

### 5.3 Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen sowie pflanzenbauliche Strategien klimaneutraler Produktivitätssteigerung

Patrick Lind, Henning Rudolf, Daniel Neuhoff, Ulrich Köpke

#### Zusammenfassung

Mit dem Ziel betriebsspezifische Aussagen über die produktbezogenen Emissionen landwirtschaftlicher Produktionssysteme treffen zu können, wurden in den Jahren 2009 und 2010 bundesweit 80 landwirtschaftliche Betriebe untersucht. Korn- und Stroherträge sowie die Nährstoffgehalte der Winterweizenbestände wurden in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftungsweise (ökologisch/konventionell) ausgewertet. Auf Grundlage der erhobenen Daten wurden auf sechs ökologisch wirtschaftenden Betrieben faktorielle Feldversuche durchgeführt. Ziel war es, betriebsspezifisch die Möglichkeit einer Ertragssteigerung der Kultur Winterweizen im Hinblick auf eine Reduktion der produktbezogenen Emissionen (funktionelle Einheit: kg CO<sub>2</sub> je produzierter Einheit Trockenmasse) zu prüfen. Es wurde angenommen, dass eine Beizung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* ertragssteigernd wirkt. Neben vier einfaktoriellen Versuchen wurden an zwei Standorten besonderer Weizensteinbrandproblematik (*Tilletia caries*) zweifaktorielle Versuche unter zusätzlicher Verwendung der steinbrandresistenten Winterweizensorte ‚Butaro‘ angelegt. An den Standorten Alpen (51°35′ N 6°28′ O; +2,9 dt ha<sup>-1</sup>), Soest (51°37′ N 8°04′ O; +2,8 dt ha<sup>-1</sup>) und Rütthen (51°27′ N 8°23′ O; +1,4 dt ha<sup>-1</sup>) wurde eine geringe Steigerung des Kornertrages durch eine Behandlung des betriebsspezifischen Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* erzielt. Eine signifikante Ertragsteigerung wurde jedoch in keinem der faktoriellen Feldversuche festgestellt.

Schlüsselwörter: produktbezogene Emissionen, ökologisch, konventionell, *Pseudomonas chlororaphis*

#### Abstract

In order to determine climate effects of agricultural production systems on a single farm level, 80 commercial farms throughout Germany were investigated in 2009 and 2010. Particular attention was paid to winter wheat. Yield and nutrient contents of grain and straw showed a strong influence of both the production system (organic/conventional) and site conditions. Based on the obtained data, field trials were conducted on six organic farms. The experiments aimed at reducing the product-related emissions (kg CO<sub>2</sub> per unit dry matter) by enhancing crop productivity. It was hypothesised that the inoculation of the seeds with *Pseudomonas chlororaphis* will increase the yield of winter wheat. Besides four one-factorial (with/without inoculation) trials there were two two-factorial field trials at sites of a pronounced infestation of common bunt (*Tilletia caries*). The two-factorial trials additionally included the factor cultivar by using ‚Butaro‘, a winter wheat cultivar resistant against *Tilletia caries*, besides the farm-specific seeds. Inoculation of the farm-specific seeds with *Pseudomonas chlororaphis* caused a minor increase in grain yield at Alpen (51°35′ N 6°28′ E; +2.9 dt ha<sup>-1</sup>), Soest (51°37′ N 8°04′ E; +2.8 dt ha<sup>-1</sup>) and Rütthen (51°27′ N 8°23′ E; +1.4 dt ha<sup>-1</sup>). Yet, in a total of six field trials no statistical significance due to inoculation was obtained.

Keywords: product-related emissions, organic, conventional, *Pseudomonas chlororaphis*

### 5.3.1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist eine bedeutende Quelle anthropogener Treibhausgasemissionen. Emittierte klimawirksame Gase des Agrarsektors sind Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) (Pollock, 2011). Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen ist jedoch möglich und sollte das Ziel einer nachhaltigen Landbewirtschaftung sein (Philippot und Hallin, 2011). Neben einer verstärkten Kohlenstoff-Sequestrierung in Böden (Johnson et al., 2007), einem optimierten Düngungsmanagement (Asgedom und Kebreab, 2011) oder Anpassungen der Bodenbearbeitung (Mahli und Lemke, 2007) stellt die Effizienzsteigerung des Betriebsmitteleinsatzes (Refsgaard et al., 1998) einen wichtigen Ansatz zur Emissionsminderung dar. Produktbezogen (funktionelle Einheit: kg CO<sub>2</sub> je produzierter Einheit Trockenmasse) ist eine Emissionsreduktion neben einem verringerten Betriebsmitteleinsatz auch durch Ertragssteigerungen realisierbar. Eine betriebsspezifische Bewertung der produktbezogenen Emissionen setzt die Kenntnis von Ertrag und Qualität der erzeugten Ernteprodukte voraus. Der Kultur Winterweizen kommt dabei aufgrund ihres Anbauumfanges eine besondere Bedeutung zu. Für eine gezielte Ableitung von Strategien zur Minderung von Treibhausgasemissionen auf einzelbetrieblicher Ebene ist eine detaillierte Analyse des Einflusses der Bewirtschaftungsweise (ökologisch/konventionell) und des Standortes auf die Ertrags- und Qualitätsbildung der Bestände erforderlich.

Pflanzenbauliche Ansätze zur Ertragssteigerung verfolgen eine Optimierung der Ressourceneffizienz und können produktbezogen einen Betrag zur Emissionsreduktion leisten. Feldversuche auf einzelbetrieblicher Ebene berücksichtigen dabei zusätzlich den Einfluss von Bewirtschaftungsweise und Standort. Einen wesentlichen Ansatzpunkt zur Ertragssteigerung von Getreidebeständen stellt die Verbesserung der Pflanzengesundheit dar. Aufgrund möglicher Nebenwirkungen chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel ist dabei ein zunehmendes Interesse am Einsatz natürlicher Mikroorganismen feststellbar (Avis et al. 2008). Bakterien der Gattung *Pseudomonas* spp. wurde mehrfach eine Wirksamkeit gegenüber bodenbürtigen Schaderregern nachgewiesen (McLoughlin et al., 1992; Larkin und Fravel, 1998; Carisse et al., 2003). Neben ihrer antagonistischen Wirkung können *Pseudomonas* spp. zudem allgemein wachstumsfördernd auf die inokulierte Kulturpflanze wirken (Elad et al., 1987; De Freitas und Germida, 1992; Walley und Germida, 1997). Für *Pseudomonas chlororaphis* wurde sowohl eine ausgeprägte Wirksamkeit gegenüber pilzlichen Schaderregern (Kropp, 1996; Hökeberg et al., 1997; Johnsson et al., 1998) als auch eine ertragssteigernde Wirkung bei Getreide (Carlier et al., 2008) nachgewiesen.

### 5.3.2 Material und Methoden

Innerhalb des Forschungsprojektes „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“ wurden bundesweit 80 landwirtschaftliche Betriebe untersucht. Es wurden 40 Betriebspaare gebildet, die jeweils aus einem Betrieb ökologischer und einem Betrieb konventioneller Bewirtschaftungsweise bestanden. Dabei wurden vier Projektregionen ausgewiesen, die jeweils zehn Betriebspaare umfassten:

- Region Nord: Diluvialstandorte der Nord- und Ostsee-Küstenregionen
- Region Süd: Tertiärhügelland Bayerns und Allgäu
- Region Ost: Lößstandorte des mitteldeutschen Trockengebietes und Diluvialstandorte der Altmark sowie des Spreewaldes
- Region West: Niederrheinische Bucht und Grünland-dominierte Mittelgebirgsstandorte

In den Jahren 2009 und 2010 wurden die Winterweizenflächen der Betriebe unmittelbar vor der betrieblichen Ernte beprobt. Zu diesem Zweck wurde jeweils eine Testfläche mit einer Größe von 20 x 20 m angelegt, die aus vier Quadranten (10 x 10 m) bestand. Für die Beprobung wurden je Quadrat zwei zufällige Flächen von 1 m<sup>2</sup> ausgewählt und manuell mit einer elektrischen Rasenkantenschere 5 cm oberhalb der Erdoberfläche beerntet. Korn und Stroh wurden anschließend mittels Ährendrescher separiert, bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und mit einer Scheibenschwingmühle (Körnungsgröße < 0,1 mm) vermahlen. Die Angabe der Korn- und Stroherträge erfolgt standardisiert auf 86 % Trockenmassegehalt.

