzellen des Atzelsdorfer Feldes weisen nur eine Länge von 44 m auf, die Relationen der Messungen zueinander sind jedoch übertragbar.



**ABBILDUNG 11: ÜBERSICHTSPLAN ZUR PROBENAHME SOWIE ZUR VERTEILUNG DER MESSSTELLEN AUF DEN LANGPARZELLEN-VERSUCHSANLAGEN TULLN UND ATZ**

Die Wiederholungen einer Messung wurden entlang einer zu den Parzellengrenzen parallelen Linie durchgeführt. Für die Arbeit mit einem Parzellenmähdrescher wurden die Streifen in Ernteparzellen unterteilt (siehe *Abbildung 11*; „A“-„D“). Diese Art der Wiederholungen werden als unechte Wiederholungen bzw. als Pseudo-Wiederholungen (HURLBERT, 1984; JOHNSON, 2006) bezeichnet, können aber als einzelne Versuchseinheiten behandelt werden da sie die räumlich bedingte Variabilität abdecken.

### 3.3 KENNWERTE DES BODENS

Es wurde die Verrottung der aufgebrachten organischen Substanz beurteilt (Anteil der groben und mittelgroben organischen Substanz, sowie der Humusgehalt). Die Ergebnisse dieser Erhebungen lassen darauf zurückschließen, inwieweit Bodenveränderungen schon zu erwarten oder noch zu erwarten sind.

Des Weiteren wurden Kennwerte erhoben, die durch ihre kausale Basis – Strukturänderungen im Boden – Aufschluss über die Wirkung der Hackschnitzelausbringung nach zwei bzw. drei Jahren geben (Bodenfeuchte, Bodentemperatur, Eindringwiderstand, Infiltration).

Zusätzlich wurde die Veränderung ausgewählter Pflanzennährstoffe im Boden mittels EUF-Analyseverfahren erhoben.

#### 3.3.1 VERROTTUNG ORGANISCHER SUBSTANZ

Der organische Bestandteil der im Herbst 2010 vor der Aufdoppelung (TULLN: September, ATZ: November) entnommenen Bodenproben wurde auf drei Fraktionen untersucht.

Entnommen wurden die Proben nach Parzellen getrennt. Beprobt wurden die mit HS beaufschlagten Parzellen und je eine der Standardparzellen (Parzelle Nr. 5 auf dem Standort Tulln, Parzelle Nr. 3 auf dem Standort in Atzelsdorf).

##### **Grobes organisches Material**

Manuelle Trennung der Hackschnitzel- und Erntereste von der Bodenprobe. Erfassung durch Gewichtswägung (nach Verdunstung des Wasseranteils bei 103°C) und visuellen Eindruck.

Für diese Analyse wurde die Bodenprobe auf einem Tisch ausgebreitet und in Folge das grobe organische Material mit der Hand vom Rest des Bodens entfernt. Das entfernte grobe Material wurde im Trockenschrank mind. 4 Stunden bei 103°C auf Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend verwogen und zur optischen Auswertung getrennt in Schalen aufbewahrt.

##### **Kleineres, unverrottetes oder nur teilweise verrottetes organisches Material**

Trennung des kleineren unverrotteten, oder nur teilweise verrotteten Materials vom Boden durch die Aufschwemm-Methode. Erfassung durch Gewichtswägung (nach Verdunstung des Wasseranteils bei 103°C).

Das Ziel war eine Erweiterung der manuellen Abtrennung um den Teil der Hackschnitzel, der noch weitgehend unzersetzt ist, jedoch mit der Hand schwer fassbar ist. Die Abtrennung des entsprechenden Materials aus der restlichen Erdprobe wurde mit einem Aufschwemm-Verfahren gelöst.

Für diese Analyse wurde eine dreifache Wiederholung gewählt: es wurden jeweils 50,00 g ( $\pm 0,09$  g) in ein Behältnis gewogen und im nächsten Arbeitsschritt in ein Becherglas überführt. Mit Wasser aufgefüllt wurde die Erdprobe einmal grob durchgerührt (homogene Wasser-Erde-Mischung), und nach zehn Minuten sacht gerührt, um eventuelle Einschlüsse kleiner organischer Bestandteile im Bodensatz loszulösen. Nach 40-minütiger Absenkung wurde das an der Oberfläche schwimmende Holzmaterial durch Zugabe von Wasser über den Rand des Becherglases in das umgebende Plastikgefäß geschwemmt. Das Holz wurde aus der Holzrest-Wasser-Mischung durch die Verwendung zuvor beschrifteter, getrockneter ( $103^{\circ}\text{C}$ ) und gewogener Filter abgetrennt. Diese Filter wurden nach nochmaliger Trocknung ( $103^{\circ}\text{C}$ ) gewogen.

### **C<sub>org</sub> nach Glühverlust - in organischen Strukturen verbauter Kohlenstoff-Gehalt**

Bestimmung des Anteils der Hackschnitzel, der bereits metabolisiert wurde und als erhöhter C<sub>org</sub>-Gehalt des Bodens vorliegt.

Vorteilhaft ist, wenn das Material für die feine Bestimmungen homogen fein- und einzelkörnig vorliegt. Dieser Zustand wird in der Regel durch Siebung (<1 mm) der Bodenprobe erreicht. Durch die Siebung werden jedoch größere Teile des Bodens ausgeschlossen. Es wurde daher eine Doppelbestimmung durchgeführt: pro Parzelle wurden je eine gesiebte und eine ungesiebte Probe zur Analyse gebracht.

Eingesetzt wurde das Verfahren nach ÖNORM L1079 „Bestimmung der organischen Substanz als Glühverlust“. Im Gegensatz zum Trockenverbrennungsverfahren von ÖNORM L1080, das mit  $>1000^{\circ}\text{C}$  arbeitet, setzt dieses Verfahren auf eine Trockenverbrennungstemperatur von  $550^{\circ}\text{C}$ . Das hat den Vorteil, dass der C<sub>car</sub>-Anteil nicht verglüht und damit bei kalkhaltigen Böden ein vorhergehender Behandlungsschritt (zur Eliminierung des CaCO<sub>3</sub>) unnötig ist.

Die verwendeten Porzellanschalen wurden vor Verwendung vier Stunden im Muffel-Ofen ausgeglüht, danach gewogen und beschriftet. Zwischen den Arbeitsschritten wurden die Schalen im Exsikkator aufbewahrt. Um eine Wiederbefeuchtung auszuschließen, wurden die Schälchen so kurz wie möglich außerhalb des Exsikkators belassen.

Auf eine Vortrocknung des Bodens für die Bestimmung des Glühverlusts wurde verzichtet: die Proben wurden auf 15 g genau eingewogen, getrocknet ( $103^{\circ}\text{C}$ ) und nach neuerlicher Gewichtsmessung in den Muffelofen (Verglühung) überstellt.

### STATISTIK

Standort	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
grobes organisches Material	6	1	Varianzanalyse, SAS
mittelgrobes organisches Material	3	1	Varianzanalyse, SAS
C <sub>org</sub> nach Glühverlust	3	1	Varianzanalyse, SAS

Die Anzahl der Blöcke entspricht in diesem Fall der Anzahl der Messungen.

Die zur Bestimmung des  $C_{org}$  nach Glühverlust verwendete ÖNORM L1079 wurde einer älteren Quelle entnommen und ist aufgrund von Mängeln in ihrer quantitativen Treffsicherheit mittlerweile veraltet. Als Vergleich mit anderen Humusgehalten eignen sich die gewonnenen Werte daher nicht; für einen Vergleich untereinander sind die Werte jedoch ausreichend solid.

Um Verwechslungen zu vermeiden, wird auf eine Umrechnung des Glühverlustes in den Humusgehalt verzichtet: die statistische Verrechnung wird direkt mit dem verglühten Masseverlust (%) dargestellt.

### 3.3.2 HUMUSGEHALT

Zur Ermittlung des Humusgehaltes wurden Bodenproben der im Herbst 2010 vor der zweiten HS-Ausbringung entnommenen Erde zur Untersuchung auf organische Substanz an das Bodenlabor der Bodengesundheitsdienst-GmbH, Rain/Lech, BRD, gesandt. Zur Analyse kamen jeweils eine ungesiebte und eine gesiebte Bodenprobe.

STATISTIK

Standort	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
2009	1	4	Deskriptive Auswertung
Herbst 2010	3	1	Varianzanalyse, SAS

Die Anzahl der Blöcke entspricht in diesem Fall der Anzahl der Messungen.

### 3.3.3 BODENFEUCHTE

Die Bodenfeuchtebestimmungen erfolgten durch die Entnahme von Boden mit dem Bodenbohrer. Der Bohrstich wurde in 3 Tiefenbereiche (0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm Tiefe) getrennt.

Im Mai wurden die Langparzellenstandorte mit vier (beaufschlagte Parzellen) bzw. acht (Standard-[Lang-]Parzelle) zufällig verteilten Bohrstichen pro Parzelle beprobt.

Die Bodenfeuchte wurde als gravimetrischer Wassergehalt (über den Gewichtsverlust nach Ofentrocknung bei 103°C über mind. vier Stunden;  $\omega = \frac{m_{\omega}}{m_d} * 100 \%$ ) ermittelt.

Anmerkung: Die gravimetrische Bodenfeuchte kann innerhalb eines Standortes, aber nicht zwischen den Standorten verglichen werden.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Für einen Vergleich zwischen den Standorten wäre eine Ermittlung des Bodenfeuchtegrades (pF-Wert; BLUM, 2007), über eine Messung der Wasserspannung, nötig. Die Spannung, der das Wasser unterliegt, ist der ausschlaggebende Faktor für das Verhalten des Bodenwassers, und korreliert nicht mit dem absoluten Feuchtegehalt. Durch die weite Spanne, die Böden mit ihrer Unterschiedlichkeit aufstellen, ist ein Vergleich abseits des Bodenfeuchtegrades nicht denkbar.

## STATISTIK

Standort	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	1	4	Deskriptive Auswertung

Die Blöcke entsprechen in diesem Fall der Anzahl der Wiederholungen.

### 3.3.4 BODENTEMPERATUR

Pro Langparzellenversuchsanlage wurden drei Wärmesensoren (testo 177-T1) am 28. April in eine Tiefe von 15-20 cm eingesetzt. Besetzt wurden jeweils die mit 30 und 90 Tonnen beaufschlagten Parzellen (mit einmaliger Beaufschlagung) und eine Standard-Parzelle auf gleicher Höhe (Parzelle Nr. 5 auf dem Standort Tulln, Parzelle Nr. 3 in Atzelsdorf).

Die Wärmesensoren „testo 177-T1“ sind auf einen Messbereich von -40°C bis +70°C ausgelegt und weisen offiziell eine Speicherkapazität von 48.000 Werten auf (Datenlogger-Store 2012). Diese Kapazität wurde beim Entnahmeterrmin der Wärmesensoren berücksichtigt (TULLN: 21. Oktober 2011; ATZ: 8. September 2011). Aus technischen Gründen auswertbar sind jedoch nur die Werte ab dem 5. Juli 2011 (TULLN) bzw. 28. Mai 2011 (ATZ).

## STATISTIK

Standort	WH	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	30-109	1	Deskriptive Auswertung

Als Wiederholung wurde in diesem Fall ein Wert pro Tag herangezogen.

Die unterschiedliche Anzahl an Wiederholungen ergibt sich durch die unterschiedlichen Vergleichszeiträume: es werden 30-31 WH für die Auswertung über den Zeitraum eines Monats, und bis hin zu 109 WH für die des gesamten Zeitraums verwendet.

Aus den 72 Werten/Tag, die der Temperatursensor schreibt, wurden dabei folgende Daten verwendet:

1. Der Vergleich aller Maximaltemperaturen, und der Vergleich aller Minimaltemperaturen eines Tages, sollen die maximalen Grenzen eines unterschiedlichen Temperaturverhaltens ausloten.
2. Die Tagessumme erweitert diese Information um den quantitativen Aspekt allfälliger Unterschiede: sie verdeutlicht für welchen Zeitraum eines Tages ein Unterschied in der Temperatur besteht.

### 3.3.5 EINDRINGWIDERSTAND

Der Eindringwiderstand wurde mithilfe eines Penetrologgers von Eijkelkamp erhoben (EIJKELKAMP, 2012). Gemessen wird die Kraft, die nötig ist um den Widerstand des Bodens gegen die Penetrationskräfte, zu überwinden. Diese Penetrationskräfte werden in N/m<sup>2</sup> ausgedrückt.

Die gemessenen Werte werden als Druckkurve mit wenigen Sekunden Verzögerung auf einem Display angezeigt, das sich am Gehäusekopf befindet. Fehlerhafte Messungen wurden somit sofort wiederholt.

Der Eindringwiderstand des Bodens wurde auf folgenden Parzellen erhoben:

**TABELLE 18: ÜBERSICHT ÜBER DIE MESSUNGEN DES EINDRINGWIDERSTANDES, 2011.**

Monat	Standort	Anzahl Wiederholungen*	der pro
April	TULLN, ATZ	2 x 10 <sup>**</sup>	Parzelle
Mai	TULLN, ATZ	2 x 10 <sup>**</sup>	Parzelle

\*Die Messungen erfolgten in 10er Reihen. Innerhalb einer Reihe sind die Einstiche je 25 cm voneinander entfernt.

#### STATISTIK

Standort	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	2	4	Langparzellen-Methodik

Die Blöcke bestehen in diesem Fall aus je 10 Einstichen.

Wenn die Oberkrume so locker ist, dass das Gerät keinen Widerstand registriert, verschiebt sich die Zuordnung der Messwerte zur Bodentiefe. Ein zweiter, geräteabhängiger, Fehler - vergleichbar dem Steckenbleiben einer Taste am Computer - trat auf: der Logger hängt, und schreibt einen Wert öfter hintereinander, bis er wieder normal weiterschreibt. Fehlmessungen dieser Art wurden teilweise verworfen, teilweise korrigiert. Es wurde noch ein zusätzlicher Sicherheitsmechanismus verwendet: zur statistischen Auswertung gelangen nicht Einzelwerte/Zentimeter, sondern der Durchschnitt der entsprechenden Werte für eine Zone von drei Zentimetern. Die bemessene Tiefe von 40 cm wurde dabei in 13 Zonen (A-M) zu je 3 cm geteilt, beginnend beim ersten Wert; der vierzigste Wert wird damit ausgemustert.

### 3.3.6 INFILTRATIONSRATE

Die spezifische Infiltrationsrate wurde mit einem Tensionsinfiltrimeter in Anlehnung an die bei SCHOLL (2010) zu findende Anleitung für vier verschiedene Spannungen (-10 cm, -4 cm, -1 cm, 0 cm) an den zwei Langparzellenversuchsanlagen, gemessen. Die vier

gewählten Saugspannungen sind alle dem Saugspannungspotential von Grobporen<sup>8</sup> zuzurechnen.

**TABELLE 19: ÜBERSICHT DER MESSUNGEN DER INFILTRATIONSRATE, 2011.**

Standort	Monat	Parzellen	Wiederholungen
TULLN	April	Alle Versuchspartellen, eine Standard-Parzelle (TULLN: Nr.5, ATZ: Nr.3); -jeweils der <u>ungedoppelten</u> Seite	2 je Parzelle*
TULLN	Mai		
ATZ	April		

\*Ausnahme: von der Parzelle 2 (TULLN) der Versuchsreihe im Mai existiert nur eine Wiederholung.

Gemessen wird, wie schnell der Boden Wasser entgegen einer das Wasser zurückhaltenden Kraft anzieht; die Infiltrationsrate ist das direkte Ergebnis der Tensionsinfiltrationsmessung. Das Ergebnis der Messung ist daher zB. wertvoll in Bezug auf die Niederschlagsintensität, die ein Boden ohne Bildung von Wasserstau auf der Oberfläche verträgt, jedoch nur über Umwege in Bezug auf die Niederschlagsmenge, die ein Boden aufnehmen kann. Schon der Konnex zur Niederschlagsintensität verbleibt dabei meist ein qualitativer; eine direkte Umrechnung des durch das Tensionsinfiltrationsmeter ermittelten Wertes ist schwer möglich. Die sich zwischen den Böden unterscheidenden Infiltrationsraten erlauben lediglich eine vergleichende Aussage über die diesbezügliche Bodenspezifität.

Für den Zweck der Niederschlagsbewältigung könnte die Messung der Infiltrationsrate auf einen Durchgang, bei atmosphärischem Druck (0 cm;  $\psi = 0$ ), beschränkt werden. Die Messung der Infiltrationsrate bei unterschiedlichen Saugspannungen ermöglicht jedoch einen Rückschluss auf das Porensystem des Bodens.

Der Grobporenbereich ist der für den Durchfluss bedeutendste Porenbereich; eine etwas genauere Observation der Veränderungen in diesem Bereich ist angemessen (indirekte Ermittlung der Makroporosität ( $\epsilon$ ) und des flussgewichteten Porenradius<sup>1</sup> ( $R_0$ )). (vgl. SCHOLL, 2010)

**Porensystem** Die Durchflussrate wird oft als durch die Porengröße bestimmt angesehen; die Rate wird aber auch durch die Porenverteilung (Konnektivität und vertikale Verteilung) und die makroskopische Kapillarlänge beeinflusst. Eine Trennung dieser Faktoren ist mit dem Infiltrationsmeter nicht möglich, und ebenso ungetrennt nimmt auch der Verschlämmungsgrad der Oberfläche seinen Einfluss auf das Meßergebnis (MÜCKENHAUSEN 1985).

Die bodenspezifische Infiltrationsrate variiert aber auch in Abhängigkeit von der aktuellen Wassersättigung des Bodens (MÜCKENHAUSEN, 1985). Die Messung wird daher mit gesättigtem Boden vorgenommen.

<sup>8</sup> Grobporen: Durchmesser > 10 $\mu$ m (10-50 $\mu$ m: langsam dränendes Sickerwasser; > 50 $\mu$ m: schnell dränendes Sickerwasser)

Auf der einen Seite kann eine fehlende Differenzierung vermisst werden; es kann aber auch geschätzt werden, dass dadurch die Gesamtheit aller möglichen (den Bodenkörper betreffenden) Wirkungsweisen der Hackschnitzel abgedeckt ist.

**Funktionsweise** Die Einstellung eines Unterdrucks im Wasserzylinder des Tensionsinfiltrometers fordert eine spezifische Saugspannung des Bodens, um das Wasser in den Boden ziehen zu können. Diese spezifische Saugspannung besitzen nur Poren bis zu einer gewissen Größe: je geringer der Durchmesser einer Pore, mit desto größerer „Kraft“ zieht sie Wasser an.

