

# Düngerverständnis und Düngerkonzept in der Biologischen Landwirtschaft

Walter Starz<sup>1\*</sup>

## Zusammenfassung

Am Beginn der Biologischen Landwirtschaft stand die Frage nach der optimalen Bodenbewirtschaftung und Düngeraufbereitung. Düngen in der Biologischen Landwirtschaft bedeutet in erster Linie die Bodenlebewesen mit wertvollen Stoffen zu versorgen. Diese langfristig wirkende Form der Düngung führt zu keinen Höchsterträgen, wie sie in intensiv mineralisch gedüngten Systemen anzutreffen sind. Dafür konnte in Langzeit Düngerversuchen gezeigt werden, dass biologisch bewirtschaftete Flächen eine höhere Pufferkapazität gegenüber störenden Wachstumsfaktoren haben und der Ertragsrückgang geringer ausfällt als bei konventionellen Hohertragssystemen. Das Düngungsverständnis und die Düngerkonzepte in der Biologischen Landwirtschaft stellen eine Schlüsseltechnologie für eine nachhaltige und Ressourcen schonende Landwirtschaft dar.

*Schlagwörter:* Boden, Mikroorganismen, Ertrag, Düngerversuch

## Summary

At the beginning of organic farming, the main question was focused on optimal land cultivation and manure treatments. Fertilisation in organic farming primarily means to supply soil organism with valuable materials. This long term effective fertilisation does not offer the highest yields as it can be found in intensive mineral fertilised systems. However, in long term fertilisation trials it could be shown, that organic managed fields have a higher buffer capacity regarding interfering growth factors and the yield decrease is lower than in conventional high yield systems. The fertilisation grasp and the fertilisation concepts in organic farming demonstrate a key technology for a sustainable and resources-preserving agriculture.

*Keywords:* soil, microorganism, yield, fertilisation trial

## Einleitung

Im 19. Jh. erfuhr die traditionell gewachsene Landwirtschaft eine Reihe großer Umwälzungen. So wurde sie 1810 von Albrecht von Thaer als ein Gewerbe zum Zweck der Erzielung von Gewinn gesehen. Diese Sichtweise setzte sich in der Gesellschaft des 19. Jh. rasch durch und der landwirtschaftliche Betrieb wurde in seiner Funktion wie ein Industriebetrieb betrachtet. 1840 veröffentlichte Justus von Liebig sein Werk über die Agrikulturchemie und läutete mit seiner Mineraltheorie (Pflanzenwurzeln nehmen Ionen auf) eine Zeitenwende ein (KOEPF und PLATO 2001). Relativ rasch festigte sich Liebig's Theorie in der landwirtschaftlichen Lehre. Vorbehalte, die Liebig selbst gegenüber der Deutung seiner Lehre vorbrachte, wurden und werden kaum erwähnt oder diskutiert. Gerade im Bezug auf die Stickstoffversorgung bemerkte er in späteren Jahren, dass sich die Natur denselben jederzeit selbst beschaffen könne (RUSCH 2004).

1913 gelang Fritz Haber und Carl Bosch der Durchbruch zur industriellen Ammoniaksynthese (Haber-Bosch-Verfahren) aus dem Stickstoff der Atmosphäre. Diese Technologische Leistung wurde durch den 1. Weltkrieg sehr stark gefördert, da die Stickstoffverbindungen zur Herstellung von Sprengstoff verwendet wurden. Nach dem 1. Weltkrieg wurden vermehrt die Stickstoffverbindungen in der Landwirtschaft eingesetzt (KOEPF und PLATO 2001).

Vor diesem eben geschilderten Hintergrund sorgten sich einige Bauern zu Beginn des 20. Jh. um die Fruchtbarkeit der Böden und um die Qualität der daraus erwachsenen Lebensmittel. Diese Sorgen waren ein wichtiger Grundstein für die Entwicklung der Biologischen Landwirtschaft, was sich ganz deutlich in den Anfängen der biologisch-dynamischen (SATTLER und WISTINGHAUSEN 1989) und organisch-biologischen (HERRMANN und PLAKOLM 1991) Methode widerspiegelte. Die Kernelemente beider Wirtschaftsweisen sind die besondere Betrachtung des Bodens und der Düngung, die nach wie vor ihre Gültigkeit haben.