### 5.3.2.1 Analytik

100 bis 125 mg des vermahlenden Probenmaterials wurden mit 2 ml 35 %iger H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung benetzt, 5 ml 65 %ige HNO<sub>3</sub>-Lösung hinzugefügt und mittels Mikrowelle aufgeschlossen. Die in Lösung gebrachte Probe wurde in einen 100 ml Messkolben überspült und zur Marke aufgefüllt. Die Bestimmung des Kaliumgehaltes erfolgte am Atomabsorptionsspektrometer (AAS). Zu diesem Zweck wurde das Probenmaterial im Flammen-AAS atomisiert und die Extinktion des absorbierten Lichtes in der Flamme des AAS gemessen. Zeitgleich wurde Kalium-spezifisches Licht durch die Flamme gesandt und die Absorption des in der Flamme emittierten Kaliumlichtes erfasst. Dabei wurden Standards von 0,6 bis 3,0 mg l<sup>-1</sup> mit Abstufungen von 0,6 mg l<sup>-1</sup> eingesetzt. Nach jeweils zehn Bestimmungen wurde der mittlere Standard von 1,8 mg l<sup>-1</sup> gemessen. Der Nullabgleich wurde mit Hilfe der Aufschlusslösung durchgeführt. Aus dem Mikrowellenaufschluss wurde auch der Phosphorgehalt am Filterphotometer bestimmt. Dabei reagierte Ortho-Phosphat in saurem Milieu mit Ammoniumheptamolybdat zu einem Phosphomolybdänsäurekomplex. Dieser wurde durch Ascorbinsäure zu einem blauen, bei einer Wellenlänge von 880 nm messbaren, Farbkomplex reduziert und filterphotometrisch gemessen. Für die Phosphorbestimmung wurden Standards von 5 bis 20 mg l<sup>-1</sup> in Stufen zu 5 mg l<sup>-1</sup> verwendet. Die Bestimmung des Stickstoff- und Kohlenstoffgehaltes nach Tabatabai und Bremner (1991) erfolgte an einem Elementaranalysator nach Einwaage von 15-20 mg des vermahlenden Probenmaterials in Zinn cups. Als Standard diente hierbei Acetanilid mit einem Gehalt von 71,09 % Kohlenstoff und 10,36 % Stickstoff.

### 5.3.2.2 Feldversuche

Im Versuchsjahr 2009/2010 wurden auf sechs ökologisch wirtschaftenden Betrieben faktorielle Feldversuche durchgeführt. Die Versuche hatten das Ziel, auf einzelbetrieblicher Ebene zu prüfen, ob Ertragssteigerungen durch eine biologische Beizung des Winterweizen-Saatgutes möglich sind. Vier der Feldversuche waren einfaktoriell randomisierte Blockanlagen mit 8 Wiederholungen, zwei der Feldversuche waren zweifaktoriell randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen. Die Parzellen sowohl der ein- als auch der zweifaktorielle Versuche wiesen eine Größe von 15 m<sup>2</sup> (10 m x 1,5 m) auf. Untersuchteter Versuchsfaktor der einfaktoriellen Versuche war die Behandlung (gebeizt/ungebeizt) des durch den jeweiligen Betrieb verwendeten Saatgutes mit dem Beizmittel „Cerall“ (*Pseudomonas chlororaphis*) (Intrachem Bio Deutschland, Bad Camberg). Betriebsspezifisch wurden am Standort Hennef (50°45' N 7°17' O) die Sorte „Premio“, am Standort Alpen (51°35' N 6°28' O) die Sorte „Batis“, am Standort Soest (51°37' N 8°04' O) die Sorte „Tuareg“ und am Standort Much (50°51' N 7°22' O) die Sorte „Achat“ verwendet. Die zweifaktoriellen Versuche fanden auf Standorten langjähriger Weizensteinbrandproblema-

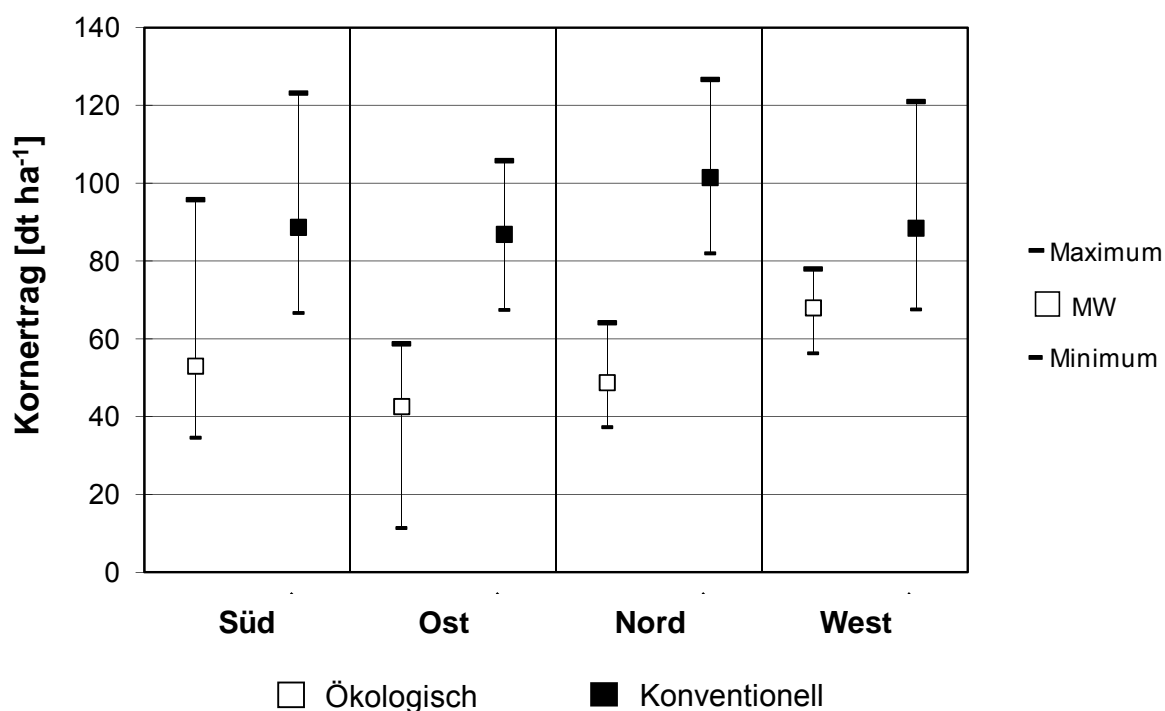
tik (*Tilletia caries*) statt und wiesen neben der Saatgutbeizung (zusätzliche Faktorstufe: Beizmittel „Tillecur“ [Biofa AG, Münsingen]) auch den Faktor Sorte auf. Dabei wurde zusätzlich zu dem durch den jeweiligen Betrieb verwendeten Saatgut (Standort Rüthen [51°27' N 8°23' O]: Sorte „Akteur“, Standort Rheinbach [50°38' N 6°56' O]: Sorte „Skagen“) auch die steinbrandresistente Winterweizensorte „Butaro“ eingesetzt. Die Versuche wurden jeweils in unmittelbarer Nähe zur Testfläche angelegt. Die Aussaat erfolgte im Jahr 2009 mit Hilfe einer Parzellensämaschine (Fa. Hege) direkt nach der Bodenbearbeitung durch den Landwirt. Unmittelbar vor der jeweiligen betrieblichen Ernte im Jahr 2010 wurden die Versuche mit einem Parzellenmähdrescher (Fa. Hege) gedroschen. Die pflanzliche Biomasse wurde anschließend bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Angabe der Korn- und Stroherträge erfolgt standardisiert auf 86 % Trockenmassegehalt.

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit Hilfe des Programms SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 19) durchgeführt. Vor der Varianzanalyse wurden die Daten mit Hilfe des Shapiro-Wilk Tests auf Normalverteilung geprüft. *Post hoc* wurde der Tukey-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,05$ ) verwendet.

### **5.3.3 Ergebnis und Diskussion**

#### **5.3.3.1 Betriebliche Erträge und Nährstoffgehalte**

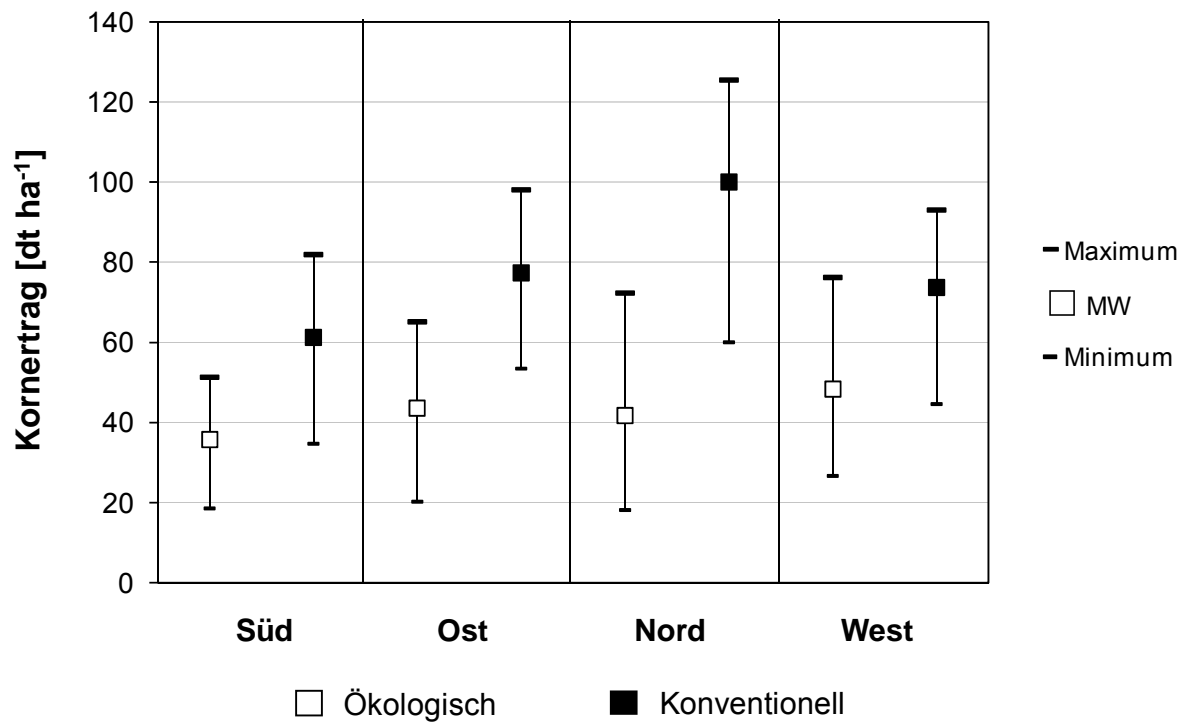
Die Kornerträge des Jahres 2009 der innerhalb des Projektes untersuchten Winterweizenbestände können der Abbildung 5.3-1 entnommen werden. Das Ertragsniveau war unabhängig von der regionalen Zugehörigkeit bei ökologischer Bewirtschaftungsweise generell geringer als bei konventioneller Landwirtschaft.