**Fehlerquellen** Die Beeinträchtigungen der Messgenauigkeit, die der Messmethode unabhängig vom Standort zugrunde liegen, liegen in ihrer Abhängigkeit von der Bodenheterogenität, dem durchgängigen (hydraulischen) Kontakt der Infiltrometermembran und dem Boden, und dem möglichen Einsturz der Makrostruktur unter der Membranplatte im Zuge der Vorbereitung oder Messung.

Die quantitative Übertragung der Messergebnisse auf Niederschlagsintensitäten wird jedoch schon bereits durch den dem Gerät zugrundeliegenden verzerrenden Einfluss der hydraulischen Eigenschaften des Kontaktmaterials (zwischen Infiltrometer und Boden) verhindert.

Im vorliegenden Versuch ist außerdem eine Verzerrung der Ergebnisse durch den Untergrund gegeben:

1. Der Standort in Atzelsdorf ist über eine Kuppe, zwei Hänge und eine Senke gebettet. Da die Bodenplatte des Tensionsinfiltrometers jedoch waagrecht aufliegen soll, wurde teilweise mehr Oberboden entfernt als empfohlen.
2. Um einen möglichst vollständigen Bodenschluss der Infiltrometerplatte herzustellen, wurden die aufliegenden Hackschnitzel entfernt. Kleinere Hackschnitzelteile im Bereich von 1 cm Länge wurden ebenfalls entfernt; zum einen um die Vergleichbarkeit der Auflagefläche zu gewährleisten, zum anderen um die empfindlichen und teuren Membranen nicht zu gefährden.

Die zweitgenannte Verzerrung bedeutet, dass die Messergebnisse direkt und ausschließlich für die Wirksamkeit der bereits **im** Boden befindlichen HS gelten.

#### STATISTIK

Standort	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	2	1	Varianzanalyse, SAS

Die Anzahl der Blöcke entspricht in diesem Fall der Anzahl der Messungen.

Der direkt aus der Messung gewonnene Wert sind die Millimeter, um die sich der Wasserspiegel des Wasserzylinders in einer Zeiteinheit senkt. Die Bearbeitung der Werte läuft in drei Schritten ab:

- (1) Angleichung der Bemessungsbasis der für den Zylinder-Grundriss geltenden Werte auf eine Sekunde -> mm/s
- (2) Berechnung der tatsächlich versickerten Wassermenge durch Multiplikation mit der Grundfläche des Wasserzylinders,  $\frac{\text{mm}}{\text{s}} * \pi r^2$  -> mm<sup>3</sup>/s
- (3) Umwandlung in eine allgemein gültige Infiltrationsrate durch die Relation zur Infiltrationsfläche (Fläche der Bodenplatte),  $\frac{\text{mm}^3}{\text{s}} * \frac{1}{\pi r^2}$  -> mm/s

Die Werte, die aus einer Messung mit einem Tensionsinfiltrrometer auf ungesättigtem Boden gewonnen werden, sind in Werte einer Initialphase, und in Werte einer Phase des stetigen Flusses zu unterteilen. Letztere kommen zur Datenauswertung.

Die Initialphase beinhaltet bei der ersten Saugspannung zB. die Befeuchtung der Kontaktsandschicht, und generell die Ausweitung der Befeuchtungszone sowie der Befeuchtung aller Poren mit  $\psi \leq \psi_{\text{Tensionsinfiltrrometer}}$  (SCHOLL, 2010). Die Initialphase wird miterfasst um den Beginn der Phase des stetigen Flusses nicht zu verpassen: die Werte der un stetigen Phase müssen danach aktiv verworfen werden. Die Trennung der zwei Phasen ist manchmal eindeutig, unterliegt aber manchmal stark dem/der Bearbeiter\_in.

Die Exaktheit der Technik des Tensionsinfiltrrometers wurde von WHITE und PERROUX (1989) für  $K_h$  mit einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  angegeben. Ob die vorhin angesprochene Variabilität durch zwangsmäßig individuelle Entscheidungen darin beinhaltet ist, ist nicht klar bestimmt.

### 3.3.7 VERÄNDERUNG AUSGEWÄHLTER PFLANZENNÄHRSTOFFE

Bodenproben aus den Jahren 2008 – 2010 (TULLN) bzw. 2009 und 2010 (ATZ) wurden nach der EUF-Methode gemäß der VdLUFA (1997; 2002a; 2002b) im Bodenlabor der Bodengesundheitsdienst-GmbH, Rain/Lech, BRD, durchgeführt. Es wurde der Gehalt folgender Elemente und Stoffe, jeweils in den zwei für EUF bedeutsamen Fraktionen, ermittelt: Nitrat, organischer Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium, Bor, und Natrium.

#### STATISTIK

Standort	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	1	4	Deskriptive Auswertung

Die Blöcke entsprechen der Anzahl an Werten die von der Bodengesundheitsdienst-GmbH übermittelt wurden.

Die Auswertung konzentriert sich auf zwei Ebenen:

1. Unterscheidungen zwischen den Parzellen, innerhalb eines Jahres.
2. Unterscheidung zwischen den Jahreswerten, innerhalb einer Parzelle.

Für die Beantwortung der zweiten Ebene wurde der Vergleich der Differenzen zum Ausgangsjahr 2008 gewählt:

Bsp.: TULLN 2010: als behandelter Wert gilt ([Wert 2010] – [Wert 2008]).

Diese Form der Auswertung benötigt allerdings eine nachfolgende Absicherung: Sollte es zu einem auffälligen Unterschied in der Entwicklung der beaufschlagten Parzellen im Vergleich zu den Standardparzellen gekommen sein, so wird der Absolutwert auf seine Relevanz bezogen. Dies erfolgt durch einen wägenden Abgleich mit den Wertebereichen die sich in der Richtlinie für sachgerechte Düngung vom BMLFUW (6. Auflage) finden.

### 3.4 WACHSTUM, ERTRAGSBILDUNG UND ERTRAG

Es wurden Triticale und Weizen (TULLN respektive ATZ) der Ernte 2010 sowie der Mais aus der Ernte 2011 zur Beprobung herangezogen. Der Kulturerfolg wurde ausschließlich auf den zwei Langparzellenversuchsanlagen bearbeitet.

#### 3.4.1 ERTRAGSBILDUNG UND ERTRAG BEI GETREIDE, 2010

Zur Beurteilung der Ertragsbildung existieren mehrere Ansätze, die auf zwei verschiedenen Probenahmen basieren:

1. Manuelle Ernte von pro Parzelle vier gleichmäßig über die Langparzellen verteilten Flächen von 1 m<sup>2</sup> für die Standorte TULLN und ATZ.
2. Mähdrusch in zwei Streifen je Parzelle, in unechten Wiederholungen (Flächen A bis D, siehe *Abbildung 11*) von acht Werten/Parzelle, resultierend (15m Parzellenlänge x 1,5 m Druschweite / Wert), auf dem Standort TULLN.

Außer dem Hektarertrag wurden alle Daten aus den 1m<sup>2</sup>-Flächen ermittelt.

Von den vier Quadratmeterparzellen (A-D) wurde jeweils die Probe C nach dem ersten Arbeitsschritt aussortiert.

Untersucht wurden folgende Parameter:

- **Anzahl der Ähren tragenden Halme**
- **Reststrohgewicht**
- **Ährengewicht<sub>total</sub>**
- **Gewicht pro Ähre**

Die Getreideproben wurden in folgenden Schritten bearbeitet: Abschneiden der Ähren, Zählung und Wägung der Ähren, Wägung des Reststrohgewichtes. Das Gewicht pro Ähre wird rechnerisch auf Basis dieser Werte erzielt.

- **Halmlänge**

Die Halmlänge wurde von 49 Getreidehalmen/Probe, nach Entfernen der Ähren, mit dem Maßband, gemessen. Gemessen wurde die Halmlänge von 5 cm über Boden bis zum Ährenansatz.

- **Korngewicht und 1000-Korn-Masse**

Die Ähren wurden in Folge in einem Klein-Druschgerät gedroschen und gewogen. Dabei wurde im gleichen Durchgang die 1000-Korn-Masse („Contador“ von Pfeuffer) ermittelt.

- **C:N-Analyse des Strohs**

Je 15 Halme wurden aus unterschiedlichen Partien einer Garbe blind gezogen und in 4 -6 cm lange Stücke geschnitten. Die Wahrung der Repräsentativität wurde durch folgende Vorgehensweise gewährleistet:

- Die Halmstücke wurden durch Rühren und Schütteln vermischt.
- Bei der Einspeisung des Mahlgutes in die Mühle kam es zu einer Durchmischung.

- Nach der Ofentrocknung wurden die Proben folgendermaßen behandelt: ein Drittel der drei Proben einer Parzelle (A,B,D) wurde zusammengemischt und durch Rühren und Schütteln vermischt.

Aus dieser Probe wurden zwei Proben zu je ~60mg entnommen (+-1,9mg).

Die C- und N-Analyse wurde mit dem „Vario Macro Cube“, einem CNS-Gerät das mit der Wärmeleitfähigkeit der abgetrennten Gase arbeitet (Katalytische Rohrverbrennung der Proben, Abtrennung der Fremdgase, Auftrennung der gewünschten Messkomponenten, Wärmeleitfähigkeitsdetektion mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor WLD; Versorgungsgase: Helium und Sauerstoff), durchgeführt.

## STATISTIK

	Blöcke	Anzahl an Std.- Werten	Auswertungs-Form
Ertrag/ha TULLN (maschinell)	4	4	Langparzellen-Methodik*
Anzahl der Ähren tragenden Halme Reststrohgewicht Ährgewicht total Gewicht pro Ähre Halmlänge Korngewicht und 1000-Korn- Gewicht	3	4	Langparzellen-Methodik*
C/N-Analyse des Stroh	2	4	Langparzellen-Methodik*

\*Eine Ausnahme bildet die Variante 3, 30 t/ha, Parzelle 6, des Standortes Tulln. Die Getreidesorte dieser Parzelle unterscheidet sich von derjenigen, die auf den Parzellen 1-5 angebaut wurde.

Innerhalb der Langparzellen-Methode wurde das Problem der fehlenden Blöcke damit gelöst, dass ein fehlender Wert durch den Durchschnittswert der zwei vorhanden Werte ersetzt wurde. Damit ist die Durchschnitts-Ermittlung nicht verzerrt. Durch dieses Vorgehen wird jedoch der Streubereich verringert: die Validität der Ergebnisse ist unter diesem Gesichtspunkt zu betrachten.

### 3.4.2 WACHSTUMS- UND ENTWICKLUNGSVERLAUF BEI MAIS, 2011

#### 3.4.2 - I. ZÄHLUNG UND MESSUNG DES MAISAUFGANGES

Nachdem die Verwendung von (Rinden-)Mulch, aus gärtnerischer Erfahrung (siehe KAP. 2) eine Inhibition der Keimung mancher Pflanzen bewirkt, wurde versucht eine völlige oder verzögernde Teilinhibition des Feldaufganges und der Jugendentwicklung zu erfassen.

Die Hackschnitzeleinbringung könnte sowohl die Keimung und den Durchbruch der Jungpflanzen (den Aufgang) beeinflussen als auch das Jungpflanzenwachstum. Daher

wurden zu vorgegebenen Terminen (*Tabelle 20*) sowohl die Anzahl der Keimpflanzen als auch die durchschnittliche Höhe der Jungpflanzen ermittelt.

Der Aufgang bei Mais wurde bis zu einer Höhe der Maispflanzen von 10 cm verfolgt.

**TABELLE 20: TAGE AN DENEN IM JAHR 2011 KEIMRATE UND WUCHSHÖHE VON MAISPFLANZEN DER VERSUCHSSTANDORTE TULLN UND ATZ ERHOBEN WURDEN.**

Standort	27. April	29. April	2. Mai	4. Mai	6./7. Mai	9./10. Mai	13. Mai
TULLN	x	x	x	x			
ATZ		x	x	x	x	x	x

Evaluiert wurden pro Parzelle zwei nebeneinanderliegende Reihen von fünf Metern Länge. Diese 2 x fünf Meter wurden vor der Zählung/Messung im Abstand von einem Meter abgesteckt und über den Zeitraum der Zählung und Messung (Anzahl und Höhe der Pflanzen) in dieser Form beibehalten. Durch eine Trennung in die Abstände von je einem Meter ist die Position der gemessenen/gezählten Pflanze exakt definiert. Die so gewonnene Übersicht ermöglicht ein Monitoring jeder einzelnen Pflanze, womit der Einfluss eines allfälligen Ausfalles einzelner, bereits aufgegangener Pflanzen durch Fraß festgehalten werden kann.

#### STATISTIK

	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
40 Datensätze	1	4	Deskriptive Auswertung

Die Blöcke basieren auf zwei nebeneinanderliegenden Reihen, von denen jeweils 5m, parallel, zur Zählung/Messung herangezogen wurden.

#### 3.4.2 - II. FRISCHGEWICHT DES JUNGMAISES

Pro Parzelle wurden Ende Mai zwei nebeneinanderliegende 5-m-Reihen geerntet. Erfasst wurden die Anzahl der geernteten Pflanzen und die Frischmasse.

#### STATISTIK

	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	1	4	Deskriptive Auswertung

Der Block entspricht zwei nebeneinanderliegenden 5m-Strecken benachbarter Reihen.

Wegen einer Variabilität in der Anzahl der Pflanzen von 25-28 (TULLN) bzw. 17-27 (ATZ) Pflanzen wurde entschieden, anstelle des kumulativen Frischgewichts das durchschnittliche Frischgewicht zu verrechnen.

### 3.4.2 - III. WUCHSHÖHE IN DER BLÜTE

Pro Parzelle wurde die Wuchshöhe der Maispflanzen von ausgesteckten fünf Metern vermessen. Gemessen wurde vom Boden bis zum Spindelansatz im Stadium BBCH 65 (Blüte: männliche Infloreszenz, Vollblüte), Anfang Juli 2011.

STATISTIK

	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	1	4	Deskriptive Auswertung

Der Block besteht aus dem Durchschnittswert aller Pflanzen eines 5m-Abschnitts einer Reihe.

### 3.4.2 - IV. STICKSTOFFGEHALT IN DER MILCHREIFE

Hohe Mengen an organischem Material mit einem weiten C:N-Verhältnis führen erwartungsgemäß zu einer N-Sperre (siehe 2.2.4). Um diesen Effekt auf das Wachstum qualifizieren zu können, wurde Anfang August (Stadium BBCH 73 – Fruchtentwicklung: frühe Milchreife) die Stickstoffversorgung mithilfe eines Blattfarben-Sensors (Hydro-N-Tester; YARA, 2005) überprüft. In den ersten Durchgängen wurde jeweils das oberste Blatt der Pflanze gewählt. Auf dem Standort Tulln wurde zudem in einer zweiten Messreihe noch das dritte Blatt von oben, welches von einer Stickstoff-Verlagerung innerhalb der Pflanzen zugunsten der jüngeren Blätter betroffen wäre, beurteilt.

**TABELLE 21: ÜBERSICHT ÜBER DIE DURCHFÜHRTE MESSUNGEN DES STICKSTOFFGEHALTES ZUR MILCHREIFE, MAIS 2011.**

Standort	Blatt	Wiederholungen pro Parzelle	Werte/Wiederholung
TULLN	Oberstes Blatt	10	30
TULLN	Unteres Blatt	10	30
ATZ	Oberstes Blatt	10	30

Der Sensor besteht aus einer Art „Zwicker“ zwischen dessen Fühlern die Blattfarbe ermittelt wird; die Werte werden vom Gerät gesammelt. Die Analyse der Blattfarbe erfolgt durch die Aussendung von Licht (auf zwei Wellenlängen, 650 nm und 950 nm) und die Messung der Rückstrahlung (mit einer Silikon-Photodiode). Der Ergebniswert gibt Aufschluss über den Chlorophyllgehalt des Blattes (da dieser farbgebend ist) und basierend auf der engen Korrelation zwischen Chlorophyllgehalt und Stickstoffgehalt auch Aufschluss über den Stickstoffgehalt und somit über die Stickstoffversorgung. Der Ergebniswert ist dimensionslos und umso höher je dunkler die Blattfarbe ist und damit der Grad der Stickstoffversorgung. (YARA, 2005)

	<b>Blöcke</b>	<b>Anzahl an Std.-Werten</b>	<b>Auswertungs-Form</b>
TULLN, ATZ	10	4	Langparzellen-Methodik

Ein Block besteht in diesem Fall aus Messungen an 30 Pflanzen.

### 3.4.3 ERTRAGSBILDUNG UND ERTRAG BEI MAIS, 2011

Untersucht wurden folgende Parameter:

- **Gewicht der Gesamtpflanzen**
- **Kolbenanzahl**
- **Kolbengewicht**
- **Gewicht von 50 Pflanzen**
- **Korngewicht von 50 Pflanzen**
- **Stängelgewicht von 10 Pflanzen**
- **Wassergehalt der Stängel**

Mit einem Balkenmäher am 8. Und 9. September wurden zweimal zwei Reihen pro Parzelle gemäht. Aus dieser Ernte wurde die Frischmasse erhoben und danach 50 Pflanzen gewogen und auch zur Feststellung der Kolbenanzahl und des Kolbengewichts verwendet. Dieselben 50 Kolben wurden danach zur Feststellung des Frischmasse-Gewichts und des Feuchtigkeitsgehaltes gedroschen. Zehn Stängel der 50 Pflanzen wurden zur Bestimmung des Stängel-Gewichts, des Feuchtegehalts und des C:N-Verhältnisses herangezogen.

- **Feuchtegrad des Kornes**

Der Feuchtegehalt wurde in zwei Stufen ermittelt. Das Maiskorn wurde bei 60°C mind. vier Stunden vorgetrocknet, und dann bei 103°C auf Gewichtskonstanz getrocknet.

- **C:N-Verhältnis der Stängel**

Für die CN-Analyse wurden die Proben je Einheit zu einer Mischprobe vermengt, und zwei Wiederholungen aus dieser Mischprobe erstellt. Die Versuchs-Parzellen wurden dabei, der Doppelung des HS-Aufschlags entsprechend, in zwei Parzellen zu je zwei Proben geteilt (A+B und C+D). Bei den Standard-Parzellen wurden alle vier Proben zu einer Mischprobe verrührt (A+B+C+D).

Die Durchführung der C- und N-Analyse des Maises wurde ansonsten analog zur Behandlung des Getreides durchgeführt; nähere Angaben dazu daher im entsprechenden Abschnitt.

## STATISTIK

	Blöcke	Anzahl an Std.-Werten	Auswertungs-Form
TULLN, ATZ	2	4	Langparzellen-Methodik

Die Blöcke stellen im Fall der meisten Datenreihen die exakte Anzahl der Messungen dar.