**Abbildung 5.3-1:** Korntrug [dt ha<sup>-1</sup>] des Jahres 2009 der Winterweizenflächen der Pilotbetriebe. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

Auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen der Region Süd wurden minimal 34,6 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 95,7 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 52,9 dt ha<sup>-1</sup> erzielt. Der Korntrug der konventionellen Winterweizenbestände dieser Region betrug minimal 66,6 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 123,1 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 88,6 dt ha<sup>-1</sup>. Die Ertragsunterschiede zwischen ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung waren in der Region Ost noch deutlicher ausgeprägt als in der Region Süd. Während der Korntrug der konventionellen Winterweizenbestände in der Region Ost minimal 67,4 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 105,8 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel 86,8 dt ha<sup>-1</sup> betrug, wurden dort bei ökologischer Bewirtschaftungsweise maximal Erträge von 58,7 dt ha<sup>-1</sup> erzielt. Analog zur Region Ost wies die Bewirtschaftungsweise auch in der Region Nord einen großen Einfluss auf das Ertragsniveau auf. In dieser Region wurden bei ökologischer Landbewirtschaftung minimal 37,3 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 64,1 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 48,7 dt ha<sup>-1</sup> erzielt. Der Korntrug der konventionellen Winterweizenbestände der Region Nord betrug minimal 82,0 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 126,6 dt ha<sup>-1</sup> und durchschnittlich 101,4 dt ha<sup>-1</sup>. Die Region West wies im Bezug auf eine ökologische Landbewirtschaftung das höchste Ertragsniveau im regionalen Vergleich auf. Bei einer geringen Schwankungsbreite (21,6 dt ha<sup>-1</sup>) wurden im Mittel aller Betriebe 67,9 dt ha<sup>-1</sup> erzielt. Der Korntrug der konventionellen Winterweizenbestände der Region West betrug minimal 67,5 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 120,9 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 88,4 dt ha<sup>-1</sup>.

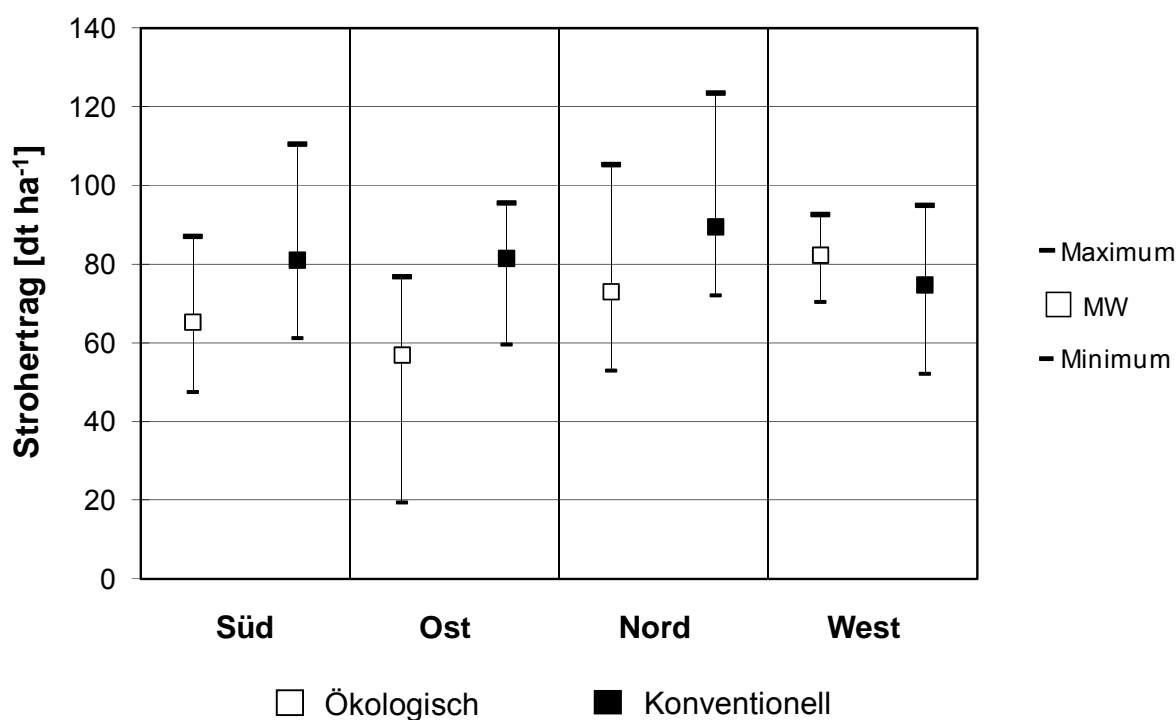
Die Korntrüge des Jahres 2010 in Abhängigkeit von der regionaler Zugehörigkeit und der Bewirtschaftungsweise können der Abbildung 5.3-2 entnommen werden.



**Abbildung 5.3-2:** Kornertrag [dt ha<sup>-1</sup>] des Jahres 2010 der Winterweizenflächen der Pilotbetriebe. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

Analog zum Vorjahr war das Ertragsniveau unabhängig von der regionalen Zugehörigkeit bei ökologischer Bewirtschaftungsweise deutlich geringer als bei konventioneller Landbewirtschaftung. Der Kornertrag in der Region Süd betrug bei ökologischer Landbewirtschaftung minimal 18,6 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 51,3 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 35,8 dt ha<sup>-1</sup>. Bei konventioneller Wirtschaftsweise wurden in dieser Region minimal 34,7 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 81,9 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel 61,2 dt ha<sup>-1</sup> erzielt. Im Bezug auf konventionell erzeugtes Korn wies die Region Ost das höchste Ertragsniveau im regionalen Vergleich auf (Minimum: 58,9 dt ha<sup>-1</sup>; Maximum: 113,1 dt ha<sup>-1</sup>; arithmetisches Mittel: 89,8 dt ha<sup>-1</sup>). Die entsprechenden Werte für ökologischen Anbau betragen für diese Region 31,3, 94,8 und 65,5 dt ha<sup>-1</sup>. Unabhängig der Bewirtschaftungsweise waren die durchschnittlichen Erträge in der Region Nord (ökologisch: 40,8 dt ha<sup>-1</sup>; konventionell: 76,5 dt ha<sup>-1</sup>) geringer als in der Region Ost. Die jeweilige Spannweite des Kornertrages betrug 25,2 - 65,9 dt ha<sup>-1</sup> (ökologisch) und 42,2 - 96 dt ha<sup>-1</sup> (konventionell). In der Region West betrug der Kornertrag bei ökologischer Bewirtschaftungsweise minimal 34,1 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 69,6 dt ha<sup>-1</sup>, und im Mittel der Betriebe 50,1 dt ha<sup>-1</sup>. Bei konventioneller Landbewirtschaftung wurden dort minimal 43,3 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 91,6 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel 73,9 dt ha<sup>-1</sup> erzielt.

Die Stroherträge des Jahres 2009 in Anhängigkeit von Region und Bewirtschaftungsweise sind der Abbildung 5.3-3 zu entnehmen. Die in der Bewirtschaftungsweise begründeten Ertragsdifferenzen waren bei Stroh geringer als bei Korn; in der Region West überschritt der durchschnittliche Strohertrag bei ökologischer Landbewirtschaftung sogar den entsprechenden Wert konventioneller Wirtschaftsweise.

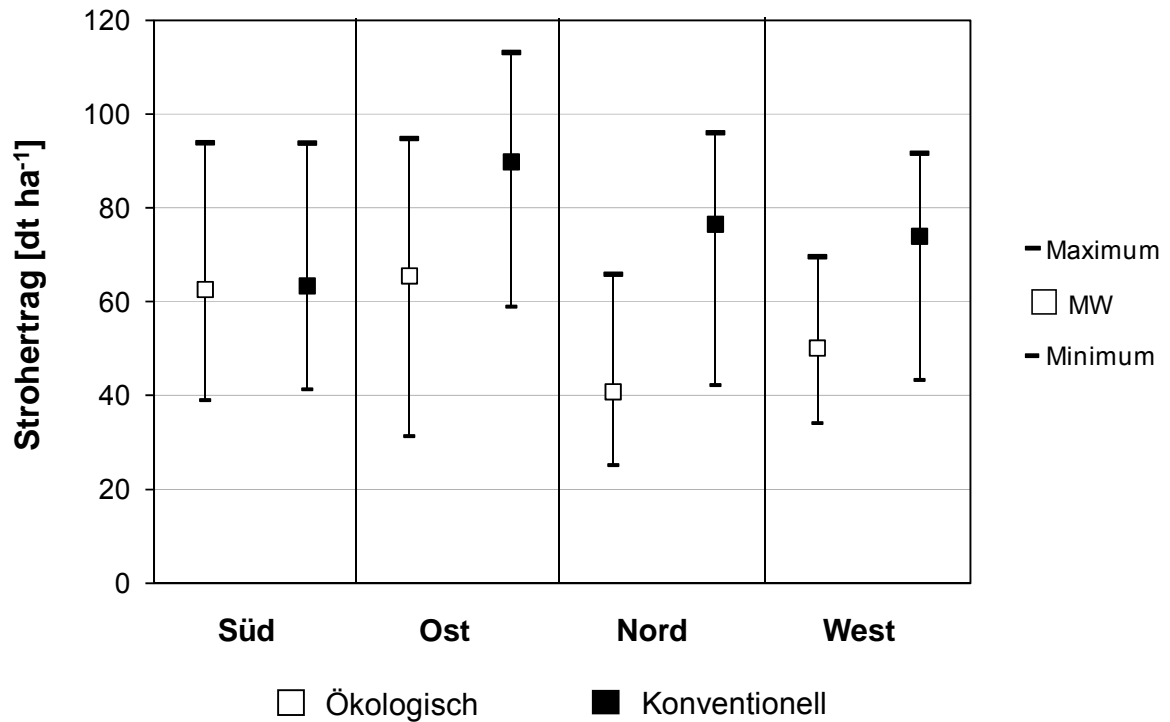


**Abbildung 5.3-3:** Strohhertrag [dt ha<sup>-1</sup>] des Jahres 2009 der Winterweizenflächen der Pilotbetriebe. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

Ursächlich dafür könnten u.a. die größere Bedeutung des Strohs für den ökologisch wirtschaftenden Gesamtbetrieb und die daraus resultierende Präferenz für langstrohige Sorten sowie der Verzicht der ökologisch wirtschaftenden Betriebe auf chemisch-synthetische Halmverkürzer sein.

Der Strohhertrag des Jahres 2009 betrug in der Region Süd bei ökologischer Bewirtschaftungsweise minimal 47,5 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 87,1 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 65,2 dt ha<sup>-1</sup>. Bei konventioneller Landbewirtschaftung wurden dort minimal 62,2 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 110,5 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 81,0 dt ha<sup>-1</sup> erzielt. Der Einfluss der Bewirtschaftungsweise auf den Strohhertrag war im regionalen Vergleich in der Region Ost am größten. Während die ökologisch bewirtschafteten Bestände minimal 19,4 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 76,8 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 56,9 dt ha<sup>-1</sup> erbrachten, betrug die entsprechenden Strohherträge bei konventioneller Landbewirtschaftung 59,6, 95,6 und 81,5 dt ha<sup>-1</sup>. Die höchsten Strohherträge bei konventioneller Bewirtschaftungsweise wurden in der Region Nord erzielt (minimal: 72,1 dt ha<sup>-1</sup>; maximal: 123,5 dt ha<sup>-1</sup>; im Mittel: 89,5 dt ha<sup>-1</sup>). Bei ökologischer Landbewirtschaftung lagen die entsprechenden Werte dieser Region bei 52,9, 105,3 und 73,0 dt ha<sup>-1</sup>. Der Strohhertrag in der Region West betrug bei ökologischer Bewirtschaftungsweise minimal 70,4 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 92,6 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 82,3 dt ha<sup>-1</sup>. Bei konventioneller Landbewirtschaftung wurden in dieser Region minimal 52,1 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 94,9 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel 74,7 dt ha<sup>-1</sup> erzielt.

Mit Ausnahme der Region Süd war der Einfluss der Bewirtschaftungsweise auf den Strohhertrag der Winterweizenbestände des Jahres 2010 deutlich ausgeprägt (Abbildung 5.3-4).

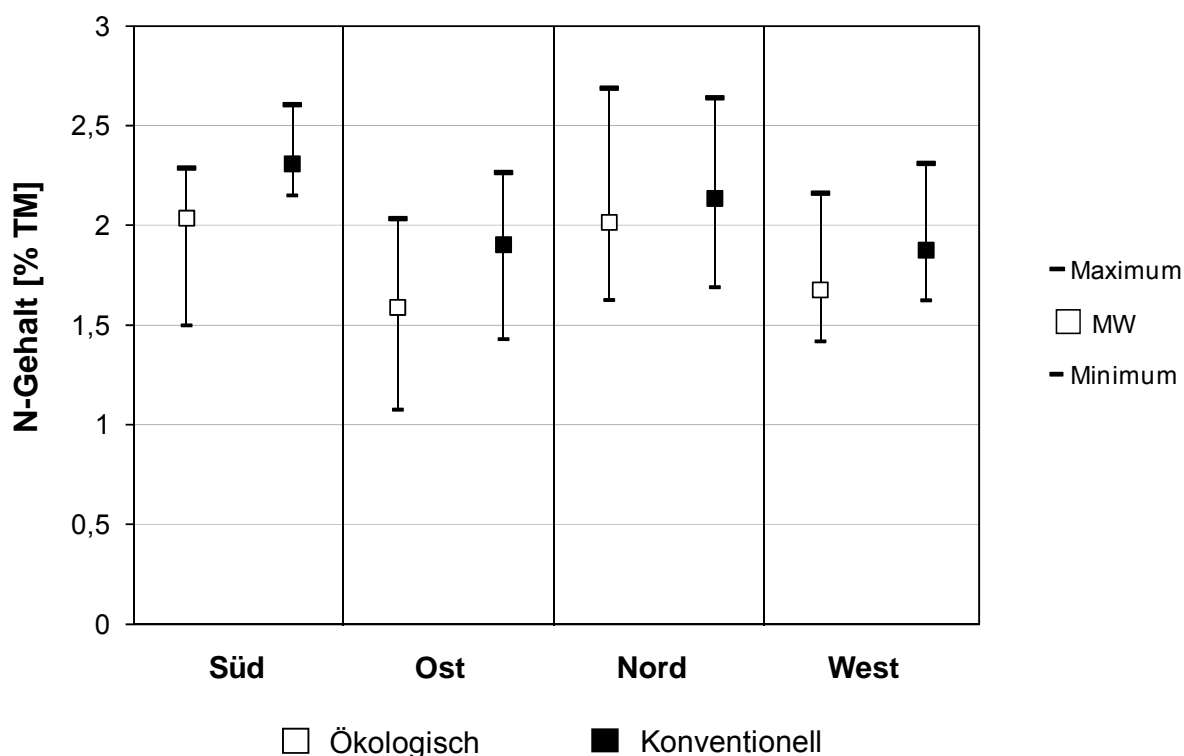


**Abbildung 5.3-4:** Strohhertrag [dt ha<sup>-1</sup>] des Jahres 2010 der Winterweizenflächen der Pilotbetriebe. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

In der Region Süd betrug der Strohhertrag bei ökologischer Landbewirtschaftung minimal 39,0 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 93,9 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel aller Betriebe 62,6 dt ha<sup>-1</sup>. Bei konventioneller Wirtschaftsweise wurden in dieser Region minimal 41,3 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 93,8 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel 63,3 dt ha<sup>-1</sup> erzielt. Im Gegensatz zum Kornertrag des Jahres 2010 wurde auf den Betrieben der Region Ost der höchste Strohhertrag im regionalen Vergleich erzielt. Während auf den Betrieben dieser Region im Mittel Erträge von 65,5 dt ha<sup>-1</sup> (ökologisch) und 89,8 dt ha<sup>-1</sup> (konventionell) erzielt wurden, betrug das jeweilige Maximum des Strohhertrages 94,8 dt ha<sup>-1</sup> (ökologisch) bzw. 113,1 dt ha<sup>-1</sup> (konventionell). In der Region Nord unterschieden sich die Strohherträge in Abhängigkeit der Wirtschaftsweise deutlich voneinander. Während dort bei ökologischer Landbewirtschaftung Strohherträge von 25,2 bis 65,9 dt ha<sup>-1</sup> erzielt wurden, resultierte eine konventionelle Wirtschaftsweise in Strohherträgen zwischen 42,2 und 96 dt ha<sup>-1</sup>. Die Strohherträge der Region West betrug bei ökologischer Produktionsweise minimal 34,1 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 69,6 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel der Betriebe 50,1 dt ha<sup>-1</sup>. Bei konventioneller Landbewirtschaftung wurden in dieser Region minimal 43,3 dt ha<sup>-1</sup>, maximal 91,6 dt ha<sup>-1</sup> und im Mittel 73,9 dt ha<sup>-1</sup> erzielt.