Ausnahmen:

- Im Falle des Wassergehalts gelten die Blöcke als zwei Wiederholungen der Probenahme von jeweils zehn Stängeln. Zur Trockenbestimmung gelangten wiederum zwei Proben je Probe, von denen allerdings der Mittelwert in die Verrechnung eingeht.
- Der C:N-Gehalt der Stängel basiert auf den gleichen zehn Stängeln, aber die daraus gewonnenen Proben wurden vor der Analyse vermischt. Die Blöcke bestehen somit in diesem Fall aus den Wiederholungen der Mischprobe.

- Unterschiede, die mit der Auswertungsmethode von Langparzellen nach LOCHOW UND SCHUSTER (1961) als signifikant ausgewiesen wurden, sind mit einem bis drei Sternen gekennzeichnet:  
\* = Signifikanz auf 5 %; \*\* = Signifikanz auf 1 %; \*\*\* = Signifikanz auf 0,1 %.
- Signifikante Unterschiede die durch den der ANOVA nachgelagerten Tukey-Test der studentisierten Spannweite (HSD) ausgegeben wurden, werden durch Gruppierungen (a, b, c) dargestellt. Werte, die sich nicht in der gleichen Gruppierung befinden, unterscheiden sich signifikant auf einem Niveau  $p \leq 0,05$  voneinander; die Zugehörigkeit zur gleichen Gruppierung bedeutet, dass sich die Mittelwerte nicht signifikant unterscheiden.  
Dieser HSD-Typ des Tukey-Tests wird im Folgenden nur mehr als Tukey-Test benannt.
- Für Signifikanzen aus gemischten Modellanalysen mit nachgelagertem Typ 3 – Test (der festen Effekte) werden die angepassten Signifikanz-Levels angegeben.

## 4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 4.1 KENNWERTE DES BODENS

#### 4.1.1 VERROTTUNGSGRAD DER HACKSCHNITZEL UND HUMUSGEHALT

##### 4.1.1 - I. VERROTTUNG DER ORGANISCHEN SUBSTANZ

###### Grobes organisches Material

**TABELLE 22: ANTEIL AN GROBEM ORGANISCHEN MATERIAL AM BODEN, IN % DER BODENPROBE. STANDORTE TULLN UND ATZ, HERBST 2010.**

Standort	HS-Aufschlag in t/ha	Anteil an grober organischer Substanz (in % der Bodenprobe)
TULLN	90	0,20 a
	30	0,13 b
	15	0,05 c
	0	0,05 c
ATZ	90	1,86 a
	30	0,47 b
	15	0,35 b
	0	0,07 b

Im Herbst 2010 war am Standort TULLN auf den mit Hackschnitzeln beaufschlagten Parzellen durchgehend weniger grobes organisches Material als auf den Atzelsdorfer HS-Parzellen.

Dies könnte auf eine schnellere Zersetzung durch den Tullner Boden hinweisen. Da die erste HS-Ausbringung auf dem Standort TULLN jedoch ein Jahr früher erfolgte als auf dem Standort ATZ könnte es auch sein, dass erst im zweiten Jahr ein Zersetzungsschub einsetzt. Dies könnte durch die Anlaufzeit im Aufbau einer großen, spezifischen Zersetzungs-Gemeinschaft im Boden bedingt sein.

Ob die unterschiedlichen Ergebnisse ein Effekt der Zeit oder des Bodens sind: der Unterschied zwischen TULLN und ATZ zeigt, dass auch Holz mitunter sehr rasch zersetzt ist.

Anmerkung: Die Bodenprobe besteht aus bis in die Tiefe von 30 cm durchgehenden Bodenblöcken: die Daten zeigen somit nicht nur die an der Oberfläche vorhandenen Hackschnitzel, sondern die gesamte Menge an Hackschnitzeln.

## Mittelgrobes organisches Material

**TABELLE 23: ANTEIL AN MITTELGROBER ORGANISCHER SUBSTANZ AM BODEN, IN % DER BODENPROBE. STANDORTE TULLN UND ATZ, HERBST 2010.**

Standort	HS-Aufschlag in t/ha	Anteil an kleiner organischer Substanz (in % der Bodenprobe)
<b>ATZ</b>	90	0,26 a
	30	0,22 a
	15	0,20 a b
	0	0,13 b

Am Standort TULLN kam es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den beaufschlagten Parzellen und der Standardparzelle.

## C<sub>org</sub> nach Glühverlust - in organischen Strukturen verbauter Kohlenstoff

Die in Folge dargestellten Signifikanzen entstammen der Prüfung des ungesiebten Teiles der Bodenproben.

**TABELLE 24: ANTEIL AN ORGANISCHEM KOHLENSTOFF AM BODEN, IN % DER BODENPROBE. STANDORTE TULLN UND ATZ, HERBST 2010.**

Standort	HS-Aufschlag in t/ha	Gehalt an C <sub>org</sub> als Glühverlust (in % der Bodenprobe)
<b>TULLN</b>	90	3,0 a
	30	2,8 b
	15	2,8 b
	0	2,8 b
<b>ATZ</b>	90	2,6 a
	30	2,1 b
	15	1,9 b
	0	2,1 b

Eine Beaufschlagungsmenge von 90 t/ha führte sowohl nach zwei Jahren (TULLN) als auch schon nach einem Jahr (ATZ) zu einer signifikanten Erhöhung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff.

Eine Linearität kann den Werten nicht entnommen werden: die signifikanten Erhöhungen von 0,2 Prozentpunkten (TULLN) und 0,5 Prozentpunkten (ATZ) folgt weder der Verweildauer der Hackschnitzel im/am Boden noch dem verbliebenen Anteil an grobem organischem Material.

#### 4.1.1 - II. HUMUS-GEHALT

Humuswerte liegen aus den zwei Jahren 2009 und 2010 vor.

Am **Standort TULLN** erfolgte somit

- eine Messung ein Jahr, und
- eine Messung zwei Jahre nach Ausbringung der einfachen Menge an HS.

Entsprechend der unterschiedlichen Vorfrüchte am Standort TULLN (Zuckerrübe, Brache) wurde jede Langparzelle im Jahr 2009 als zweiflächig beprobt. Die Ergebnisse zeigten den Einfluß der unterschiedlichen Vorfrüchte mit einem Unterschied von 0,1 – 0,2 Prozentpunkten als relevant an; es wurde daher eine getrennte Beurteilung beibehalten.

**2009 vs. 2010** Ein Vergleich der Werte der Jahre 2009 und 2010 zeigt eine Veränderung des Humusgehaltes im Schwankungsbereich von -0,39 (90t-Variante) bis +0,09 (Standardvariante). Dass ein Vergleich der Humusgehalte der Parzellen  $x_{2009}$  zur Parzelle  $x_{2010}$  keinen Unterschied ergibt könnte an den (schwach) humuszehrenden Kulturen des Jahres 2010 liegen. Ein Vergleich der beaufschlagten Varianten mit den Standardparzellen jeweils innerhalb eines Jahres kann diesen Einfluss entfernen (v.i.).

**Beaufschlagte Varianten vs. Standardparzellen** Im Jahr 2009 unterscheidet sich die mit 90 t/ha beaufschlagte Variante mit 0,5 bzw. 0,3 Prozentpunkten von der Standardparzelle. Im Jahr 2010 unterscheidet sich dieselbe Variante (90 t/ha) mit 0,4 bzw. 0,2 Prozentpunkten von der Standardparzelle. Die übrigen Variantenvergleiche ergaben keine Abweichungen über 0,2 Prozentpunkten. Die Ergebnisse der ANOVA-Auswertung der Daten des Jahres 2010 sind in der *Tabelle 25* ersichtlich.

Der bereits nach einem Jahr gegebene Unterschied im Humusgehalt der Höchstvariante zu den Standardparzellen wird als erwarteter Trendbeginn gesehen. Die Stagnation im zweiten Jahr kann nicht an einer humuszehrenden Wirkung der Fruchtart liegen, da diese sich in gleichem Maße auf die Standardvarianten ausgewirkt haben müsste.

**TABELLE 25: HUMUSGEHALTE DER PARZELLEN DER STANDORTE TULLN UND ATZ IM JAHR 2010.**

Standort	HS-Aufschlag in t/ha	Humusgehalt (in %)
<b>TULLN</b>	90	2,7 a
	30	2,5 a b
	15	2,5 a b
	0	2,4 b
<b>ATZ</b>	90	2,2 a
	30	1,8 b
	15	1,5 c
	0	1,8 b

Am **Standort ATZ** wurde der Humusgehalt

- kurz vor Aufbringung der einfachen Hackschnitzelmenge gemessen, und
- ein Jahr danach.

**2009 vs. 2010** Die Variante mit 90 t/ha HS-Beaufschlagung wies eine Erhöhung des Humusgehaltes von 0,3 Prozentpunkten auf.

**Beaufschlagte Varianten vs. Standardparzellen** Der Unterschied der 90t-Variante zur Standardparzelle betrug im Jahr 2010 (*Tabelle 25*) 0,4 Prozentpunkte. Zwischen den zwei Parzellen gab es schon im Jahr 2009 einen Unterschied (um 0,2 Prozentpunkte), womit eine Erhöhung von netto 0,2 Prozentpunkten bleibt.

Der Wert der 15t-Variante des Standortes ATZ im Jahr 2010 (*Tabelle 25*) erklärt sich durch die Parzellenlage. Die Parzelle dieser Variante liegt am Oberhang und wies schon vor dem Versuch (Werte 2009) einen geringeren Humusgehalt auf (*Tabelle 26*).

**TABELLE 26: HUMUSGEHALT (IN %) DES VERSUCHSSTANDORTES ATZ IM JAHR 2009.**

<b>Streifen:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Humusgehalt in %, 2009</b>	1,52	<b>1,49</b>	1,75	1,75	1,82	1,95	2,19
<b>Aufschlag im Jahr 2010 in t/ha</b>	0	15	0	30	0	90	0

#### 4.1.2 AUSWIRKUNG DER HACKSCHNITZEL AUF AUSGEWÄHLTE BODENKENNWERTE UND DEN NÄHRSTOFFGEHALT

Die ausgewählten Kennwerte sind aufgrund der kausalen Basis dazu geeignet, eine Beeinflussung des Bodens durch die ausgebrachten Hackschnitzel festzustellen.

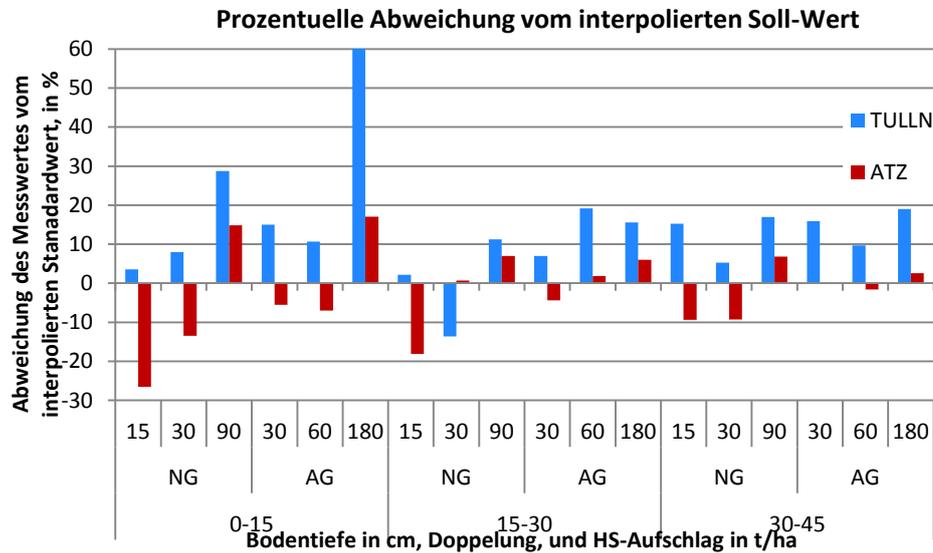
Bodenfeuchte, Eindringwiderstand und Infiltrationsrate basieren zu einem großen Teil auf der Struktur des Bodens und dem Humusgehalt des Bodens. Die Erwärmung des Bodens wird beeinflusst durch den Wassergehalt, die Dichte, und der ebenfalls von organischem Material beeinflussbare Farbe eines Bodens (vgl. KAP. 2.1.2) .

Eine Veränderung im Nährstoffgehalt des Bodens lässt zum Einen Rückschlüsse über das Ausmaß der Beeinflussung durch Hackschnitzel zu. Abgesehen von diesem Nutzen können diese Werte dazu beitragen, die eingangs gestellte Frage nach möglicherweise negativen oder positiven Auswirkungen auf die Nährstoffverfügbarkeit zu beantworten.

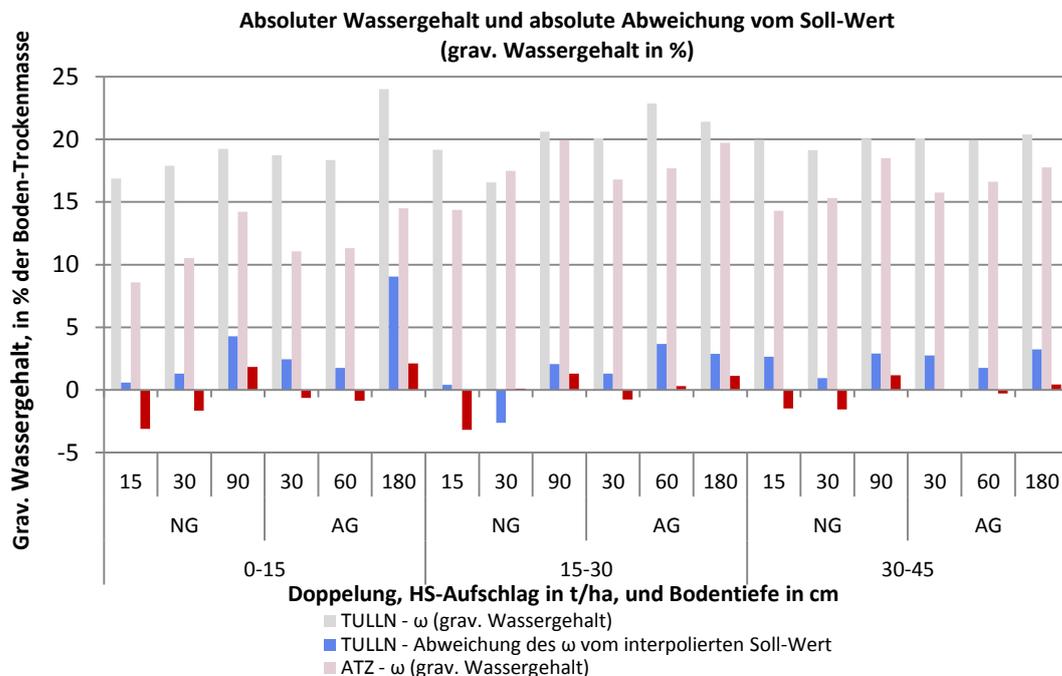
##### 4.1.2 - I. BODENFEUCHTE

Die Messungen im Monat Mai wurden für jede Parzelle getrennt durchgeführt. Dadurch kommt die Stärke des Langparzellen-Versuchsaufbaus zum Tragen und es konnten Soll-Werte für die Versuchspartellen zwischen den Standardparzellen ausgegeben werden. Die Ergebnisse der Bodenfeuchten sind in der *Abbildung 12* als prozentuelle

Abweichungen vom Soll-Wert dargestellt. Die *Abbildung 13* zeigt den absoluten Unterschied in der Bodenfeuchte (als gravimetrischer Wassergehalt) und bildet damit die Brücke zum tatsächlichen Wertebereich einer zB. 60 %igen Abweichung vom Soll-Wert (wie bei TULLN, 180t, 0-15 cm Tiefe) ermöglicht.



**ABBILDUNG 12: EINFLUSS UNTERSCHIEDLICH HOHER HS-BEAUFSCHLAGUNG AUF DIE BODENFEUCHTE DER STANDORTE TULLN UND ATZ. PROZENTUELLE ABWEICHUNG VOM INTERPOLIERTEN STANDARD-WERT. MAI 2011.**



**ABBILDUNG 13: EINFLUSS UNTERSCHIEDLICH HOHER HS-BEAUFSCHLAGUNG AUF DIE BODENFEUCHTE DER STANDORTE TULLN UND ATZ. GRAVIMETRISCHER WASSERGEHALT (GEWICHT/WASSER/TROCKENGEWICHT BODEN) UND ABSOLUTE ABWEICHUNG DES GRAV. WASSERGEHALTES VOM INTERPOLIERTEN STANDARD-WERT. MAI 2011.**

**TULLN vs. ATZ** Das unterschiedliche Niveau der Reaktion auf die HS-Ausbringung ist in der *Abbildung 12* ersichtlich. Während sich in Atzelsdorf (rot) die Werte der Versuchspartellen zum überwiegenden Teil unterhalb des Soll-Wertes befanden, lagen die Bodenfeuchtwerte der Versuchspartellen in Tulln (blau) in jedem (außer einem) Fall über ihrem Soll-Wert. Der Boden des Feldes in Tulln reagierte außerdem insgesamt stärker auf die HS-Beaufschlagung als der Boden am Standort Atzelsdorf.

**Bodentiefe** Die oberste Bodenschicht wies erwartungsgemäß die größten Effekte auf.

**Linearität gemäß Aufschlag** Obwohl sich das Niveau der Bodenfeuchte zwischen den zwei Standorten unterschied, ergaben beide Standorte eine sich mit der HS-Aufbringungsmenge erhöhende Bodenfeuchte.

Die 90t- und die 180t-Variante heben sich auf beiden Standorten von den minder (15-60 t/ha) beaufschlagten Varianten ab: der Standort TULLN wies auf diesen Flächen Extremwerte auf, und auf dem Standort ATZ zeigten sie als einzige HS-Varianten mehr Bodenfeuchte als die flankierenden Standardvarianten.

Eine Tendenz innerhalb der Beaufschlagungsmengen von 15t, 30t und 60t war nicht erkennbar.

**Einmalige vs. zweimalige Beaufschlagung** Eindeutig war der Unterschied des HS-Effektes in Bezug auf die Verweildauer der Hackschnitzel auf den Parzellen. Auf denjenigen Parzellen, auf denen im Herbst 2010 nochmals Hackschnitzel ausgebracht wurden, fällt die Erhöhung der Bodenfeuchte des Tullner Standortes höher aus, und die Verminderung der Bodenfeuchte des Atzelsdorfer Standortes geringer.