Der Einfluss von Region und Wirtschaftsweise auf den Stickstoffgehalt des Kornes des Jahres 2009 ist der Abbildung 5.3-5 zu entnehmen. Unabhängig von der Region war der durchschnittliche Stickstoffgehalt des ökologisch erzeugten Kornes dabei tendenziell geringer als bei Korn aus konventioneller Produktion.

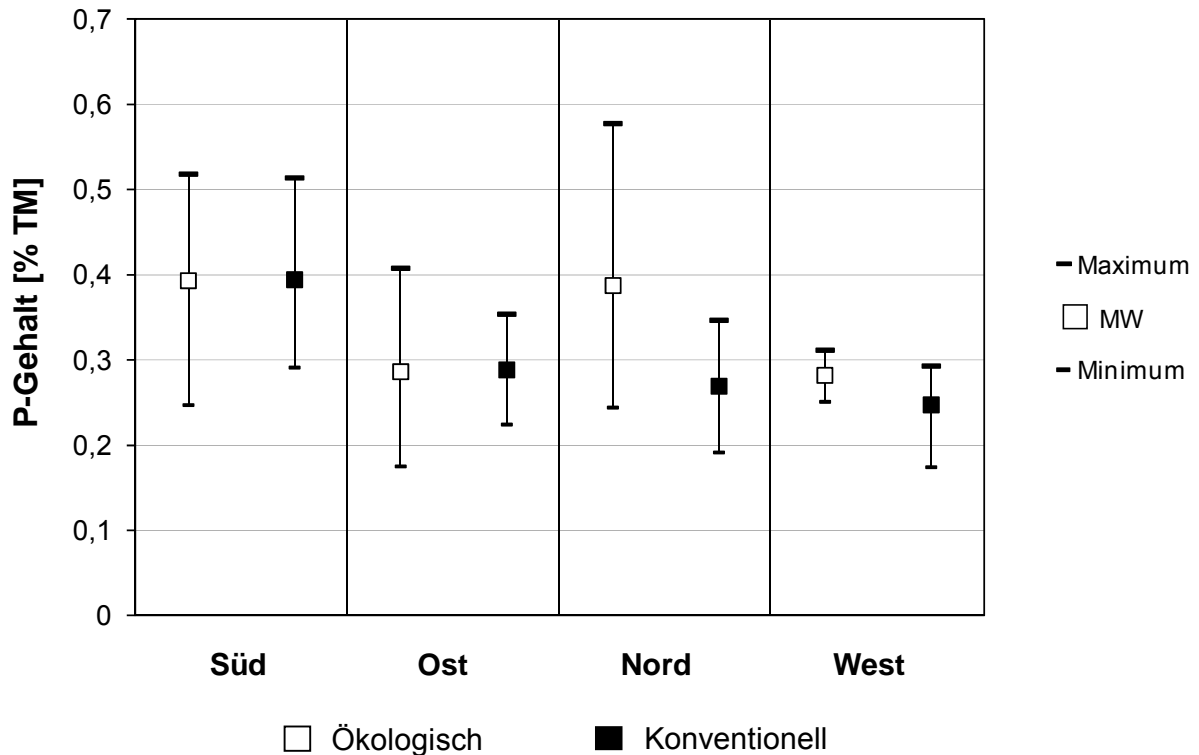




**Abbildung 5.3-5:** Stickstoffgehalt [% TM] des Korns im Jahr 2009. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

In der Region Süd wies das ökologisch bzw. konventionell erzeugte Korn Stickstoffgehalte zwischen 1,5 und 2,3 % bzw. zwischen 2,2 und 2,6 % auf. Im Mittel der jeweiligen Bewirtschaftungsweise betragen die Stickstoffgehalte in dieser Region 2,0 % (ökologisch) und 2,3 % (konventionell). Unabhängig von der Bewirtschaftungsweise waren die Stickstoffgehalte des Korns in der Region Ost geringer als in der Region Süd. Bei ökologischer Landbewirtschaftung wurden dort minimal 1,1 %, maximal 2,0 % um im Mittel aller Betriebe 1,6 % erzielt. Die Stickstoffgehalte des konventionell erzeugten Korns betragen in der Region Ost minimal 1,4 %, maximal 2,3 % und im Mittel 1,9 %. In der Region Nord war der Einfluss der Bewirtschaftungsweise auf den Stickstoffgehalt des Korns gering. Während der Stickstoffgehalt bei ökologischer Landbewirtschaftung minimal 1,6 %, maximal 2,7 % und im Mittel 2,0 % betrug, wurden bei konventionell erzeugtem Korn entsprechende Gehalte von 1,7, 2,6 und 2,1 % erzielt. In der Region West betrug der Stickstoffgehalt des ökologisch erzeugten Korns minimal 1,4 %, maximal 2,2 % und im Mittel aller Betriebe 1,7 %. Die entsprechenden Gehalte des konventionell erzeugten Korns dieser Region umfassten minimal 1,6 %, maximal 2,3 % und im Mittel 1,9 %.

Die Phosphorgehalte der Karyopsen des Jahres 2009 in Abhängigkeit von Region und Bewirtschaftungsweise können der Abbildung 5.3-6 entnommen werden. In der Region Süd betrug der durchschnittliche Phosphorgehalt sowohl des ökologisch als auch des konventionell erzeugten Korns 0,39 %.

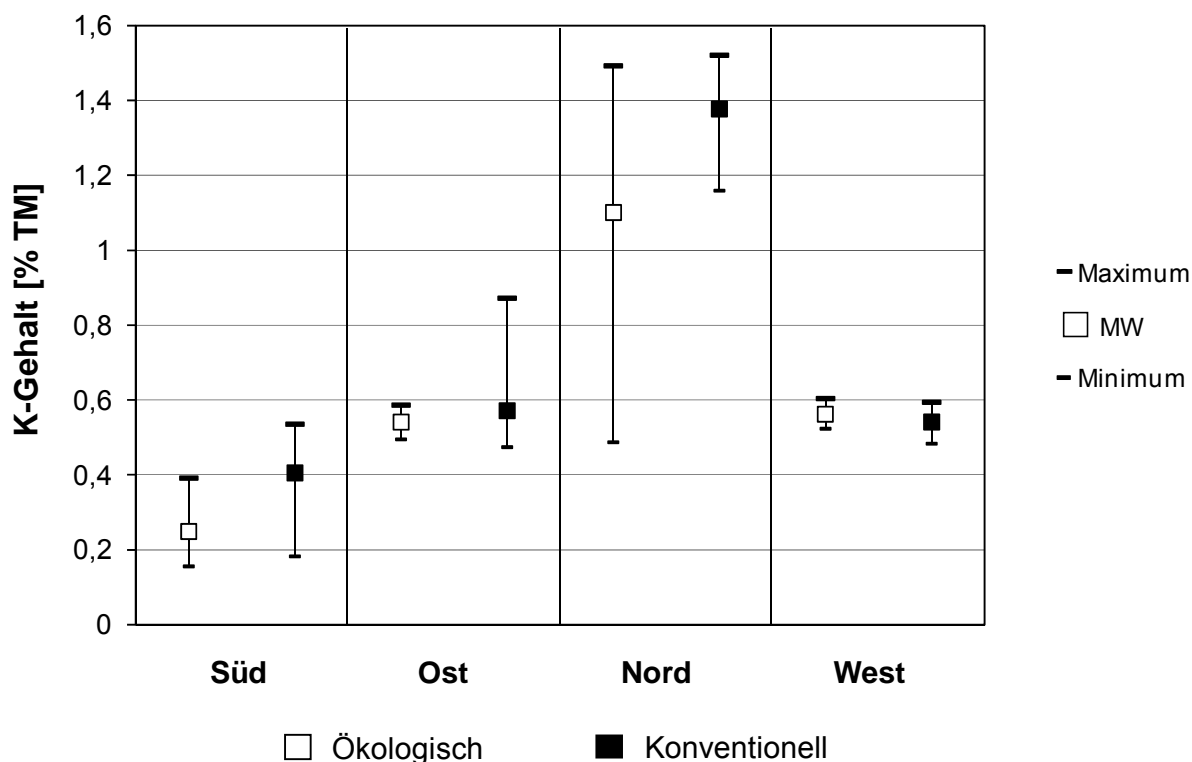


**Abbildung 5.3-6:** Phosphorgehalt [% TM] des Korns im Jahr 2009. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

Die Spannweite des Phosphorgehaltes war in der Region Süd bei konventioneller Bewirtschaftungsweise (0,29 - 0,51 %) geringer als bei ökologischer Landbewirtschaftung (0,25 - 0,52 %). Analog zum Stickstoffgehalt war auch der Phosphorgehalt des Korns unabhängig von der Bewirtschaftungsweise in der Region Ost geringer als in der Region Süd. In der Region Ost wies das ökologisch bzw. konventionell erzeugte Korn Phosphorgehalte zwischen 0,18 und 0,41 % bzw. zwischen 0,22 und 0,35 % i.d. TM auf. Im Mittel der jeweiligen Bewirtschaftungsweise betragen die Phosphorgehalte jeweils 0,29 %. Im regionalen Vergleich war die Spannweite des Phosphorgehaltes des ökologisch erzeugten Korns in der Region Nord am größten (0,24 - 0,58 %). Während in dieser Region im Mittel aller ökologisch wirtschaftenden Betriebe ein Phosphorgehalt von 0,39 % erzielt wurde, betrug der entsprechende Wert bei konventioneller Landbewirtschaftung 0,27 %. Die Phosphorgehalte des Korns der Region West waren die geringsten im regionalen Vergleich. Sie betragen bei ökologischer Wirtschaftsweise minimal 0,25 %, maximal 0,31 % und im Mittel aller Betriebe 0,28 %. Die entsprechenden Gehalte des konventionell erzeugten Korns der Region West umfassten 0,17, 0,29 und 0,25 %.