*Abbildung 13* zeigt die absolute Abweichung vom interpolierten (theoretischen) Standardwert. Ein Vergleich des HS-Effektes zwischen den Standorten ist hier nicht mehr zulässig (vgl. 3.3.3), aber es wird deutlich, dass die prozentuellen Unterschiede der 90t- und 180t-Variante auch im absoluten Wertebereich von Bedeutung sind.

Die Differenzen der mit 15 bis 60 Tonnen beaufschlagten Varianten bleiben hingegen in einem engen Rahmen von  $\approx 1,5$  % grav. Wassergehalt.

Neben den absoluten Abweichungen wurde die *Abbildung 13* zur Orientierung um den absoluten Wassergehalt der Parzellen erweitert.

**Die zwei Exaktversuchsstandorte unterscheiden sich in ihrer Reaktion auf die HS-Ausbringung.** Ähnlich bleibt:

- der Trend einer mit steigender HS-Ausbringungsmenge steigenden Bodenfeuchte.
- ein wesentlicher, die Bodenfeuchte erhöhender Effekt der 90t- und 180t-Variante.
- der enge Rahmen der Werte der 15t-, 30t-, und 60t-Varianten. Sie bewegen sich in einem nicht aussagekräftigem Rahmen.

Der Tullner Standort folgt dem Erwartungsmuster: die Bodenfeuchte wurde durch die Hackschnitzel erhöht. Der Standort Atzelsdorf zeigt hingegen u.a. eine gegenteilige Wirkung - erhöhte Trockenheit - und verweist damit auf eine Wirkungsweise stark standortabhängiger Interaktionen.

Auf Basis der erzielten Ergebnisse ist trotz mehrerer Erklärungsansätze keine eindeutige Aussage zur Wirkungsweise der Hackschnitzel möglich.

- WOLF und SNYDER (2003) benennen als eines der Probleme bei der Einbringung größerer Mengen trockener, organischer Substanz in den Boden die initiale, verringernde Auswirkung auf den Bodenfeuchtehaushalt. Die Hackschnitzel waren zweifellos trocken, und eine negative Auswirkung auf den Feuchtegehalt des Bodens könnte auf den aufgedoppelten Flächen erklärt werden. Vor allem in Atzelsdorf, dem etwas trockenerem Standort, könnte die Aufdoppelung im Spätherbst 2010 zu verstärkter Frühjahrstrockenheit im Jahr 2011 führen.

Durch diesen Ansatz ist jedoch nicht schlüssig, warum die geringeren Aufschlagsmengen tendenziell zu mehr Trockenheit führten, während die größte Aufschlagsmenge eindeutig zu mehr Feuchtigkeit verhalf. Auch traten diese Trends verstärkt auf den nicht gedoppelten Flächen auf, deren Hackschnitzel sich bereits über einen Sommer und zwei Winter in ihrem Feuchtegehalt angleichen konnten.

WOLF und SNYDER (2003) behandeln das Problem trockener Biomasse als ein Problem von weniger als einer Vegetationsperiode (aber es werden keine Angaben zu den Ausbringungsmengen gegeben).

- Holz besitzt eine hohe Affinität zu Wasser sowohl vor als auch während seiner Verrottung (vgl. 2.2.2). Aus der *Abbildung 12* ist ersichtlich, dass die Bodenfeuchte des Atzelsdorfer Standortes allgemein geringer ist als auf dem Standort Tulln. Bei trockenen Verhältnissen könnte die Feuchtigkeit vom Hackgut „sequestriert“ werden und somit im „Boden“ nicht mehr aufscheinen (das Hackgut wurde bei der Messung der Bodenfeuchte nicht mitgemessen).
- Höhere Feuchte könnte durch die Infiltrationsförderung der Hackschnitzel (durch verminderte Abflussgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche erhöhte Infiltration) verursacht werden.

Für diesen Ansatz spricht die geringere negative Abweichung (vom Soll-Wert) der frisch aufgedoppelten Parzellen, auf der mehr Hackschnitzel auf der Oberfläche lagen als auf den ungedoppelten Varianten. Auf letzteren wurden die Hackschnitzel schon durch mehrere Bearbeitungsgänge teilweise in den Bodenkörper verlagert.

Der Standort TULLN ist jedoch eine Ebene, womit dieser, die Bodenfeuchte erhöhender, Mechanismus als Erklärung für den Standortunterschied ausgeschlossen ist.

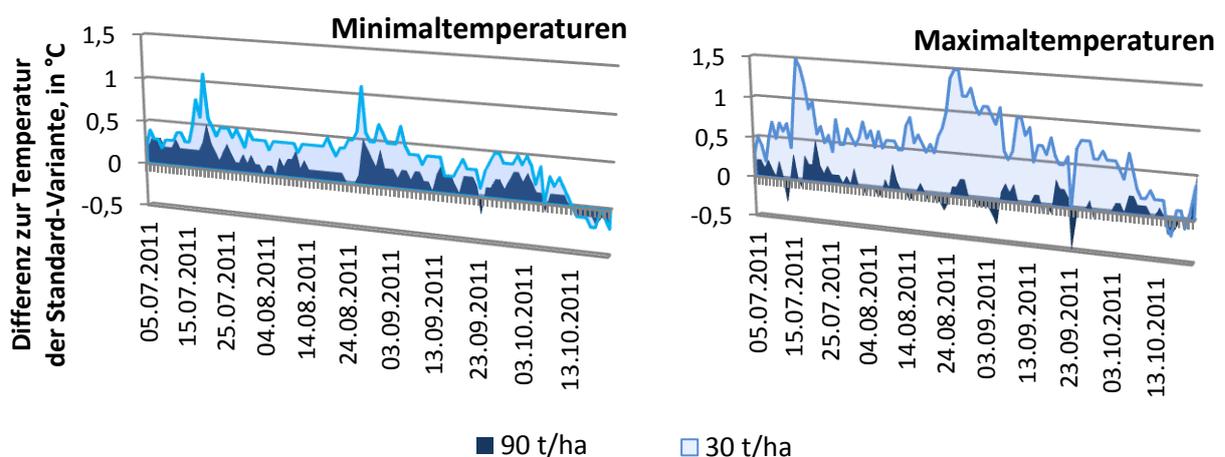
Dieser Mechanismus könnte jedoch die Unterschiede des HS-Effektes innerhalb des Standortes ATZ (von erhöhter Trockenheit zu leicht erhöhter Feuchtigkeit) teilweise erklären. Auf dem Atzelsdorfer Standort (Hanglage) kann die Oberflächenbedeckung durchaus eine Rolle spielen. Ein in gewissen Bereichen eintretender trocknender Effekt, wie er in den gering mit Hackschnitzel beaufschlagten Varianten des Standortes ATZ auftrat, könnte in den höher beaufschlagten Varianten durch den infiltrationsfördernden Effekt überlagert worden sein.

- Eine verdunstungshemmende Wirkung der Hackschnitzelbedeckung könnte am Standort Tulln gewirkt haben: die Bodenfeuchte war dort umso höher, je flächendeckender die Auflage war (je höher die HS-Aufschlagsmenge, und je kürzer zurückliegend sie aufgebracht wurde).

#### 4.1.2 - II. BODENTEMPERATUR

Die nachfolgenden *Diagramme* 4 und 5 zeigen den Einfluß der Hackschnitzelbeaufschlagung von 30 und 90 t/ha auf die Bodentemperatur. Im Vergleich zur Temperatur der Standardvariante ergaben sich Erhöhungen der Maximaltemperatur eines Tages von bis zu 1,5 °C, und Verminderungen der Minimaltemperatur eines Tages von bis zu 1,1°C. Der Vergleich der Tagessummen zeigte tendentielle Erhöhungen der Tagessumme durch die Hackschnitzel, jedoch in geringem Ausmaß (zB. eine maximale Tagessummendifferenz zur Standardvariante auf dem Standort TULLN von 75°C bei einer Tagessumme von 1.670°C, 30t-Variante am 27.8.2011).

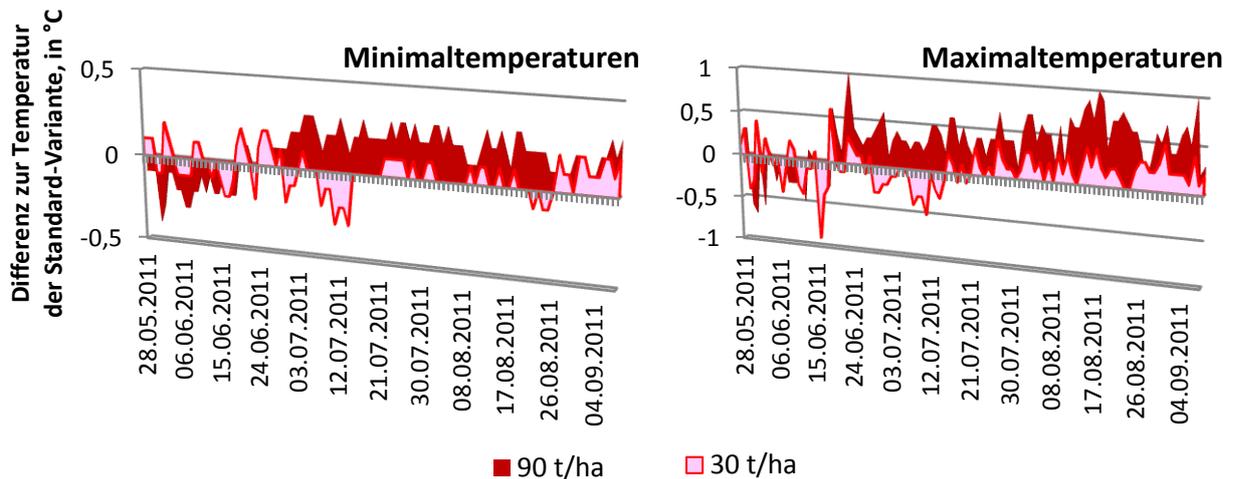
##### Standort TULLN



**ABBILDUNG 14: DIFFERENZEN DER TAGES-MINIMALTEMPERATUREN UND DER TAGES-MAXIMALTEMPERATUREN VON DEN VARIANTEN MIT 30 UND 90 T/HA HS-BEAUFSCHLAGUNG ZU DEN WERTEN EINER STANDARD-VARIANTE, AM STANDORT TULLN, So MMR 2011.**

Die Bodentemperatur zeigte sich auf dem Standort TULLN in der 30t-Variante stärker erhöht als in der 90t-Variante. Für dieses Ergebnis ist die erhöhte Bodenfeuchte der 90t-Variante verantwortlich zu sehen. Eine wärmende Wirkung der Hackschnitzel zeigt sich bis Anfang Oktober.

#### Standort ATZ



**ABBILDUNG 15: DIFFERENZEN DER TAGES-MINIMALTEMPERATUREN UND DER TAGES-MAXIMALTEMPERATUREN VON DEN VARIANTEN MIT 30 UND 90 T/HA HS-BEAUFSCHLAGUNG ZU DEN WERTEN EINER STANDARD-VARIANTE, AM STANDORT ATZ, So MMR 2011.**

Die 90t-Variante des Standortes ATZ zeigte eine stärkere Veränderung in der Bodentemperatur als die 30t-Variante. Bis Mitte Juni war der Boden der 90t-Variante zu einem großen Teil kälter als der Boden der Standardvariante. Danach zeigte sich der HS-Einfluß als wärmend.

Die Bodentemperatur des Standortes Atzelsdorf zeigte sich insgesamt geringer von der Hackschnitzelbeaufschlagung beeinflusst als die Bodentemperatur des Standortes Tulln.

Die Relevanz eines Temperaturunterschiedes von 1°C wird augenscheinlich, wenn nachfolgende Informationen berücksichtigt werden:

- Eine Temperatur von 20°C in einer Bodentiefe von 1 cm entspricht in 10 cm Tiefe einer Temperatur von 12°C, in 15 cm einer von 10°C (15 cm) und in 20 cm einer von 9°C (GEISLER, 1988).  
Die Unterschiede, die die in 15-20 cm Tiefe liegenden Sensoren aufzeigen, sind in den oberen Bodenschichten somit verstärkt.
- Die Temperaturbereiche einer optimalen Saat-Temperatur und einer (sich negativ auswirkenden) Toleranztemperatur liegen zB. bei Getreide, 6-8 versus > 2-4°C, knapp nebeneinander (JANSEN et al., 1998).

Eine Differenz von zwei Grad in einer Bodentiefe von zwei bis drei Zentimetern hat dementsprechend relevante Auswirkungen auf die Keimung. Dieser im Sommer aufgetretene Unterschied könnte im Frühjahr durch eine von den Hackschnitzeln erhöhte Feuchtigkeit im Frühjahr überlagert sein. Dafür spricht der anfängliche Kurvenverlauf der Bodentemperatur des Standortes Atzelsdorf (*Abbildung 15*).

Auf die Frühjahrstemperatur kann auch indirekt geschlossen werden: über die Auswirkungen zu früher/zu später Saat auf zB. den Aufgang, das Wachstumsverhalten der Keimpflanze, oder auf die Stängellänge (vgl. 2.1.2). Diesen Indikatoren zufolge waren die HS-beaufschlagten Varianten – v.a. die höheren Varianten, denn nur bei diesen zeigen sich unbestreitbare Unterschiede – auf dem Standort TULLN im Frühjahr etwas kälter, und am Standort ATZ geringfügig wärmer als die Standardparzellen.

#### 4.1.2 - III. EINDRINGWIDERSTAND

**TABELLE 27: PENETROMETER-EINDRINGWIDERSTAND (N/M<sup>2</sup>) AN DEN STANDORTEN TULLN UND ATZ, FRÜHJAHR 2011.**

HS-Aufschlag in t/ha			Korrigierter Eindringwiderstand (N/m <sup>2</sup> )			
			April		Mai	
			TULLN	ATZ	TULLN	ATZ
Tiefenbereich: 7-9 cm	NG	0	42,7	104,4	137,5	80,8
		15	61,2	71,7	159,2	101,4
		30	57,7	57,4	168,8	108,6
		90	48,7	58,9	117,2	124,3*
	AG	0	49,1	104,7	123,9	101,1
		30	56,4	151,8	136,6	96,4
		60	52,3	131,8	100,9	105,8
		180	37,0	101,3	88,1	101,8
Tiefenbereich: 21-23 cm	NG	0	128,4	128,3	189,8	151,2
		15	150,9	146,3	180,0	173,2
		30	136,1	127,7	186,6	204,1
		90	118,5	114,4	190,3	184,7
	AG	0	156,7	124,2	189,3	169,0
		30	167,6	164,9	174,4	191,4
		60	145,7	160,7	172,8	179,8
		180	128,2	154,2	179,0	192,6
Tiefenbereich: 31-33 cm	NG	0	178,6	234,2	199,8	252,1
		15	191,4	213,7	215,6	233,2
		30	165,4	134,0	188,4	286,8
		90	156,6	201,9	199,1	274,2
	AG	0	190,8	257,5	200,7	251,7
		30	193,9	274,1	199,6	248,8
		60	176,0	257,9	184,4**	238,6
		180	191,6	201,9	172,8**	256,9

Farbliche Markierung der Werte die im Wertenniveau Besonderheiten aufzeigen.

Nach ein bis drei Jahren war kein signifikanter Einfluss der Hackschnitzel auf den Eindringwiderstand des Bodens gegeben. Auch TAHBOUB et al. (2008) konnten in ihrem dreijährigen Versuch (Kapitel 2.3.1), in dem sich Parameter wie Bodenfeuchte, Aggregatstabilität und Erosion durchaus beeinflusst zeigten, nur insignifikante Änderungen der Bodendichte feststellen. Dass Hackschnitzel unter Umständen doch eine bedeutende Auswirkung auf die Bodendichte haben zeigten SANBORN et al. (2004), Kapitel 2.1.2.

Eine Erhöhung der Bodendichte in 7-9 cm Tiefe kann nicht auf die HS zurückzuführen sein, und dies trifft auch auf die Lockerung in der tiefen Schicht (31-33 cm) zu.

Die Abweichungen des Eindringwiderstandes im April im Tiefenbereich 7-9 cm sind auf die vorherige Bodenbearbeitung zurückzuführen.

#### 4.1.2 - IV. INFILTRATIONSRATE

Die Messungen der Infiltrationsrate ergaben keine signifikanten Unterschiede der mit HS beaufschlagten Parzellen zu den Standardparzellen. Während der Messung wurde allerdings ein zum Teil beträchtlicher Unterschied (90t-Variante  $\geq$  Standard-Variante) wahrgenommen. Die fehlende statistische Sicherung dieses subjektiven Eindruckes lag vermutlich am geringen Stichprobenumfang.

#### 4.1.2 - V. NÄHRSTOFFGEHALT NACH EUF

Die Proben zur Beurteilung der Elemente und Stoffe nach EUF wurden jeweils vor der ersten Ausbringung von Hackschnitzeln gezogen, und danach zweimal (TULLN) bzw. einmal (ATZ) vor der zweiten Ausbringung.

Am Standort TULLN erweisen sich die Gehalte von Natrium und Nitrat als erkennbar beeinflusst (Abbildung 16), am Standort ATZ der Nitratgehalt (Abbildung 17).

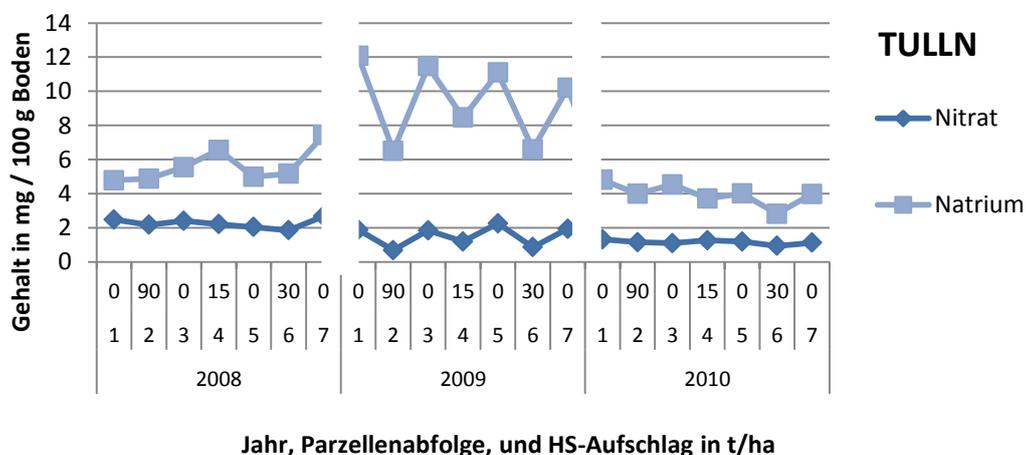
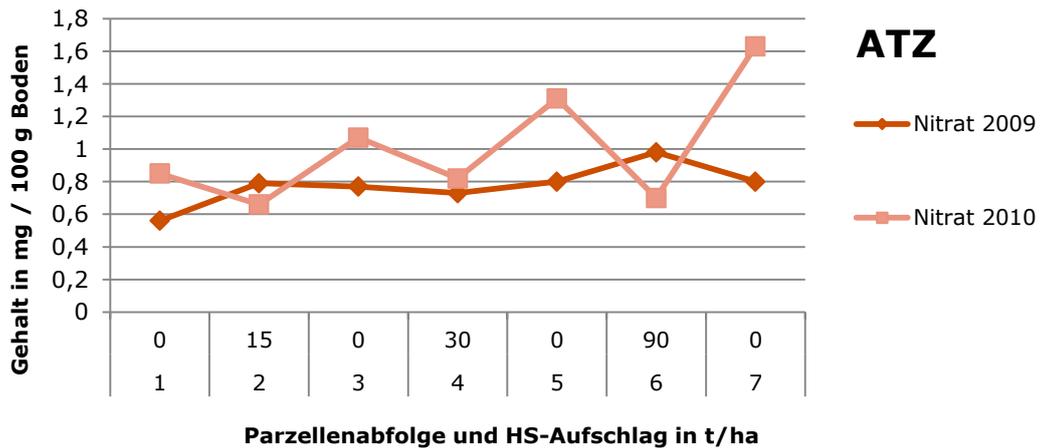


ABBILDUNG 16: NITRAT- UND NATRIUMGEHALT (MG/100G BODEN) IM OBERBODEN AM STANDORT TULLN IN DEN JAHREN 2008, 2009 UND 2010.