Der Einfluss von Region und Bewirtschaftungsweise auf den Kaliumgehalt des Korns für das Jahr 2009 ist in der Abbildung 5.3-7 dargestellt. Bezüglich dieses Nährstoffs waren die größten regionalen Unterschiede feststellbar. Unabhängig der Bewirtschaftungsweise waren die durchschnittlichen Kaliumgehalte

te des Korns im Vergleich der Regionen in der Region Süd am geringsten (ökologisch: 0,25 %; konventionell: 0,41 %) im Norden markant am höchsten.

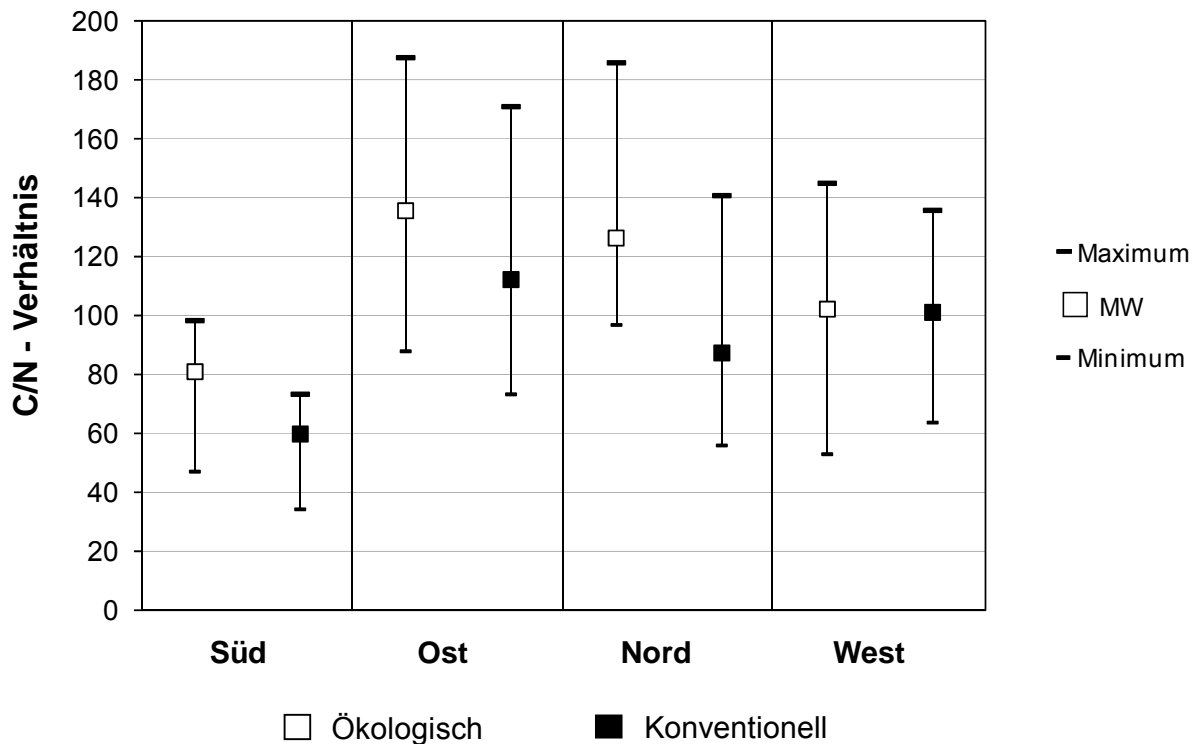


**Abbildung 5.3-7:** Kaliumgehalt [% TM] des Korns im Jahr 2009. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

Die jeweilige Spannweite der Gehalte betrug in der Region Süd 0,16 – 0,39 % (ökologisch) und 0,18 – 0,54 % (konventionell). In der Region Ost wurden bei ökologischer Landbewirtschaftung deutlich höhere Kaliumgehalte als in der Region Süd erzielt (minimal: 0,49 %; maximal: 0,59 %; im Mittel aller Betriebe: 0,54 %). Die Kaliumgehalte des konventionell erzeugten Korns der Region Ost betragen minimal 0,47 %, maximal 0,87 % und im Mittel 0,57 %. Die Kaliumgehalte des Korns der Region Nord waren unabhängig der Bewirtschaftungsweise die höchsten im regionalen Vergleich. Während die Gehalte bei ökologischer Wirtschaftsweise minimal 0,49 %, maximal 1,49 % und im Mittel aller Betriebe 1,10 % umfassten, betragen die entsprechenden Werte des konventionell erzeugten Korns 1,16, 1,52 und 1,38 %. Die Kaliumgehalte des Korns der Region West wiesen einen geringen Schwankungsbereich auf. Sie betragen bei ökologisch erzeugtem Korn minimal 0,52 %, maximal 0,60 % und im Mittel aller Betriebe 0,56 %. Das konventionell erzeugte Korn dieser Region wies ähnliche Gehalte auf (minimal: 0,48 %, maximal: 0,59 %; im Mittel: 0,54 %).

Beim Belassen des Strohs auf der Anbaufläche ist dessen Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) ein wichtiger Parameter für mikrobiologische Ab- und Umbauprozesse. Ein weites C/N-Verhältnis kann dabei zu einer längeren temporären Immobilisation des im Boden vorhandenen mineralischen

Stickstoffs führen (Mary et al., 1996). Die C/N-Verhältnisse des Winterweizenstrohs in Abhängigkeit von Region und Bewirtschaftungsweise können der Abbildung 5.3-8 entnommen werden.

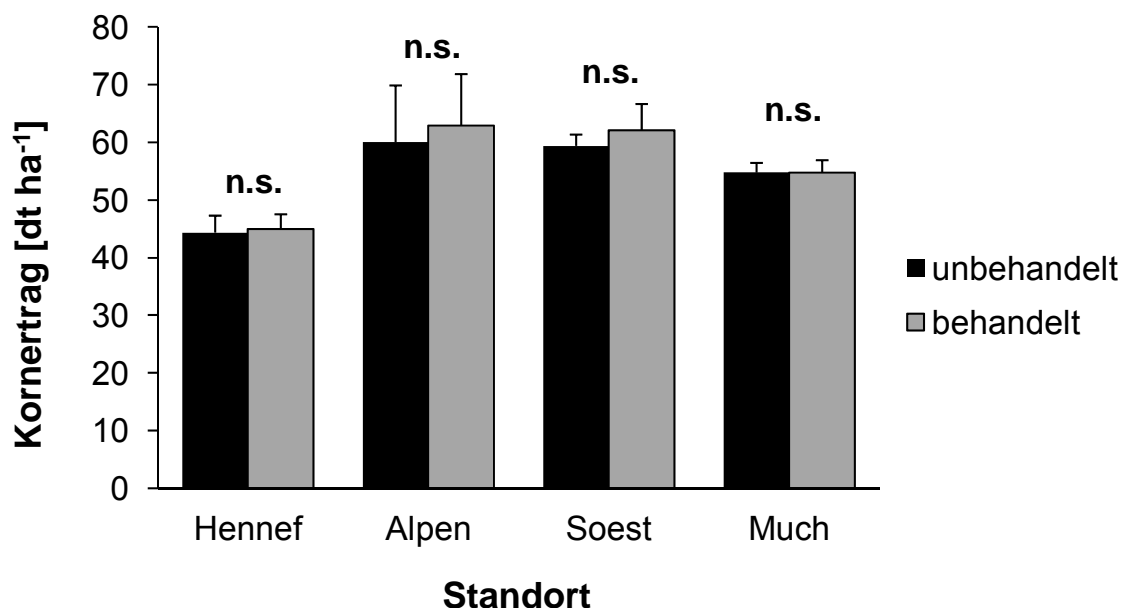


**Abbildung 5.3-8:** C/N-Verhältnis (dimensionslos) des Strohs im Jahr 2009. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

In der Region Süd betragen die C/N-Verhältnisse des ökologisch bzw. konventionell erzeugten Strohs zwischen 47,1 und 98,3 bzw. zwischen 34,3 und 73,3. Die Mittelwerte der jeweiligen Wirtschaftsweise lagen in dieser Region bei 81,0 (ökologisch) und 59,8 (konventionell). Unabhängig von der Bewirtschaftungsweise waren die C/N-Verhältnisse des in der Region Ost erzeugten Strohs die höchsten im regionalen Vergleich. Während das C/N-Verhältnis des ökologisch erzeugten Strohs dieser Region minimal 87,9, maximal 187,6 und im Mittel aller Betriebe 135,6 betrug, lagen die entsprechenden Werte bei konventioneller Landbewirtschaftung bei 73,3, 170,9 und 112,3. Analog zu den Regionen Süd und Ost war auch in der Region Nord das C/N-Verhältnis des ökologisch erzeugten Strohs (minimal: 96,6; maximal: 185,9; im Mittel aller Betriebe: 126,3) tendenziell höher als bei Stroh konventioneller Wirtschaftsweise (minimal: 56,0; maximal: 140,8; im Mittel aller Betriebe: 87,4). Im Gegensatz zu den übrigen Regionen war in der Region West der Einfluss der Bewirtschaftungsweise auf das C/N-Verhältnis des Strohs gering. Während das C/N-Verhältnis des ökologisch erzeugten Strohs in dieser Region minimal 53,0, maximal 144,9 und im Mittel aller Betriebe 102,3 betrug, erzielte eine konventionelle Landbewirtschaftung entsprechende Werte von 63,7, 135,8 und 101,1. Als ursächlich für die niedrigen C/N-Verhältnisse des konventionellen Landbaus muss die höhere Stickstoffzufuhr angesehen werden.

### 5.3.3.2 Feldversuche

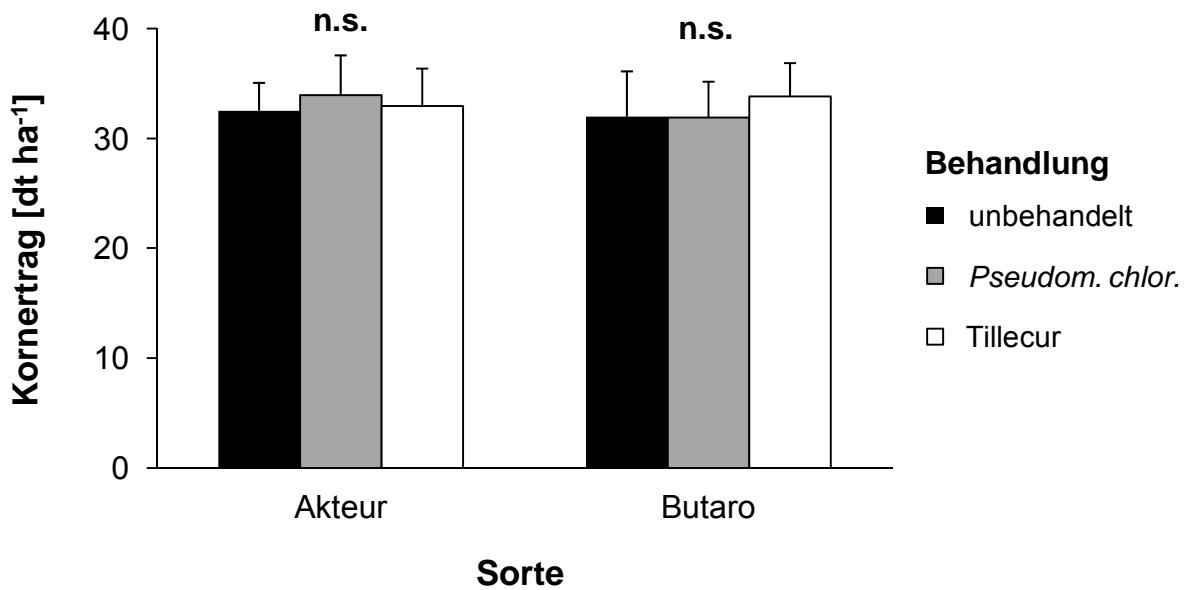
Es wurde geprüft, ob eine Beizung des jeweiligen betriebseigenen Winterweizen-Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* ertragssteigernd wirkt. Die Ergebnisse der einfaktoriellen Feldversuche der Standorte Hennef, Alpen, Soest und Much im Bezug auf den Kornertrag der Bestände sind in Abbildung 5.3-9 dargestellt. An keinem der untersuchten Versuchsstandorte wurde eine signifikante Steigerung des Kornertrages durch eine Behandlung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* erzielt.



**Abbildung 5.3-9:** Kornertrag [dt ha<sup>-1</sup>] in Abhängigkeit der Behandlung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis*. Einfaktorielle Feldversuche der Standorte Hennef, Alpen, Soest und Much. Tukey-Test,  $\alpha = 0,05$ .

Im Vergleich der Standorte waren die Kornerträge in Hennef unabhängig von der Behandlung am geringsten (unbehandelt: 44,3 dt ha<sup>-1</sup>; behandelt: 45,0 dt ha<sup>-1</sup>). Auch am Standort Alpen war der Kornertrag nach erfolgter Beizung des Saatgutes (62,9 dt ha<sup>-1</sup>) geringfügig höher als der Kornertrag des unbehandelten Saatgutes (60,1 dt ha<sup>-1</sup>). Die Kornerträge der Winterweizenbestände am Standort Soest stimmten nahezu mit den entsprechenden Werten des Standortes Alpen überein und betragen 59,4 dt ha<sup>-1</sup> (unbehandelt) und 62,1 dt ha<sup>-1</sup> (behandelt). Die Kornerträge in Abhängigkeit von einer Behandlung des Saatgutes am Standort Much waren nahezu identisch und betragen jeweils 54,8 dt ha<sup>-1</sup>.

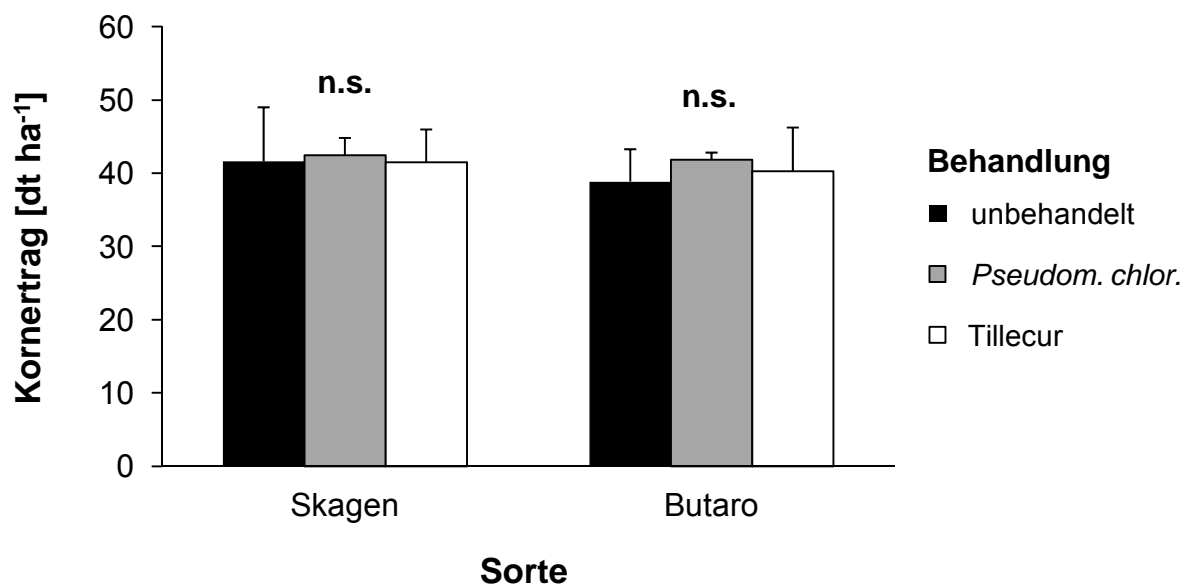
Innerhalb der zweifaktoriellen Feldversuche der Standorte Rheinbach und Rüthen wurden die Versuchsfaktoren Behandlung und Sorte untersucht. Neben der betriebsüblichen Winterweizensorte wurde die steinbrandresistente Sorte „Butaro“ als zweite Faktorstufe des Faktors Sorte verwendet. Das Beizmittel „Tillecur“ diente als dritte Faktorstufe des Faktors Behandlung. Der Kornertrag am Standort Rüthen ist in Abbildung 5.3-10 dargestellt.



**Abbildung 5.3-10:** Kornertrag [dt ha<sup>-1</sup>] am Standort Rüthen in Abhängigkeit von Behandlung und Sorte. Tukey-Test,  $\alpha = 0,05$ .

Unabhängig von der Sorte führte am Standort Rüthen eine Behandlung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* zu keiner signifikanten Steigerung des Kornertrages. Während die bakterielle Saatgutbeizung bei der Sorte „Akteur“ zumindest zu einer tendenziellen Ertragssteigerung führte (unbehandelt: 32,5 dt ha<sup>-1</sup>; mit *Pseudomonas chlororaphis*: 33,9 dt ha<sup>-1</sup>), war dies bei der Sorte „Butaro“ nicht der Fall (unbehandelt: 32,0 dt ha<sup>-1</sup>; mit *Pseudomonas chlororaphis*: 31,9 dt ha<sup>-1</sup>). „Tillecur“ bewirkte am Standort Rüthen bei beiden Sorten einen gegenüber der jeweiligen unbehandelten Variante geringfügig erhöhten Kornertrag („Akteur“: 32,9 dt ha<sup>-1</sup>; „Butaro“: 33,8 dt ha<sup>-1</sup>). Eine statistische Signifikanz der Ertragssteigerung durch „Tillecur“ war jedoch nicht gegeben.