**ABBILDUNG 17: NITRATGEHALT (MG/100G BODEN) IM OBERBODEN AM STANDORT ATZ IN DEN JAHREN 2009 UND 2010.**

Die Hackschnitzelausbringung bewirkte auf beiden Standorten ein Jahr nach der Ausbringung eine Verminderung des Nitratgehaltes. Diese Verminderung war auf dem Standort TULLN im zweiten Jahr nach der HS-Ausbringung nicht mehr deutlich vorhanden.

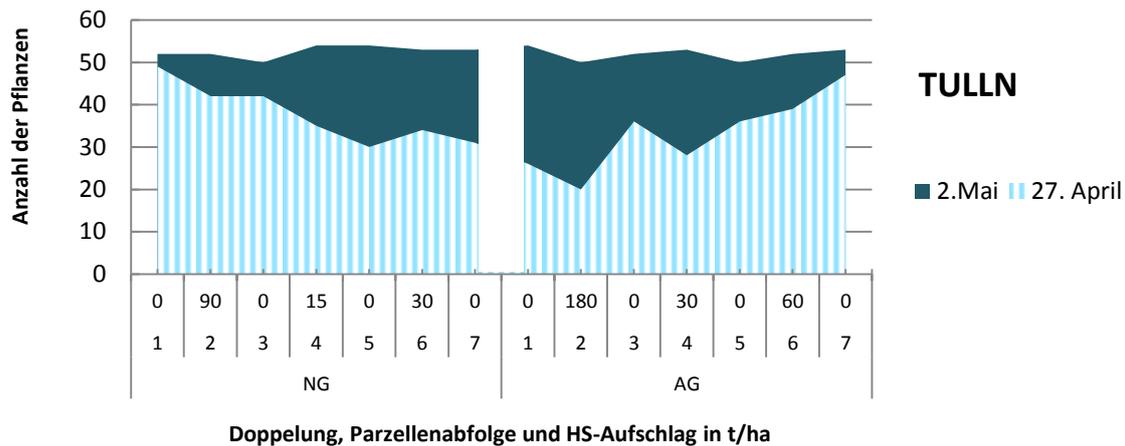
Der Natriumgehalt veränderte sich nur auf dem Standort TULLN sichtbar. Die vermindernde Wirkung der Hackschnitzel ist auch noch im zweiten Jahr nach der Ausbringung erkennbar.

## 4.2 PFLANZLICHE PARAMETER

### 4.2.1 AUSWIRKUNG DER HACKSCHNITZEL AUF AUSGEWÄHLTE KENNWERTE IM WACHSTUMS- UND ENTWICKLUNGSVERLAUF

Der Wachstums- und Entwicklungsverlauf wurde während der Vegetationsperiode 2011, an Mais, anhand mehrerer Kennwerte erfasst. Die Erfassung des Unkrautbesatzes im Jahr 2011 wurde auf einen visuellen Eindruck beschränkt.

#### 4.2.1 - I. KEIMRATE

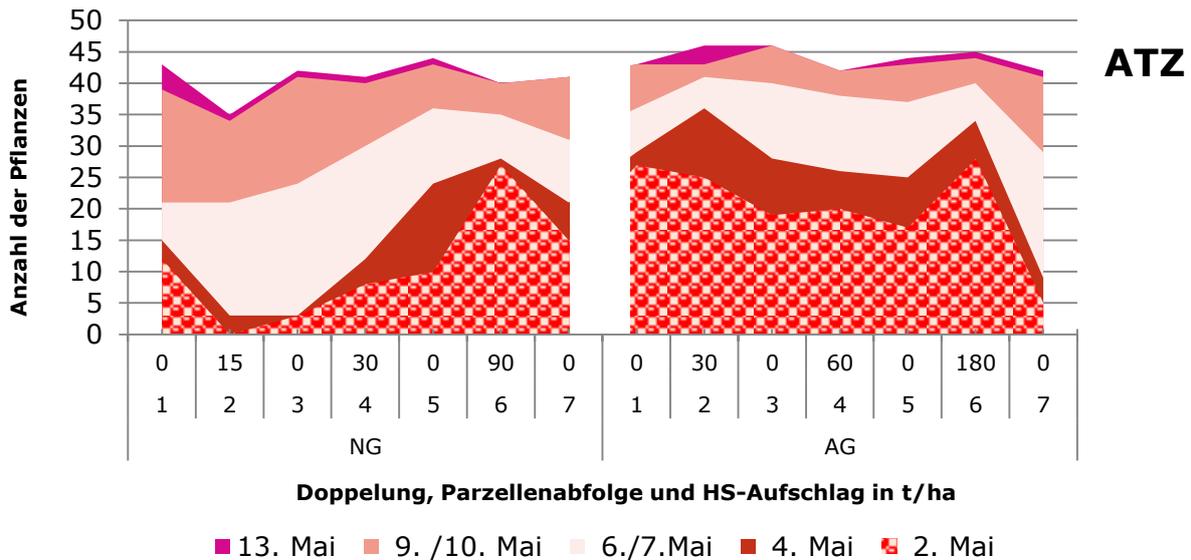


**ABBILDUNG 18: EINFLUSS EINER EIN- UND ZWEIMALIGEN, UNTERSCHIEDLICH HOHEN HS-BEAUFCHLAGUNG AUF DEN FELDAUFGANG BEI MAIS (REIHENLÄNGE: ZEHN METER) ZU ZWEI ZEITPUNKTEN, STANDORT TULLN, 2011**

Die *Abbildung 18* zeigt, dass es am Standort TULLN bei Beginn des Feldaufganges zum Teil zu Unterschieden im Aufwuchs kam, und diese sich bereits bis zum 2. Mai wieder ausgeglichen hatten.

**Einmalige vs. zweimalige Beaufschlagung** Die zweimalig beaufschlagten Varianten (AG) wiesen beim ersten Termin einen moderat (60 t/ha) bis eindeutig (30 und 180 t/ha) **verringerten** Aufgang auf. Dieser Unterschied war bereits beim zweiten Bonitierungstermin nicht mehr sichtbar. Es ist keine Beziehung zur HS-Menge erkennbar.

Auf den Parzellen, die einmalig beaufschlagt wurden (NG), war das Ergebnis der Erstzählung differenzierter: von geringerem Aufwuchs (90 t/ha) über gleichen (15 t/ha) bis zu höherem (30 t/ha) Aufwuchs. Am 2. Mai gab es überall annähernd gleich viele Pflanzen. Die HS-beaufschlagten Parzellen zeigten eine sanfte Tendenz zu mehr Keimpflanzen.



**ABBILDUNG 19: EINFLUSS EINER EIN- UND ZWEIMALIGEN, UNTERSCHIEDLICH HOHEN HS-BEAUFSCHLAGUNG AUF DEN FELDAUFGANG BEI MAIS (REIHENLÄNGE: ZEHN METER) ZU FÜNF ZEITPUNKTEN, STANDORT ATZ, 2011.**

Abbildung 19 zeigt, dass der Aufgang am Standort ATZ zum spätesten Zeitpunkt, 12. Mai, gleichmäßiger war als zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Zählung. Die beaufschlagten Parzellen zeigten in den ersten Zähldurchgängen durchgehend eine **höhere** Anzahl aufgelaufener Pflanzen als die Standardparzellen. Eine Beziehung zur HS-Aufschlagsmenge war dabei nicht linear erkennbar.

**Einmalige vs. zweimalige Beaufschlagung** Die HS-beaufschlagten Parzellen die im Jahr 2010 nochmals beaufschlagt wurden (AG), zeigten den Effekt des früheren Aufgangs etwas länger als die HS-beaufschlagten Parzellen, deren Beaufschlagung schon länger zurücklag (NG).

Weiters näherte sich die Anzahl der aufgegangenen Pflanzen bis zum 13. Mai auf allen Parzellen an, aber die am 13. Mai bestehende Tendenz unterscheidet sich zwischen den Doppelungsvarianten in ihrer Ausformung. Die HS-beaufschlagten Parzellen der NG-Parzellen wiesen eine leicht geringere Anzahl aufgegangener Pflanzen auf. Die HS-beaufschlagten Parzellen der AG-Parzellen wiesen dies nur in einer der drei HS-Varianten auf.

**Auf beiden Standorten ergaben sich in den ersten Zähldurchgängen Unterschiede, die sich nachfolgend verringerten.** Auf beiden Standorten zeigten die Höchstvarianten (90 und 180 t/ha) die höchsten Abweichungen. Auf dem Standort Tulln liefen tendenziell mehr der HS-beeinflussten Samen auf, aber diese ein wenig später als die unbeeinflussten Samen. Auf dem Standort Atzelsdorf liefen tendenziell weniger Samen auf den mit HS beaufschlagten Varianten als auf den Standardparzellen auf, jedoch zeigten die HS-Varianten zu Beginn eine höhere Anzahl an Keimpflanzen.

#### 4.2.1 - II. MAISAUFGANG – WUCHSHÖHE

##### Standort TULLN

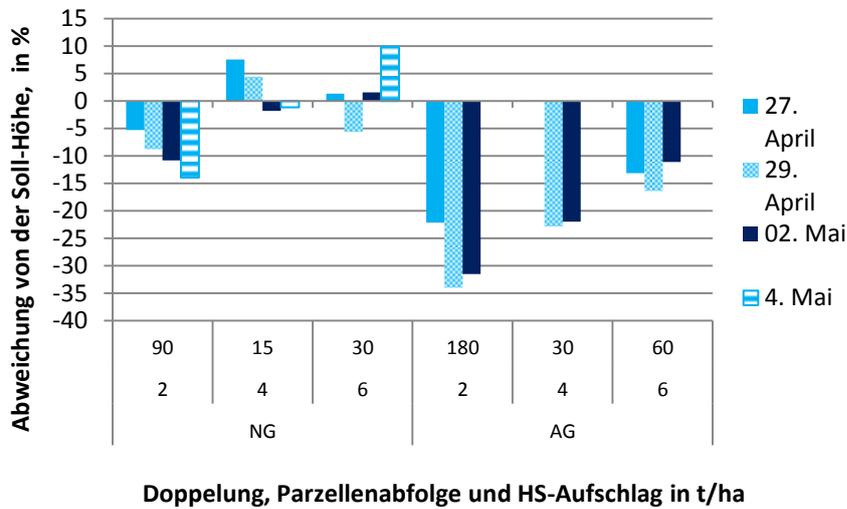


ABBILDUNG 20:

EINFLUSS EINER EINMALIGEN (NG) UND ZWEIMALIGEN (AG) UNTERSCHIEDLICHEN HS-BEAUFSCHLAGUNG AUF DIE HÖHE DER GEKEIMTEN MAISPFLANZEN DES STANDORTES TULLN IM JAHR 2011. DARSTELLUNG ALS PROZENTUELLE ABWEICHUNG VOM AUS DEN FLANKIERENDEN STANDARDPARZELLEN INTERPOLIERTEN SOLL-WERT (THEORETISCHEM WERT).

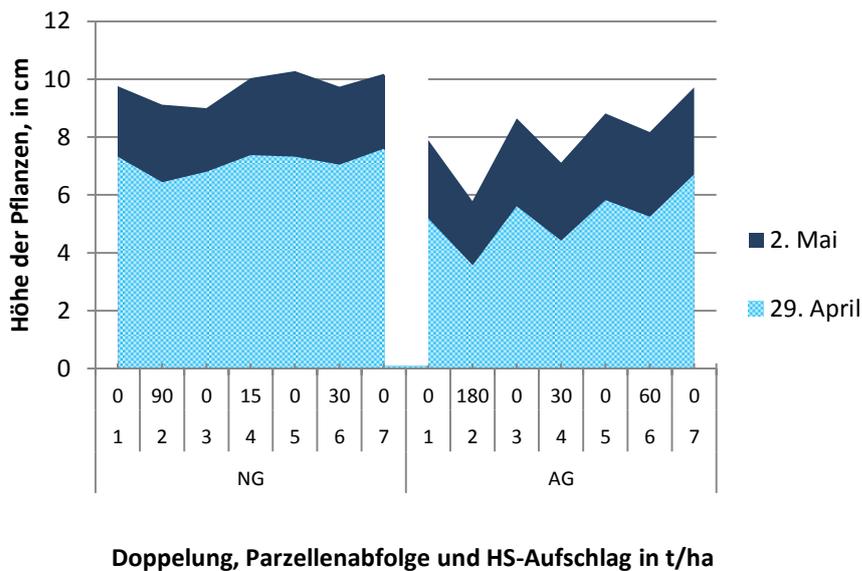


ABBILDUNG 21:

EINFLUSS EINER EINMALIGEN (NG) UND ZWEIMALIGEN (AG) UNTERSCHIEDLICHEN HS-BEAUFSCHLAGUNG AUF DIE HÖHE DER GEKEIMTEN MAISPFLANZEN DES STANDORTES TULLN IM JAHR 2011.

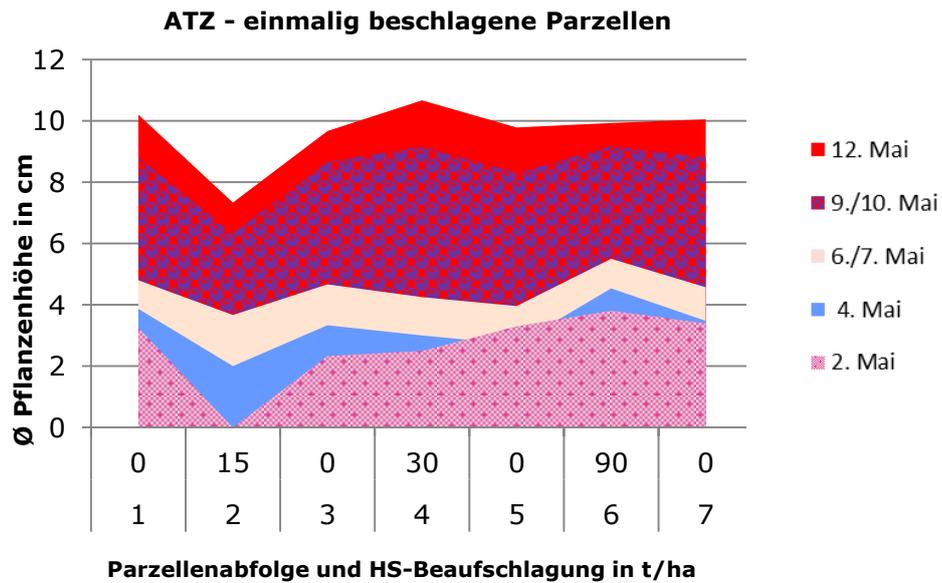
Aus der *Abbildung 20* ist ersichtlich, dass nur die Pflanzen von zweien der mit Hackschnitzeln beaufschlagten Parzellen mit einem erhöhten Wuchs von ihren Soll-Werten abweichen. Dies sind die zwei Parzellen mit der geringsten Beaufschlagungsmenge bzw. dem größten zeitlichen Abstand der Aufbringung zur Vegetationsperiode 2011 (NG: Ausbringung im Jahr 2008). Die prozentuelle Abweichung dieser zwei Parzellen soll aufgrund ihrer Geringfügigkeit und Inkonsistenz jedoch nicht überbewertet werden.

**Einmalige vs. zweimalige Beaufschlagung** Die Pflanzen der zweimalig beaufschlagten Parzellen (AG), daher mit den „frischeren“ Hackschnitzeln, zeigen in der *Abbildung 20* durchgehend eine höhere Abweichung vom Soll-Wert als die Parzellen der nicht

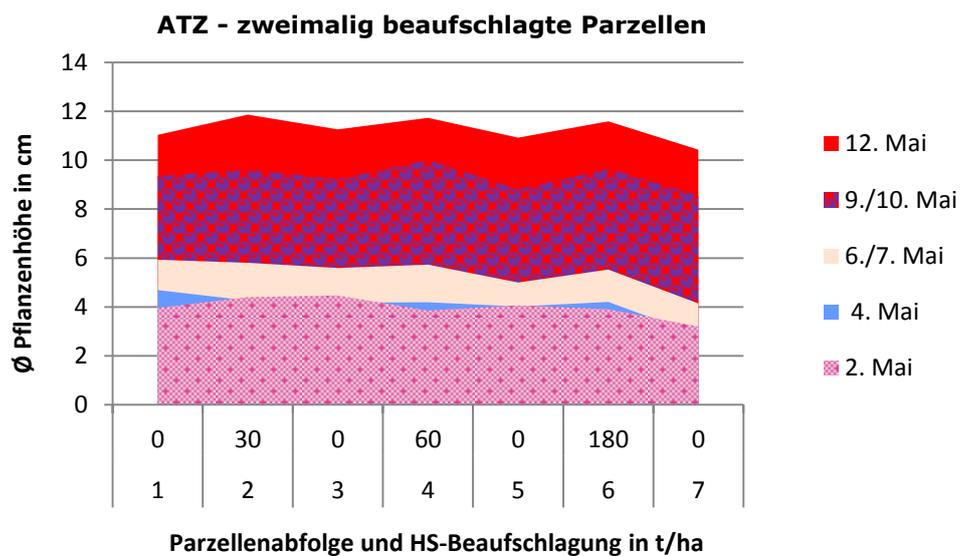
gedoppelten Seite. Dieser Unterschied beläuft sich im Falle der 180t-Variante auf bis zu 2 cm (Abbildung 21).