Der Kornertrag am Standort Rheinbach in Abhängigkeit von Behandlung und Sorte ist in Abbildung 5.3-11 dargestellt. Das durchschnittliche Ertragsniveau war hier (41,1 dt ha<sup>-1</sup>) deutlich höher als am Standort Rüthen (32,9 dt ha<sup>-1</sup>). Analog zum Standort Rüthen wurde auch am Standort Rheinbach keine signifikante Steigerung des Kornertrages durch eine Behandlung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* erzielt. Im Gegensatz zum Standort Rüthen bewirkte eine bakterielle Saatgutbeizung am Standort Rheinbach jedoch sowohl eine geringfügige Ertragssteigerung der betrieblich eingesetzten Sorte („Skagen“) als auch der Sorte „Butaro“. Der Kornertrag der Sorte „Skagen“ betrug 41,6 dt ha<sup>-1</sup> bei unbehandeltem Saatgut und 42,4 dt ha<sup>-1</sup> bei einer Behandlung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis*. Der jeweilige Kornertrag der Sorte „Butaro“ umfasste 38,9 dt ha<sup>-1</sup> (unbehandelt) und 41,8 dt ha<sup>-1</sup> (mit *Pseudomonas chlororaphis*).



**Abbildung 5.3-11:** Kornertrag [dt ha<sup>-1</sup>] am Standort Rheinbach in Abhängigkeit von Behandlung und Sorte. Tukey-Test,  $\alpha = 0,05$ .

Eine Saatgutbehandlung mit „Tillecur“ erbrachte am Standort Rheinbach unabhängig der Sorte ebenfalls keine signifikante Steigerung des Kornertrages. Die Kornerträge des mit „Tillecur“ behandelten Saatgutes betragen 41,4 dt ha<sup>-1</sup> (Skagen) und 40,2 dt ha<sup>-1</sup> (Butaro). Trotz der Steinbrandgefährdung beider Standorte führte „Butaro“ weder in Rheinbach noch in Rüthen zu einem gegenüber der betriebsüblichen Winterweizensorte signifikant höheren Kornertrag.

Auf keinem der sechs untersuchten Standorte bewirkte eine Behandlung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* eine signifikante Ertragssteigerung. Der positive Einfluss des Bakteriums auf die Pflanzengesundheit wurde jedoch mehrfach bestätigt. Kropp et al. (1996) wiesen die fungizide Wirkung von *Pseudomonas chlororaphis* an Sommerweizen nach, Johnsson et al. (1998) an Gerste, Hafer, Sommer- und Winterweizen. Puopolo et al. (2011) sowie Raio et al. (2011) bestätigten die fungizide Wirksamkeit dieser Bakterienart. Unabhängig von einer antibiotischen Wirkung stellten Carlier et al. (2008) eine Förderung des Pflanzenwachstums und des Kornertrages durch eine Inokulation des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* fest. Sopher und Sutton (2011) wiesen zudem *in vitro* nach, dass die Behandlung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* auch unter Abwesenheit von Pathogenen wachstumsfördernd auf die Kulturpflanze wirken kann.

In der vorliegenden Untersuchung bewirkte eine bakterielle Behandlung des Saatgutes auch auf Standorten mit einer ausgeprägten Weizensteinbrandproblematik keine Ertragssteigerung der Bestände. Hökeberg (1997) et al. stellten jedoch in Untersuchungen mit Sommerweizen und Gerste die antibiotische Wirksamkeit von *Pseudomonas chlororaphis* gegenüber *Tilletia caries* fest.

Zudem finden sich in der Fachliteratur Hinweise darauf, dass die Wirksamkeit von *Pseudomonas chlororaphis* gegenüber Pathogenen nicht allein auf die fungizide Wirkung beschränkt ist. Shepelevitch et

al. (2011) wiesen *in vitro* eine antivirale Wirksamkeit des Bakteriums nach, Lee et al. (2011) erbrachten *in vitro* und *in vivo* den Nachweise einer nematiziden Wirkung von *Pseudomonas chlororaphis*. Trotz des nachgewiesenen breiten Wirkungsspektrums von *Pseudomonas chlororaphis* führte eine bakterielle Behandlung des Saatgutes unter den jeweiligen Bedingungen der innerhalb dieser Arbeit untersuchten Standorte zu keiner erhöhten Produktivität der Bestände. Betriebsspezifisch konnte somit keine Möglichkeit zur Senkung der produktbezogenen klimarelevanten Emissionen aufgezeigt werden.

### 5.3.4 Literatur

**Asgedom H, Kebreab E** (2011) Beneficial management practices and mitigation of greenhouse gas emissions in the agriculture of the Canadian prairie: a review

**Avis, T, Gravel V, Antoun H, Tweddell R** (2008) Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biology & Biochemistry* 40:1733-1740

**Carisse O, Bernier J, Benhamou N** (2003) Selection of biological agents from composts for control of damping-off of cucumber caused by *Pythium ultimum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 25:258-267

**Carlier E, Rovera M, Jaume A, Rosas S** (2008) Improvement of growth, under field conditions, of wheat inoculated with *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *Aurantiaca* SR1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24:2653-2658

**De Freitas J, Germida, J** (1992) Growth promotion of winter wheat by fluorescent pseudomonads under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 24:1137-1146

**Elad Y, Chet I, Baker R** (1987) Increased growth response of plants induced by rhizobacteria antagonistic to soilborne fungi. *Plant and Soil* 98:325-330

**Hökeberg M, Gerhardson B, Johnsson L** (1997) Biological control of cereal seed-borne diseases by seed bacterization with greenhouse-selected bacteria. *European Journal of Plant Pathology* 103:25-33

**Johnson J, Franzluebbers A, Weyers S, Reicosky D** (2007) Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution* 150:107-124

**Johnsson L, Hökeberg M, Gerhardson B** (1998) Performance of the *Pseudomonas chlororaphis* biocontrol agent MA 342 against cereal seed-borne diseases in field experiments. *European Journal of Plant Pathology* 104:701-711

**Kropp B, Thomas E, Pounder J, Anderson A** (1996) Increased emergence of spring wheat after inoculation with *Pseudomonas chlororaphis* isolate 2E3 under field and laboratory conditions. *Biology and Fertility of Soils* 23:200-206

**Larkin R, Fravel D** (1998) Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of fusarium wilt of tomato. *Plant Disease* 82:1022-1028

**Lee J, Ma K, Ko S, Kang B, Kim I, Kim Y** (2011) Nematicidal activity of a nonpathogenic biocontrol bacterium, *Pseudomonas chlororaphis* O6. *Current Microbiology* 62:746-751



- Mahli S, Lemke R** (2007) Tillage, crop residue and N fertilizer effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. *Soil & Tillage Research* 96:269-283
- Mary B, Recous S, Darwls D, Robin D** (1996) Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soils. *Plant and Soil* 181:71–82
- McLoughlin T, Quinn J, Bettermann A, Bookland R** (1992) *Pseudomonas cepacia* suppression of sunflower wilt fungus and role of antifungal compounds in controlling the disease. *Applied and Environmental Microbiology* 58:1760-1763
- Philippot L, Hallin S** (2011) Towards food, feed and energy crops mitigating climate change. *Trends in Plant Science* 16:476-480
- Pollock C** (2011) Agricultural greenhouse gases. *Nature Geoscience* 4:277-278
- Puopolo G, Raio A, Pierson L, Zoina A** (2011) Selection of a new *Pseudomonas chlororaphis* strain for the biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Phytopathologica Mediterranea* 50:228-235
- Raio A, Puopolo G, Cimmino A, Danti R, Della Rocca G, Evidente A** (2011) Biocontrol of cypress canker by the phenazine producer *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *Aureofaciens* strain M71. *Biological Control* 58:133-138
- Refsgard K, Halberg N, Kristensen E** (1998) Energy utilization in crop and dairy production in Organic and Conventional livestock production systems. *Agricultural systems* 57:599-630
- Shepelevitch V, Shubchynskyy V, Varbanets L, Kiprianova E** (2011) Antiviral activity of carbohydrate-containing biopolymers of *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *Aureofaciens*. *Antiviral Research* 90:A64
- Sopher C, Sutton J** (2011) Quantitative relationships of *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 to *Phytophthora* root rot and growth in hydroponic peppers. *Tropical Plant Pathology* 36:214-224
- Tabatabai M, Bremner J** (1991) Automated instruments for determination of total carbon, nitrogen, and sulfur in soils by combustion techniques. In: Smith K (Hrsg.): *Soil Analysis*, S. 261-286
- Walley F, Germida J** (1997) Response of spring wheat (*Triticum aestivum*) to interactions between *Pseudomonas* species and *Glomus clarum* NT 4. *Biology and Fertility of Soils* 24:365-371