**Linearität gemäß Aufschlag** Obwohl die Richtung der Abweichung konsistent ist, folgt sie in ihrer Höhe nicht der Aufschlagsmenge.

### Standort ATZ



**ABBILDUNG 22: HÖHE DER MAISPFLANZEN DER UNAUFGEDOPPELTEN VARIANTEN AUF DEM STANDORT ATZ, 2011.**



**ABBILDUNG 23: HÖHE DER MAISPFLANZEN DER AUFGEDOPPELTEN VARIANTEN AUF DEM STANDORT ATZ, 2011.**

Die Auswirkung der Hackschnitzel auf die Höhe der Maispflanzen variierte auf dem Standort Atzelsdorf. Mit Ausnahme der Parzelle 2, mit 15 t/ha, (*Abbildung 23*) ließ sich jedoch ein Trend erhöhter Wuchshöhe feststellen.

**Einmalige vs. zweimalige Beaufschlagung** Mit Ausnahme der bereits erwähnten Parzelle zeigt sich der bisherigen Dauer der Hackschnitzel auf den Parzellen entsprechend kein großer Unterschied zwischen den Parzellen.

**Linearität gemäß Aufschlag** Die drei höchsten Beaufschlagungsmengen (60, 90 und 180 t/ha) zeigten ab der ersten Messung leicht erhöhte Wuchshöhen, während die zwei 30t-Varianten diese Abweichung erst später ausformten. Die Höhe der Abweichung steht nicht in Zusammenhang mit der Höhe der aufgebrauchten Hackschnitzelmenge. Die Abweichung der 15t-Variante wird mit Blick auf die Lage und andere Werte dieser Parzelle als eher HS-unbeeinflusst angenommen.

**Die zwei Standorte zeigen unterschiedliche Reaktionen sowohl in der Richtung der Abweichung** (TULLN: tendentiell verminderte Wuchshöhe, ATZ: tendentiell erhöhte Wuchshöhe) **als auch in der Auswirkung der Einwirkungszeit der Hackschnitzel auf den Boden.**

#### 4.2.1 - III. FRISCHGEWICHT DES JUNGMAISES

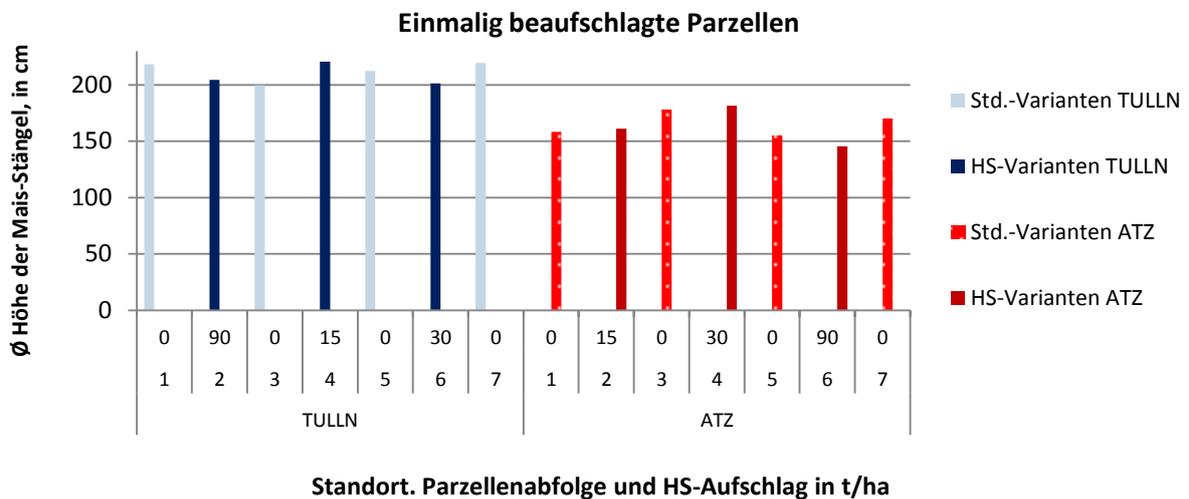
**TABELLE 28: FRISCHGEWICHT (IN G/PFLANZE) DER MAISPFLANZEN AN DEN STANDORTEN TULLN UND ATZ, IM MAI 2011.**

HS-Aufschlag in t/ha		TULLN	ATZ
		Frischgewicht in g/Pflanze	
NG	0	5,9	5,5
	15	6,6	5,6
	30	6,9	6,6
	90	3,1	6,3
AG	0	5,1	6,0
	30	2,8	11,8
	60	3,3	7,1
	180	0,5	6,3

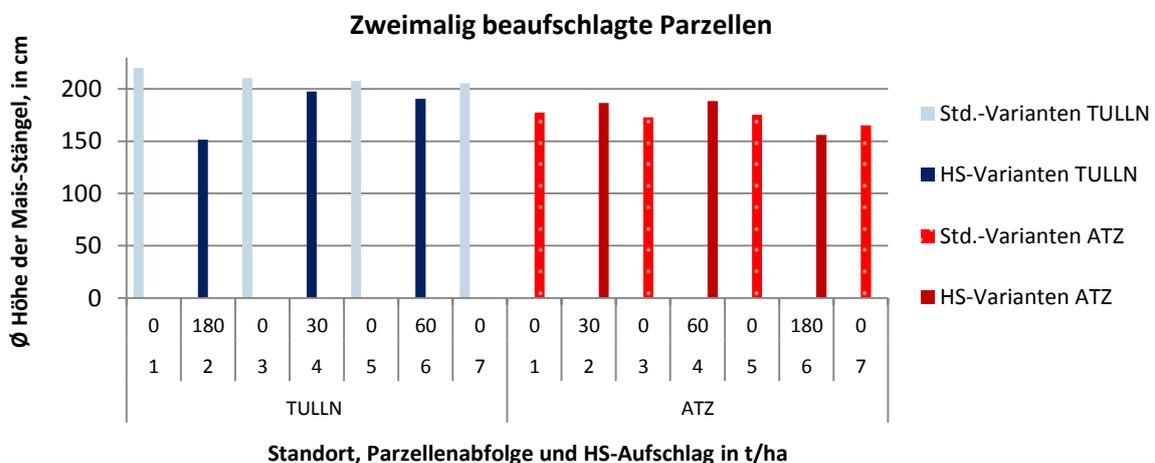
Anm.: Die graue Farbe markiert lediglich abweichende Werte, keine Signifikanzen.

#### 4.2.1 - IV. WUCHSHÖHE ZUR ZEIT DER BLÜTE

Aus den *Abbildungen 24 und 25* sind die Wuchshöhen der Maispflanzen zur Zeit der Blüte ersichtlich.



**ABBILDUNG 24: EINFLUSS UNTERSCHIEDLICH HOHER BEAUFSCHLAGUNG MIT HACKSCHNITZELN AUF DIE WUCHSHÖHE VON MAIS (IN CM), STANDORTE TULLN UND ATZ, 2011.**



**ABBILDUNG 25: EINFLUSS EINER ZWEIMALIGEN, UNTERSCHIEDLICH HOHEN BEAUFSCHLAGUNG MIT HACKSCHNITZELN AUF DIE WUCHSHÖHE VON MAIS (IN CM), STANDORTE TULLN UND ATZ, 2011.**

Die Differenzen in der Wuchshöhe waren zwischen den HS-beaufschlagten Parzellen und den nicht beaufschlagten Parzellen allgemein gering, und in der Richtung weder standortübergreifend noch innerhalb eines Standortes konsistent. Die Ausnahme bildet die höchstbeaufschlagte Variante (180 t/ha) auf dem Standort TULLN. Die Pflanzen dieser Parzelle wiesen mit einer durchschnittlichen Höhe von 150 cm einen deutlichen Unterschied zu den Wuchshöhen bei den übrigen Varianten ( $\pm 200$  cm) auf.

#### 4.2.1 - V. STICKSTOFFGEHALT IN DER MILCHREIFE

**TABELLE 29: MIT EINEM HYDRO-N-TESTER GEMESSENE BLATTFARBENWERTE DER MAISPFLANZEN AUF DEN STANDORTEN TULLN UND ATZ, IM STADIUM DER MILCHREIFE, 2011.**

		Korrigierter Hydro-N-Tester-Wert (dimensionslos)		
	HS-Aufschlag in t/ha	TULLN	ATZ	
Oberstes Blatt	NG	0	707,2	629,1
		15	738,3	617,8
		30	707,4	585,8
		90	742,1	472,1***
	AG	0	677,6	620,5
		30	700,7	605,6
		60	683,0	574,3
		180	656,4	429,3***
Unteres Blatt	NG	0	743,8	
		15	758,8	
		30	730,1	
		90	770,0	
	AG	0	715,3	
		30	717,0	
		60	708,8	
		180	736,2	

Zur hochsignifikanten Auswirkung der HS-Ausbringung in den zwei höchsten Mengen auf dem Standort Atzelsdorf ist anzumerken, dass sich diese wahrscheinlich ebenfalls am Standort Tulln gezeigt hätten. Am Standort Tulln wurde jedoch in Anbetracht der erkennbaren Wachstumsdepression der Varianten mit 90 und 180 t/ha (siehe *Abbildung 27*, Kapitel 0) Mitte Mai eine zusätzliche Stickstoffdüngung vorgenommen.

Dass sich für die geringer beaufschlagten Varianten keine signifikanten Veränderungen in der Stickstoffversorgung ergaben, deckt sich mit der Studie von TAHBOUB et al. (2008), die nach dreijähriger Einarbeitung von HS bis zu einer Menge von 18 t/ha ebenfalls keinen Effekt auf den pflanzenverfügbaren Stickstoffgehalt fanden.

Die Werte der 30t- und 60t-Varianten zeigen den Übergang zur N-Sperre: es ist eine Tendenz zur geringeren Stickstoffversorgung erkennbar.

#### 4.2.1 - VI. UNKRAUTBESATZ, 2011

Die Auswirkung der Hackschnitzel auf den Unkrautbesatz wurde nicht systematisch erfasst. Das Erscheinungsbild der Parzellen im Frühjahr 2011 stellte einen Unterschied im Unkrautbesatz aber außer Zweifel. In *Abbildung 26* ist farblich die mit 180 t/ha beaufschlagte Parzelle erkennbar; im Gegensatz zu den umschließenden Parzellen, die ein grünes Gesamtbild präsentieren, scheint diese Parzelle braun auf.



**ABBILDUNG 26: VERRINGERTER UNKRAUTBESATZ AUF DER VARIANTE MIT EINER HACKSCHNITZELBEAUFSCHLAGUNG VON 180 T/HA, STANDORT TULLN, 2011.** Sicht auf den Standort TULLN. im Vordergrund steht, quer zur Sichtweise, der Streifen 1 (Standardparzelle), gefolgt vom Streifen 2 (180 t/ha rechts, 90 t/ha links) und der weiteren Streifenabfolge. Die 180t-Variante ist durch den großflächig minderen Unkrautbesatz an seiner braunen Färbung erkennbar. Diese braune Fläche ist zu den flankierenden Standardparzellen abgegrenzt und verläuft sich nach links in die 90t-Variante, die nur mehr eine tendenzielle Farbabweichung aufweist. (PAMMER, FRÜHJAHR 2011)

#### 4.2.2 AUSWIRKUNG DER HACKSCHNITZEL AUF KENNWERTE DER ERTRAGSBILDUNG UND DES ERTRAGS

##### 4.2.2 - I. GETREIDE, 2010

Die HS-Ausbringung zeigte wenig Einfluss auf die erhobenen Parameter im Getreide, Hauptfrucht des Jahres 2010 (TULLN: Triticale, ATZ: Winterweizen). Die Hackschnitzelausbringung ergab nur auf zwei Parameter einen statistisch signifikanten Einfluss:

- Das C:N-Verhältnis des Strohs (ATZ): die Halme aller Varianten ergaben ein signifikant engeres C:N-Verhältnis als jene der Standardparzellen.
- Die Halmlänge (TULLN): die 90t-Variante wies eine verminderte Höhe des Getreides von 87 cm vor (zu 97 cm auf den Standard-Varianten).

**TABELLE 30: PARAMETER DES ERTRAGES UND DER ERTRAGSBILDUNG DES GETREIDES DER STANDORTE TULLN UND ATZ, 2010.**

	HS-Aufschlag in t/ha	Gesamtgewicht (Ähren und Stroh) in g/m <sup>2</sup>	Anzahl Ähren tragender Halme/m <sup>2</sup>	Ährengewicht in g/m <sup>2</sup>	Gewicht/Ähre	Korngewicht in g/m <sup>2</sup>	1000-Korn-Masse in g	Reststrohgewicht in g/m <sup>2</sup>	Halmlänge in cm	C:N-Verhältnis des Strohs
<b>TULLN</b>	0	1507	435	863	2	675	34,9	649	96,6	182
	15	1192	367	702	1,9	547	34,7	494	97,4	195
	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	90	1187	356	704	2	559	40,6	481	87,1*	269
<b>ATZ</b>	0	-	-	-	-	-	40,6	539	80,1	188
	15	-	-	-	-	-	42,5	490	78,4	154*
	30	-	-	-	-	-	42,8	436	80,1	128*
	90	-	-	-	-	-	42,1	402	80,7	101**

Die Halmlänge wird unter anderem von der Bodentemperatur beeinflusst (MAYR, s.a.; KAP. 2.1.2). Dies passiert schon in der Phase der Keimung, jedoch ist die Bodentemperatur auch noch während des Wachstums ausschlaggebend. Geringe Temperaturen verkürzen dabei die Halmlänge. Das Minimum, das für ein Längenwachstum nicht unterschritten werden darf, liegt laut MAYR (s.a.) abhängig von den Getreidearten zwischen 12 bis 18°C.

Die Ergebnisse der Temperatursensoren (im Jahr 2011, bei Mais) zeigten, dass die 90t-Variante eine geringere Temperatur aufwies als z.B. die 30t-Variante, und wechselhaft eine geringfügig niedrigere Temperatur als die Standardparzelle. Der Unterschied zur Standard-Parzelle war nicht sehr ausgeprägt: aber zusammen mit dem Einfluss ungünstiger Temperaturen in der Keimung war neben anderem die Bodentemperatur für das geringere Längenwachstum verantwortlich.

Das C:N-Verhältnis des Strohs der HS-beaufschlagten Parzellen des Standortes ATZ war enger als auf der Standardparzelle.

Ein Jahr nach Ausbringung der Hackschnitzel ist als allfällige Beeinflussung eine Reaktion in die Gegenrichtung erwartbar (vgl. „N-Sperre“, 2.2.4). Ein mit der Beaufschlagungsmenge steigender Stickstoffversorgungsgrad ist auch unter Einbeziehung anderer Studien (vgl. 2.3.1) ein unerwartetes Ergebnis.

#### **4.2.2 - II. MAIS, 2011**

Während in Atzelsdorf nahezu alle Parameter beeinflusst wurden, zeigte sich auf dem Standort TULLN nur beim C:N-Verhältnis eine signifikante Veränderung.

Ersichtlich war ein HS-Effekt vor allem auf den im Herbst 2010 neuerlich mit HS beaufschlagten Feldern.

- Das C:N-Verhältnis des Strohs: das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff war in den meisten Varianten signifikant weiter als in den Standardparzellen. Das Verhältnis wurde mit dem zeitlichen Abstand zur HS-Ausbringung jedoch enger und erreichte in der 15t- und der 30t-Variante der Ausbringung 2008 (TULLN) sogar eine signifikante Abweichung in diese Richtung (66,9 bzw. 65,3 zu einem Standardflächen-Wert von 71,9).
- Erntemasse: nur die 180t-Variante des Standortes ATZ ergab eine signifikante Verminderung des Gesamtertrages (dt/ha). Diese Verminderung basierte auf einer signifikant verringerten Anzahl an Kolben, einem signifikant verringertem Gewicht der Kolben, und einem signifikant verringertem Gewicht der Stängel.

**TABELLE 31: PARAMETER DES ERTRAGES UND DER ERTRAGSBILDUNG DES MAISES DER STANDORTE TULLN UND ATZ, 2011.**

	HS-Aufschlag in t/ha	Gesamtgewicht in dt/ha	Gewicht: von 50 Pflanzen, in kg	Anzahl: Kolben von 50 Pflanzen, in Stk.	Gewicht: von 50 Kolben, in kg	Gewicht: Korn (TM) von 50 Pflanzen, in kg	Grav. Wassergehalt: Maiskorn, in % der FM	Gewicht: von 10 Stängeln, in kg	C:N-Verhältnis des Strohs	Wassergehalt: Stroh, in % der FM	
<b>TULLN</b>	<b>NG</b>	0	460	33,1	53,6	12,4	7,7	29,5	4,1	71,9	62,8
		15	473	31,9	50,1	12,9	7,7	27,7	4	66,9*	62,2
		30	407	30,6	53,4	12,3	7,6	28,1	3,3	65,3*	55,4
		90	439	34,4	53,1	13,3	8,2	29,9	4,4	77,8*	65,6
	<b>AG</b>	0	477	33,6	52,8	12,8	7,6	29,2	4	71,9	61,5
		30	461	33,3	54,3	12,1	8,3	29,5	3,8	96,7**	60,2
		60	464	32,8	54	12,1	7,4	28,7	4	74,9	56,2
		180	378	28,5	50	12,4	6,3	31,6	3,8	77,1*	67,5
<b>ATZ</b>	<b>NG</b>	0	606	52,71	58	15,2	5,6	46,9	7,6	71,1	75,9
		15	572	52,8	60,3	14,6	5	45,8	7,5	84,8**	79,9
		30	576	45,1	54,8	14,7	5,6	44,4	6	78,9*	75,2
		90	478	44,2	57,3	14,2	5,9	45,4	6	86,0**	75,6
	<b>AG</b>	0	646	56,4	59,8	15,4	5,7	48,6	8,2	71,1	79,3
		30	629	52	55,3	15,5	5,4	45,4	8,4	78	78,3
		60	580	48,4*	55,5	14,9	4,3	44,4	6,1*	90,7*	75,9
		180	398**	33,4**	51,3*	12,8**	5,9	47	4,4**	82,4*	77,3

## 5. CONCLUSIO

Die Aufbringung von 90 t Hackschnitzeln pro Hektar führte bereits nach einem, bzw. nach zwei Wintern, zu einer signifikanten Erhöhung des Humusgehaltes. Die Menge der noch vorhandenen Masse an grobem organischen Material (weitgehend unzersetzten Hackschnitzeln) lässt mit ihren Ergebnissen darauf schließen, dass sich der Humusgehalt, vor allem auf dem Atzelsdorfer Standort, in den kommenden Jahren noch weiter erhöhen wird. Die Beaufschlagung erfolgte auf dem Standort ATZ im Jahr 2009 (TULLN: 2008), daher lag am Standort ATZ im Vergleich zum Standort TULLN mehr an unzersetztem Material vor. Die 90t-Variante dieses Standortes weist aber bereits eine stärkere Erhöhung im Humusgehalt vor als die Parzellen am Standort TULLN. Das könnte an den unterschiedlichen Voraussetzungen der Standorte liegen, oder auch an der hohen Schwankungsbreite von Bodenmessungen.

Die geringeren Beaufschlagungsmengen (15 und 30 t/ha) wirkten sich (noch) nicht auf den Humusgehalt aus. Dieses Ergebnis deckt sich nicht mit den Ergebnissen der Versuche von TAHBOUB et al. (2008) und FREE (1971), die signifikante Erhöhungen der organischen Substanz des Bodens schon bei Holzmengen 18 t/ha respektive bis 49 t/ha konstatierten. LUNT (1955) hingegen fand ebenfalls nur eine „bescheidene“ Wirkung auf den Boden.

Parallel zu den Ergebnissen des Humusgehalts finden sich bei den weiteren Erhebungen bodenphysikalischer und -chemischer Kennzahlen nennenswerte Ergebnisse v.a. im Bereich der hohen Beaufschlagungsmengen von 90 und 180 t/ha.

Die Messung der Bodenfeuchte ergab einen höheren Feuchtegehalt dieser Varianten, die Infiltrationsrate wurde in der Tendenz erhöht, und die Temperatur des Bodens der 90t-Variante des Atzelsdorfer Standortes (die 180t-Variante wurde nicht beprobt) lag ebenso wie bei der 30t-Variante des Tullner Standortes um 1-2°C höher. Eine Temperaturänderung kann durch eine Gefügeänderung, Farbänderung, oder Feuchteänderung des Bodens entstehen (BAUEMER, 1992). Da sich die Bodenfarbe des Standortes Tulln tendenziell verdunkelte, könnte das Ausbleiben einer höheren Bodentemperatur der 90t-Variante dieses Standortes auf die höhere Feuchtigkeit zurückzuführen sein. Diese ist höher als die Feuchtigkeit der äquivalenten Variante des Standortes Atzelsdorf. Der indirekte Rückschluss auf die Oberboden-Frühjahrstemperatur über pflanzliche Parameter deutet ebenfalls an, dass die 90t-Variante des Standortes Tulln kälter war als die Vergleichsparzellen.

Die Messung des Eindringwiderstandes ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. FREE (1971) führt dazu an, dass Gefügeänderungen seinen eigenen Beobachtungen entsprechend auf Standorten mit <2% Humus etwas länger warten lassen. Diese 2% entsprechen in etwa dem Humusniveau der Standorte TULLN und ATZ. Die Ergebnisse von GROSBELLET et al. (2011) stützen diese Beobachtung: zerfallende

organische Partikel legten sich als feiner Film an bereits existierende Aggregate an, welcher diese damit vor Zersetzung bewahre. Die Ansicht, gemäß der die organischen Partikel (durch ihre Kreation von mikrobiologischen Aktivitäts-Hot-Spots) eine Bindung mineralischer Bodenpartikel an den groben OM-Partikeln hervorrufen, wäre damit nur ein Teil der komplexen Interaktionen in der Gefügeentstehung und -stabilisierung. Eine Beobachtung der weiteren Entwicklung der Versuchsanlagen in Tulln und Atzelsdorf könnte somit verzögerte Effekte aufdecken.

Durch die langsame und schwere Zersetzbarkeit des Ausgangsmaterials Holz (Lignin) wird außerdem auch aus anderen Gründen mit einer verzögerten Strukturveränderung gerechnet: es wird nicht die gleiche Menge an aggregierenden Substanzen (Polysacchariden, Lipiden, Schleimen...) geformt wie unter einer Zugabe leicht metabolisierbarer Kohlenstoffe (TAHBOUB et al., 2008).

Dem gleichen Grund werden auch Beobachtungen einer lediglich geringen, bis nicht vorhandenen, N-Sperre durch die Ausbringung holzigen Materials zugeschrieben (BEECK et al., 2006; vgl. 2.2.4). Eine Verknappung an Stickstoff findet sich allerdings in den C:N-Verhältnissen des Maisstrohs sowie zuvor bereits teilweise zur Zeit der Milchreife, im Stickstoffgehalt der Maisblätter. Das Getreidestroh zeigte keine Verknappung des Stickstoffs an, sondern teilweise eine Verengung des C:N-Verhältnisses des Strohs HS-beaufschlagter Varianten. Schon FREE (1971) fand, dass die Auswirkungen von Holz auf die Stickstoffversorgung stark kulturabhängig sind. Jedoch ist aus keinem der in KAP. 2.2.4 angeführten Mechanismen die teilweise vorhandene Erhöhung der Stickstoffversorgung erklärbar. Die Verengung des C:N-Verhältnisses betrifft dabei hauptsächlich das Getreidestroh, und nur in zwei Fällen – beide auf dem Standort TULLN, das Maisstroh.

Die Parameter des Ertrages zeigen, dass die Maispflanzen der HS-beaufschlagten Varianten des Standortes TULLN in diesen Kennzahlen trotz ihres ursprünglichen Entwicklungsrückstandes (vgl. 4.2.1 und *Abbildung 27*) keine signifikanten Unterschiede mehr aufwiesen.

Da auf dem Standort ATZ auf den äquivalenten Varianten signifikante Unterschiede auftraten, ist dies auf die zusätzliche Stickstoff-Düngung zurückzuführen, die Mitte Mai auf dem Standort TULLN vorgenommen wurde (Erhöhung auf insgesamt 150 kg N/ha). Die erfolgreich ausgleichende Wirkung der zweiten Stickstoffdüngung am Standort TULLN lässt außerdem vermuten, dass es zu keinem (unüberwindbaren) negativen Einfluss der Gerbstoffe des Holzmaterials gekommen war.<sup>9</sup> Ursache des vegetativen Rückstandes könnte jedoch schon eine Kombination von Stickstoffmangel und Gerbstoffwirkung sein, welcher in Folge nicht nur durch die Eliminierung der Stickstoffsperre, sondern auch des Einsetzens sonstiger förderlicher Umstände (wie zB. erhöhter Bodenfeuchte), kompensiert wurde.

---

<sup>9</sup> Anm.: Der ursprüngliche Gerbstoffgehalt des verwendeten Hackgutes ist nicht bekannt (vgl. Kap. 2.2.5 - I).



**ABBILDUNG 27: MAISPLANZEN EINER STANDARD-VARIANTE (LINKS) UND DER MIT 90 T/HA BEAUFSCHLAGTEN VARIANTE (HACKSCHNITZEL) DES STANDORTES TULLN, 19. MAI 2011.**  
(PAMMER 2011)

Die Unkrautentwicklung auf den betroffenen Parzellen wurde ebenfalls beeinträchtigt. Der Unkrautbesatz wurde nicht näher quantifiziert und auch nicht qualifiziert. Untersuchungen in diese Richtung könnten vielleicht Aufschluss darüber geben ob die vorhandenen bzw. abwesenden Arten eine Mangelwirkung an Stickstoff wahrscheinlich erscheinen lassen, oder ob die Wirkung auf unbekannter Inhibitoren (Gerbstoffen) zurückzuführen ist.

Trotz fehlender statistischer Signifikanzen zeigt sich eine ertragsvermindernde Tendenz: diese bewegt sich jedoch außerhalb der statistischen Absicherung und nur bei den praxisfernen Höchstbeaufschlagungsmengen (90 und 180 t/ha) in ökonomisch relevantem Rahmen; 90t-Variante: approximativ -50 €/ha bei einem Triticale-Preis von 110 €/t.

Die Frage der Reproduzierbarkeit der auf gewissen Feldern beobachteten Veränderungen des Bodens (Kapitel 1, *Abbildung 1* und *Abbildung 4*) bleibt mit den derzeit vorliegenden Ergebnissen offen. Die Hackschnitzelbeaufschlagung bewirkte bereits Veränderungen. Ob diese ein Ausmaß erreichen, das den anfänglichen Beobachtungsfeldern entspricht, ist nicht abschätzbar. Bei diesen Beobachtungsfeldern ist nicht bekannt, welche Menge an organischem Material mit dem Holzmaterial auf diese Felder aufgebracht wurde. Der derzeitige zeitliche Rahmen der Versuchsanlagen Tulln und Atzelsdorf - zwei bis drei Jahre - entspricht noch nicht der Zeitdauer, in dem die Auswirkungen der Beaufschlagung auf den Beobachtungsfeldern wahrgenommen wurden (5-7 Jahre).

## **Conclusio Kurzfassung**

Die Ausbringung von Hackschnitzeln zeigt drei Jahre nach Erstaubringung Ansätze einer Strukturveränderung. Die noch vorliegende Oberflächenbedeckung scheint bei den höheren Ausbringungsvarianten immer noch angemessen den Wasserfluss auf der Oberfläche zu verlangsamen/die Wassererosion zu vermindern.

Kornertragsverminderungen bei Mais, Winterweizen und Triticale erfolgten bei Aufbringungsmengen bis zu 180 t/ha nicht, bzw. nur in geringem Umfang. Zusätzliche N-Gaben waren nur bei extrem hohen Ausbringungsmengen (90 – 180 t/ha) erforderlich.

Die Oberbodentemperatur erhöht sich tendenziell, während die Bodenfeuchte je nach Standort unterschiedlich beeinflusst wird.

Positive Effekte sind bei Betrachtung des vom System Boden bekannten Wissens zu erwarten. Verschiedenste Studien zum Thema der landwirtschaftlichen Einbringung von Hackschnitzeln in den Boden weisen diese positiven Effekte nach (2.3.1.). Der kultur- und standortabhängigen Bedarf an zusätzlicher Stickstoffdüngung muss dabei berücksichtigt werden (Kapitel 0).

Bei einer Betonung der meliorativen Wirkung der Hackschnitzel auf den Boden ist auf Einschränkungen der Sinnhaftigkeit dieser Art von Bodenmelioration hinzuweisen (Kapitel 2.2.5 - II und 2.3.2).

Zur Absicherung der vorliegenden Ergebnisse sind weiterführende Erhebungen erforderlich.



## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Beurteilung der bei Einbringung unterschiedlich hoher Mengen an Hackschnitzeln in Böden entstehenden Auswirkungen auf Boden und Fruchtarten wurden im Raum Tulln im Jahr 2008 Feldversuche angelegt. Veränderungen auf einem naheliegenden Beobachtungsfeld durch Aufbringung von Restholz aus der Kompostsiebung führten zur Errichtung dieser Feldversuche. Die Beobachtungen waren zum einen die einer merkbaren Veränderung in der Vegetation eines Wiesenstückes, fünf bis sieben Jahre nach Ausbringung. Zum anderen wies ein beaufschlagter Acker nach einem Regenfall weniger Erosionsspuren auf als ein benachbartes Feld. Die beobachteten Effekte gingen über Veränderungen, die durch eine Aufbringung organischen Materials erwartbar wären, hinaus.

Zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurden in den Jahren 2008 und 2009 Exaktversuche auf zwei Standorten (eine Ebene in Tulln, ein Hang in Atzelsdorf) angelegt. Auf Langparzellen wurden unterschiedliche Mengen an Hackschnitzel aufgebracht (15, 2 x 30, 60, 90 und 180 t/ha). Beurteilt wurden die Auswirkungen im Jahr 2010 bei Triticale (Tulln) und Winterweizen (Atzelsdorf). Im Jahr 2011 wurde bei Mais der Wachstums- und Entwicklungsverlauf sowie der Ertrag beurteilt. Die Veränderungen im Boden wurden anhand mehrerer bodenphysikalischer und -chemischer Parameter im Herbst 2010 und im Frühjahr 2011 untersucht.

Die aus der Versuchsanlage erzielten Ergebnisse zeigen, dass Bodenveränderungen bereits zwei bis drei Jahre nach Aufbringung des Holzes in messbarer Größenordnung erfolgten. Weiters zeigte der aktuelle Verrottungsgrad, dass es in den nachfolgenden Jahren noch zu stärkeren Veränderungen kommen wird. Negative Einflüsse im Wachstumsverlauf und im Ertrag waren nicht vorhanden bis gering. Die Ausnahme bildet Variante mit einer Hackschnitzelbeaufschlagungsmenge von 180 t/ha. Eine ausgleichende Stickstoffdüngung vermindert die Ertragsbeeinträchtigung.

Das Ausbleiben deutlich negativer Effekte auf die Fruchtarten, sowie das Eintreten positiver Bodeneffekte wird auch durch, insgesamt spärlich vorhandene, Literaturergebnisse bestätigt.

Soweit der Substratwert des Bodens im Vordergrund steht (in Abgrenzung zur Funktion der Nährstoffnachlieferung) könnte Holz positive Effekte in einer Höhe erzielen, die Ergebnisse mit anderweitigen organischen Materialien übertreffen. Lignin wird zu einem größeren Teil in Huminstoffe umgeformt als andere Kohlenstoff-Ausgangsmaterialien, und diese stellen den im Boden verbleibenden Kohlenstoffpool dar (in Abgrenzung zum über kurz oder lang wieder veratmeten Kohlenstoffpool, dem Nährhumus).

Eine Wassererosion mindernde Wirkung kann über zwei bis drei Jahre erwartet werden. Bei der vorliegenden Hackschnitzelausbringung waren nach zwei bzw. drei Wintern noch immer Hackschnitzel auf der Oberfläche. Im Frühjahr 2012 (nach vier Wintern) war das

allerdings nicht mehr der Fall. Die Hackschnitzel waren nicht über zusätzliche Bearbeitungsgänge eingearbeitet worden, es wurde aber auch nicht auf wendende Bodenbearbeitungsvorgänge verzichtet.

Die Dekompositionscharakteristik von Holz, sowie relevante chemisch-physikalische Charakteristika von Holz und seiner Verrottungsprodukte, wurden aus der Literatur bearbeitet. Möglichkeiten effizienterer Verwendung von Holz als meliorierendem Stoff wurden bedacht, und der Einfluß vorgelagerter energetischer Nutzung (Verbrennung, Torrefikation..) des Holzes auf sein melioratives Potential ebenfalls aus der Literatur bearbeitet. Weitere Aspekte der Sinnhaftigkeit und Praktikabilität der Hackschnitzelausbringung wurden angedacht.

Das meliorative Potential von zuvor energetisch verwendetem Holz ist stark vom Prozess abhängig: Asche verfügt über kein melioratives Potential, Biokohle unter Umständen schon, allerdings verlangt die Unterscheidung des meliorativen Potentials unterschiedlicher Arten von Biokohlen noch weiterführender Erhebungen.

Die ökonomische Sinnhaftigkeit der Ausbringung von Holz auf Äcker unterliegt einer sehr variablen Kosten-Nutzen-Balance. Mit der Errichtung einer Torrefikationsanlage in der Steiermark, in naher Zukunft, und der Entwicklung der 2. Generation von Bio(heiz-/kraft-)werken, die auch mit feuchterem Ausgangsmaterial arbeiten können, wird die ökonomische Absatzkonkurrenz von Holz in Österreich jedoch eher noch stärker als schwächer. In anderen Ländern finden sich jedoch andere Ausgangslagen. Die langfristige Erhaltung oder Steigerung der Bodenfruchtbarkeit eines Bodens durch Nutzung vorhandener Holzmasse scheint plausibel. Ob die auf Beobachtung und Theorie begründeten hohen Erwartungen an die Bodenmelioration begründet sind ist mit dem Tullner Versuch derzeit noch nicht bestätigbar.



## 7. ABSTRACT

Literaturergebnisse legen nahe, dass Holz das Potential zu effektiverem Aufbau dauerhafter Humussubstanz besitzt als organisches Material mit geringerem Verholungsgrad. Für Kohlenstoffsequestrierung und langfristigen Humusaufbau ist das Verhältnis dieses Dauerhumus zum Nährhumus von Bedeutung. Gerbstoffe und der geringe Stickstoffgehalt des Holzes könnten jedoch zu (kurzfristigen) negativen Auswirkungen auf die Kulturen führen.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet Ergebnisse einer Versuchsanlage auf zwei Standorten und mit Beaufschlagung von sechs verschiedenen hohen Hackschnitzelmengen (einmalige und zweimalige Beaufschlagung: 15, 30, 90 t/ha und 30, 60, 180 t/ha). Die Hackschnitzel wurden im Herbst 2008 und 2009 ausgebracht, die zweite Beaufschlagung im Herbst 2010 durchgeführt. Im Jahr 2010 wurden bei Triticale und Winterweizen, im Jahr 2011 bei Mais pflanzenbauliche Parameter untersucht, und bodenphysikalische und -chemische Parameter im Jahr 2011. Signifikante Veränderungen gab es in der Bodenfeuchte, der Bodentemperatur und dem Humusgehalt. Wachstums- und Entwicklungsparameter tlw. geringere Abweichungen. Ein signifikanter Einfluss der Hackschnitzel auf den Ertrag und Ertragsbildungsparameter ergab sich nur bei der Variante mit 180 t/ha, auf einem der Standorte, im Jahr 2011 bei Mais (vermindernd). Die Ergebnisse des zweiten Standortes zeigen, dass eine höhere Stickstoffdüngung diesen Effekt aufhebt.

Literature suggests that wood has more potential for the build-up of stable (resident) humus than less lignified organic materials. For the goals of sequestration of carbon and long lasting soil melioration the share of this stable humus is decisive. However, tannins and the low content of wood in nitrogen may produce negative side effects.

This work contains the results of a field experiment with two sites and six different charges of wood chips per hectare (partly applied in one application, partly in two: 15, 30, 90 t/ha and 30, 60, 180 t/ha). The wood chips had been applied in the autumns of 2008 respectively 2009, the second application took place in the autumn of 2010. In 2010 (triticale and winter wheat) and 2011 (maize) several plant-based parameters were evaluated, and in 2011 several soil physical and chemical parameters as well. Significant changes in soil moisture, soil temperature and humus content prove beginning effects of the chips on the soil. The plant parameters show small effects of the chips on the plants, but a significant impact on the yield has only formed on the variancy with 180 t/ha, on only one of the two sites, in one year (2011: maize; diminishing). The results of the other site suggest, that heightened nitrogen fertilization would probably eliminate this effect.



## 8. LITERATURVERZEICHNIS

€CO-ECO WORLD MAGAZINE (2011): Röstpellets ersetzen Kohle. Dossier Energietechnik, Ausgabe 11, Dezember.

AUGUSTENBORG C.A., O.T. CARTON, R.P.O. SCHULTE und I.H. SUFFET (2008): Silage Dry-Matter Yield and Nitrogen Response following Land Application of Spent Timber Residue from Out-Wintering Pads to Irish Grassland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 1122–1137.

BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. ISBN 3-8001-2555-2.

BEECK in der, C., R. PUDE, M. BLANKE (2006): Holzhäcksels- und Miscanthusmulch erhalten die Bodenfeuchte und fördern die biologische Bodenaktivität sowie vegetatives und generatives Wachstum junger Apfelbäume. *Erwerbs-Obstbau*, 48: 47-61.

BLUM, W.E.H. (2007): Bodenkunde in Stichworten. 6. Auflage. Stuttgart: Gebr. Borntraeger. ISBN 978-3-443-03117-6.

BMLF (1976): Österreichische Bodenkartierung, Erläuterungen zur Bodenkarte 1:25.000, Kartierungsbereich Tulln, Niederösterreich, KB 28, Wien: BM für Land- und Forstwirtschaft.

BMLFUW (2011): Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien: BMLFUW.

BRUNOTTE, J. (2007): Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis: Bodenerosion mindern, Bodenleben fördern. *Landbauforschung Völkenrode FAL SH 256*, 79-86.

DATENLOGGER-STORE (2012): <http://www.datenlogger-store.de/datenlogger-testo-177-t1.html> (15. März 2012).

DIEPENBROCK, W., G. FISCHBECK, K.-U. HEYLAND, N. KNAUER (1999): Spezieller Pflanzenbau. 3. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.

DIEPENBROCK, W., F. ELLMER, J. LÉON (2005): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Grundwissen Bachelor. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co. ISBN 3-8001-2823-3.

DiGIOVANNI, C., J.R. DISNAR, V. BICHET, M. CAMPY (1998): Sur la présence de matières organiques mésocénozoïques dans des humus actuels (bassin de Chaillexon, Doubs, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Series IIA, Earth and Planetary Science* 326, 553–559. Doi:10.1016/S1251-8050(98)80206-1.

EIJKELKAMP (2011): Penetrologger. M1.06.15.SA.D. Giesbeek.

ERIKSSON, K.-E., R.A. BLANCHETTE, und P. ANDER (1990): *Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components*. New York: Springer Verlag.

ESCHEN, R., S.R. MORTIMER, C.S. LAWSON, R.E. ANDREW, A.J. BROOK, J.M. IGUAL, K. HEDLUND und U. SCHAFFNER (2007): Carbon addition alters vegetation composition on ex-arable fields. *Journal of Applied Ecology* 2007 44, 95–104.

EUR 24099 (2010): Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. JRC and IES. [http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/eussoils\\_docs/other/EUR24099.pdf](http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eussoils_docs/other/EUR24099.pdf) (30. Januar 2012)

FOLTZ, R.B. und N.S. COPELAND (2007): Evaluating the efficacy of wood shreds for mitigating erosion. *Journal of Environmental Management* 90 (2009), 779-785.

- FREE, G.R. (1971): Soil Management for Vegetable Production on Honeoye Soil with Special Reference to the Use of Hardwood-Chips. New York's Food and Life Sciences Bulletin 2, 1-20. Cornell University, Ithaca New York.
- FRIELINGHAUS, M., H. SCHÄFER & B. WINNIGE (1999a): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Beitrag zum Bodenschutz. - In: Seyfarth, W., M. Joschko, J. Rogasik, W. Höhn, J. Augustin & S. Schroetter [Hrsg.]: Bodenökologische und pflanzenbauliche Effekte konservierender Bodenbearbeitung auf sandigen Böden: 105-115; Müncheberg (ZALF) (ZALF-Berichte; 39).
- FRIELINGHAUS, M., D. DEUMLICH, R. FUNK, K. HELMING & B. WINNIGE (1999b): Bodenerosion: Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Hrsg. Geologisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin.
- GAO G., J. YUAN, R. HAN, G. XIN und Z. YANG (2007): Characteristics of the optimum combination of synthetic soils by plant and soil properties used for rock slope restoration. Ecological Engineering 30, 303-311.
- GEISLER, G. (1988): Pflanzenbau. Ein Lehrbuch – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Auflage. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey.
- GISI, U., R. SCHENKER, R. SCHULIN, F.X. STADELMANN, H. STICHER (1990): Bodenökologie. 2. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- GRISMER, M.E. und M.P. HOGAN (2005): Simulated rainfall evaluation of revegetation/mulch erosion control in the Lake Tahoe Basin #3: soil treatment effects. Land Degradation & Development 16, 489-501.
- GROSBELLET, C., L. VIDAL-BEAUDET, V. CAUBEL und S. CHARPENTIER (2011): Improvement of soil structure formation by degradation of coarse organic matter. Geoderma 162, 27–38.
- GUT, D. (1990): Unkrautbekämpfung und Bodenpflege bei Kernobst. Schweiz: Z. Obst- und Weinbau 128:176-183.
- HEAL, O.W., J.M. ANDERSON, M.J. SWIFT (1997): Plant litter quality and decomposition - An historical overview. In G. Cadisch and K.E.Giller (Eds.), Driven by nature: Plant litter quality and Decomposition (pp.3-30). Wallingford, UK: CAB International. Zitiert aus Wolf und Snyder (2003), 22.
- HILDEBREAND, E.E. (1979): Erfassung und Charakterisierung von Polyphenolen als potentielle Wuchshemmstoffe in kompostierten Siedlungsabfällen. Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft 29: 609-622.
- HILLER, D.A. (2007): Bodenerosion durch Wasser Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster.
- HOAGLAND L., L. CARPENTER-BOGGS, D. GRANATSTEIN, M. MAZZOLA, J. SMITH, F. PEREYEA und J. P. REGANOLD (2008): Orchard floor management effects on nitrogen fertility and soil biological activity in a newly established organic apple orchard. Biol. Fertil. Soils 45, 11–18.
- HOLTZ B.A., T. CAESAR TON-THAT und M.V. MCKENRY (2004): Wood chipping almond brush and its effect on soil and petiole nutrients, soil aggregation, water infiltration, and nematode and basidiomycete populations. Options Méditerranéennes, Série A, Numéro 63, 247-254.
- HURLBERT, S.H. (1984): Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs 54 (2) 187-211.
- JANSEN, H., E. BACHTHALER, E. FÖLSTER, und H.-C. SCHARPF (1998): Gärtnerischer Pflanzenbau. 3. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co. ISBN 3-8001-2731-8.
- JHURRY D. (1997): Agricultural Polymers. Food and Agricultural Research Council Réduit, Mauritius, 109-113.
- JOHNSON, D.H. (2006): The many faces of replication. Crop Science, 46, 2486-2491.

KLOB S., F. ZEHETNER, B. WIMMER, A. WATZINGER, S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, B. KITZLER, M. LAUER, und G. SOJA: Auswirkungen von Biokohle auf Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffverfügbarkeit, [http://oebg.boku.ac.at/files/pr\\_sentation\\_\\_bg\\_2011\\_kloss.pdf](http://oebg.boku.ac.at/files/pr_sentation__bg_2011_kloss.pdf) (5.2.2012)

KNAUF, M. (2008): Märkte und Preise. Dossier Holzzentralblatt 22, 595. [http://www.knauf-consulting.de/www/files/hz22\\_seite07.pdf](http://www.knauf-consulting.de/www/files/hz22_seite07.pdf) (27. Jänner 2012)

KNOLL, M. (2000): Rindenmulch zur Unterstockbodenpflege im Weinbau. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

KRAPFENBAUER, A. (1971): Probleme der Verwertung des Abfalls bei der Zentralentründung und Ergebnisse eines Gefäßversuches mit Fichte auf Torf, Rinde und Rindenkompost. Zentralblatt für das ges. Forstwesen 88:1-25.

KROMER, K.-H., E. MOSER, J. RANNERTSHAUSER, P. SCHULZE-HAMMERS und H. SINN (1982): Verwertung von Obstbaum-Schnittholz - Mulchen-Kompostieren-Verheizen. KTBL-Schrift 275, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.

KUBLER, H. (1982): Heat release in thermally disintegrating wood. Wood and Fiber 14 (3): 166-177.

LARNEY, F.J. und F.O. ANDREW, J.J. MILLER, P.R. DeMAERE, F. ZVOMUYA, T.A. McALLISTER (2007): Physical and Chemical Changes during Composting of Wood Chip-Bedded and Straw-Bedded Beef Cattle Feedlot Manure. Journal for Environ. Qual. 37, 725-735.

LOCHOW, J. V. und W. SCHUSTER (1961): Anlage und Auswertung von Feldversuchen. 2. Auflage. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.

LOHMANN, U. (1980): Holzhandbuch. 3. Auflage. Rosenheim: DRW-Verlag.

LUBW (2001): Holzhackschnitzel-Heisanlagen, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

LUNT, H. A. (1955): The Use of Woodchips and Other Wood Fragments as Soil Amendments. Bulletin 593. The Connecticut Agricultural Experiment Station. March 1955.

MAYR, E. (-): Einfluss der Bodentemperatur auf das Halmlängenwachstum bei Getreide. Naturwissenschaftliche med. Verein Innsbruck ([http://www.landmuseum.at/pdf\\_frei\\_remote/BERI\\_51\\_0076-0077.pdf](http://www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/BERI_51_0076-0077.pdf) , 15. Februar 2012)

McLAUGHLIN, H. (2010): Characterizing Biochars prior to addition to soils. <http://terrapreta.bioenergylists.org/files/Characterizing%20Biochars%20-%20Version%20I%20-%20Jan%202010.pdf> (29. Jänner 2012)

MILLER, J.J., N.J. SWEETLAND und F.J. LARNEY (2000): Impact of Fresh Manure and Compost Containing Straw and Wood-Chip Bedding on Soil Physical Properties. Farming for the Future Final Tech. Rep. No. 990071. Alberta Agricultural Research Institute, Edmonton, AB.

MU, H., T. ZHENG, Y. HUANG, Ch. ZHANG, Ch. LIU (2006): Reducing non-point source pollution with enhancing infiltration. Journal of Env. Scs.18, 1, 115-119.

MÜCKENHAUSEN, E. (1985): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. 3. Auflage. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.

ÖNORM L 1079 (2007): Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der organischen Substanz als Glühverlust. 2007 12 01.

PAMMER, R. V. Unveröffentlicht. (2011): Zeolites as soil amendments and their current applicability. An outlook.

PAUL, E.A. (Edt.; 2007): Soil microbiology, ecology, and biochemistry. 3. Auflage. Oxford: Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-546807-7

- RAMESH, K., A.K. BISWAS, J. SOMASUNDARAM und A.S. RAO (2010): Nanoporous zeolites in farming: current status and issues ahead. *Current Science*(Bangalore) 99, 760–764 :
- REHFUESS, K.E. (1990): Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. 2. Auflage. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey. ISBN 3-490-06716-9.
- RUBICK, A. und M. ENGLISCH (2011): Geröstete Biomasse als Heizstoff. SBZ. [http://www.sbz-online.de/gentner.dll/1917-HEIZ-OFI-1\\_MzMxMDY5.PDF](http://www.sbz-online.de/gentner.dll/1917-HEIZ-OFI-1_MzMxMDY5.PDF) (27. Januar 2012)
- SÄCHSISCHES LA FÜR ULG (2012): Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/12339.htm#article12405> (6. Februar 2012)
- SACHWEH, U. (2001): Der Gärtner. Grundlagen des Gartenbaus. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co. ISBN 3-8001-1184-5.
- SANBORN, P., CH. BULMER und D. COOPERSMITH (2004): Use of Wood Waste in Rehabilitation of Landings Constructed on Fine-Textured Soils, Central Interior British Columbia, Canada. *West. J. Appl. For.* 19 (3), 175–183.
- SCHNIEWIND, A. (1989): *Concise Encyclopedia of Wood and Wood-Based Materials*. New York: Pergamo Press plc.
- SCHOLL, P. (2009): Schätzung des Potentials unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme zur Verbesserung der bodenphysikalischen und –hydraulischen Eigenschaften sowie ihrer Ertragswirkung bei Winterweizen im semiariden Produktionsgebiet. Wien: Diplomarbeit am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenschutz der Universität für Bodenkultur.
- SENN, T.L. und A.R. KINGMAN (1973): A Review of Humus und Humic Acids. Research Series #145. Clemson, SC: South Carolina Agricultural Experiment Station. Zitiert aus WOLF UND SNYDER (2003), 26.
- SHANGNING, J. und P.W. UNGER (2001): Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. *Soil Science Society America Journal* 65, 442-448.
- SMOLTCZYK, U. (2001): *Grundbau-Taschenbuch Teil 2: Geotechnische Verfahren*. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH.  
[http://books.google.at/books?id=fsoRubNXJ\\_wC&pg=PA129&lpg=PA129&dq=boden+w%C3%A4rmeeleitf%C3%A4higkeit&source=bl&ots=GfQiy8hOmn&sig=gmy\\_GNALWbFDEcmOd6uYsd5xpK0&hl=de&sa=X&ei=bXYuT-bhNJDxsgbkjZXdDA&ved=0CEYQ6AEwBA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.at/books?id=fsoRubNXJ_wC&pg=PA129&lpg=PA129&dq=boden+w%C3%A4rmeeleitf%C3%A4higkeit&source=bl&ots=GfQiy8hOmn&sig=gmy_GNALWbFDEcmOd6uYsd5xpK0&hl=de&sa=X&ei=bXYuT-bhNJDxsgbkjZXdDA&ved=0CEYQ6AEwBA#v=onepage&q&f=false) (5. Feber 2012)
- SIEGL, S. (2010): *Öko-Strom aus Biomasse*. Wien: Dissertation am Institut für Angewandte Mikrobiologie der Universität für Bodenkultur.
- SPRING, J.-L. (1993): Essai d'entretien du sol sur la ligne d'arbres, résultats intermediaires. *Revue suisse Vitc. Arboric. Hortic.* 25: 353-361.
- SULZBERGER, R. (1994): *Kompost, Erde, Düngung*. München: BLV.
- TAHBOUB, M.B., W.C. LINDEMANN und L. MURRAY (2008): Chemical and Physical Properties of Soil Amended with Pecan Wood Chips. *Hort. Science* 43(3), 891–896.
- THÖLE, H. (2010): Ansätze zur statistischen Auswertung von On-Farm-Experimenten mit georeferenzierten Daten. Dissertation. Eingereicht an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
- THOMAS, E. (2006): *Feldversuchswesen*. Ulmer, Stuttgart. Zitiert nach THÖLE (2010).
- TRÜBSWETTER, T. (2006): *Holztrocknung. Verfahren zur Trocknung von Schnittholz und Planung von Trocknungsanlagen*. München, Wien: Carl-Hanser-Verlag.

- UNIV. HALLE: [http://mars.geographie.uni-halle.de/mlucampus/geoglossar/terme\\_datenblatt.php?terme=USLE&typ=](http://mars.geographie.uni-halle.de/mlucampus/geoglossar/terme_datenblatt.php?terme=USLE&typ=) (30. Januar 2012)
- USBI und CEES (2010): US-focused Biochar Report: Assessment of Biochar's Benefits for the United States of America. [http://www.biochar-us.org/pdf%20files/biochar\\_report\\_lowres.pdf](http://www.biochar-us.org/pdf%20files/biochar_report_lowres.pdf) (30. Januar 2012)
- USDA: <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=20222> (30. Januar 2012)
- VdLUFA (1997): Bestimmung von löslichem, organisch gebundenem Stickstoff sowie von Nitrat- und Ammonium-Stickstoff mittels Elektro-Ultra-Filtration (EUF). VdLUFA, Methodenbuch I, A 6.1.7.3.
- VdLUFA (2002a): Bestimmung der durch Elektro-Ultrafiltration (EUF) lösbaren Anteile von Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium, Schwefel und Bor. VdLUFA, Methodenbuch I, A 6.4.2.
- VdLUFA (2002b): Bestimmung von Magnesium, Natrium und den Spurenelementen Kupfer, Mangan, Zink und Bor in Böden im Calciumchlorid/DTPA – Auszug. VdLUFA, Methodenbuch I, A 6.4.1.1.
- WALKER, J. C. F. (1993): Primary Wood Processing – Principles and Practice. London: Chapman & Hall.
- WARD, J. C. (1986): The effect of wetwood on lumber drying times and rates: An exploratory evaluation with longitudinal gas permeability. Wood and Fiber Science 18 (2): 288-307. Gemäß ZABEL UND MORRELL 1992, S.259.
- WHITE und PERROUX 1989: White, I., Perroux, K.M. (1989): Estimation of unsaturated hydraulic conductivity from field sorptivity measurements. Soil Sci. Soc. Am. J. 53. 324-329. In: Reynolds, W.D., Elrick, D.E. (1991): Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. Soil Sci. Soc. Am. J. 55, 633-639.
- WISCHMEIER, W.H. und L.D. MEYER (1973): Soil erodibility in construction areas. In Soil Erosion: Causes, Mechanisms, Prevention and Control. US Highway Research Board Special Report No. 135: Washington, DC; 20-29. Zitiert nach GRISMER UND HOGAN (2005).
- WOLF, B. und G.H. Snyder (2003): Sustainable Soils. The Place of Organic Matter in Sustaining Soils and Their Productivity. Binghamton, NY: The Haworth Press, Inc. (Food Products Press®).ISBN 1-56022-917-9.
- XIUBIN, H. und H. ZHANBIN (2001): Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. Resources, conservation and recycling 34, 45-52.
- YARA International (2005): N-Tester - A device to measure the nitrogen fertilizer demand of crops. Research Centre Hanninghof, Duermen.
- ZABEL, R.A., und J.J.MORELL (1992): Wood Microbiology. Decay and its Prevention. San Diego California: Academic Press, Inc. ISBN 0-12-775210-2.
- ZAMG 1: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) (30.12.2011)
- ZAMG 2: [http://www.zamg.ac.at/klima/klima\\_monat/klimawerte/](http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/klimawerte/) (30.12.2011)
- ZÖTTL, H.-W. (1980): Die Wirkung von Rindenmulch im Weinbau. Der Deutsche Weinbau 35: 299-301.
- ZÖTTL; H.-W. (1994): Rindenmulch und Rindenumus. In Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit Band 6: Recycling kommunaler und industrieller Abfälle in der Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 57-64.



## **Erklärung zur Verfassung der Arbeit**

Ruth Veronika Pammer  
Trubelgasse 4/16  
1030 Wien

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit (einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen), die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Wien, 13. Juli 2012, .....