## Düngungsverständnis

Das Düngerverständnis in der Biologischen Landwirtschaft beruht nicht auf einer hauptsächlich direkten Pflanzenernährung mit leicht löslichen mineralischen Stoffen sondern in der Aktivierung des Bodens mit wirtschaftseigenen Düngersubstanzen. Dieses Verständnis steht nicht im Gegensatz zur Mineraltheorie sondern ergänzt diese und legt eine erweiterte Sicht darauf (HERRMANN und PLAKOLM 1991). Eine zentrale Rolle nehmen dabei der Boden und seine Prozesse ein. Gerade das System Boden-Pflanze-Düngung bildet den Hauptbaustein des Kreislaufprinzips der Biologischen Landwirtschaft.

<sup>1</sup> Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ), Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

\* Ansprechpartner: [walter.starz@raumberg-gumpenstein.at](mailto:walter.starz@raumberg-gumpenstein.at)

## Boden

Im Artikel 5 der Verordnung EG 834/2007 über die biologische Produktion und die Kennzeichnung von biologischen Erzeugnissen lautet der erste spezifische Grundsatz: „*Erhaltung und Förderung des Bodenlebens und der natürlichen Fruchtbarkeit des Bodens, der Bodenstabilität und der biologischen Vielfalt des Bodens zur Verhinderung und Bekämpfung der Bodenverdichtung und -erosion und zur Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen hauptsächlich über das Ökosystem des Bodens.*“ In diesem Grundsatz findet der Stellenwert des Bodens für die Biologische Landwirtschaft einen klaren gesetzlichen Ausdruck. Rudolf STEINER (1984) merkte in seinen Vorträgen von 1924 bereits an, dass man den Boden wie ein Organ betrachten muss. RUSCH (2004) führte die erweiterte Betrachtung des Bodens weiter und sprach 1968 von einem Kreislauf der lebendigen Substanz. Damit legte er einen Schwerpunkt der Bodenbetrachtung auf die mikrobiologischen Prozesse, die zu jener Zeit noch weitgehend unbekannt waren. Die Bodenforschung kennt heute viele wichtige Prozesse an denen die organische Substanz maßgeblich beteiligt ist. So ist beispielsweise die Bodenfauna, neben den Pflanzenwurzeln, der zentrale Schlüssel bei der Bildung des Krümelgefüges (GISI et al. 1997) und somit der Strukturbildung im Boden. Dabei beträgt der gesamte Anteil der organischen Substanz z.B. im Grünlandboden lediglich 7 Volums-% und davon haben die Bodenfauna und -flora einen durchschnittlichen Anteil von 5 Gewichts-% (SCHROEDER 1992). Doch diese wenigen Prozentpunkte sind es die eine Lebendverbauung bewirken, aktiv organische Stoffe um- und aufbauen und mit den Pflanzenwurzeln direkt in Interaktion (z.B. Wurzelknöllchen oder Mykorrhiza) treten (GISI et al. 1997). Ein weiterer wichtiger Schlüsselmechanismus im Boden ist die Interaktion zwischen den Pflanzenwurzeln und dem Bodenleben. So zeigt sich in Böden mit geringen Gehalten an mineralischem Stickstoff und gleichzeitig hohen Mengen an Kohlenstoffverbindungen, als Resultate von Wurzel-ausscheidungen, eine hohe Aktivität der Mikroorganismen (FRIEDEL 2008). Durch das aktive Ausscheiden von Stoffen durch die Wurzel werden Bodenorganismen gezielt angelockt (GISI et al. 1997), die wiederum durch Um- und Aufbauaktivitäten Stoffe bilden, die von den Wurzeln aufgenommen werden.

## Pflanzenernährung

Die heute klassische Methode der Düngung beruht auf einem Bilanzansatz, der die Grundsätze der Liebig'schen Mineraltheorie berücksichtigt. Hierbei werden die Nährstoffe, die die Pflanze der Bodenlösung entzogen hat durch eine Düngung ersetzt. Somit stehen die Nährstoffe in der Bodenlösung im chemischen Gleichgewicht mit den Nährstoffen, die an Austauschoberflächen im Boden haften (FRIEDEL 2008). Diese Sichtweise der Mineraltheorie relativierte sogar Liebig im Laufe seines Lebens und betonte auch die Bedeutung des Bodens als Nährstofflager und -lieferant sowie die Vollwertigkeit der organischen Düngung (HERRMANN und PLAKOLM 1991).

Die Biologische Landwirtschaft versucht aus dem Kreislaufdenken heraus die Düngung nicht als eigenständige Sache

sondern als ein Teil des Zusammenspiels von Boden und Pflanze zu betrachten.

Da die Konzentration an Nährstoffen in der Bodenlösung in der Biologischen Landwirtschaft meist geringer als im konventionellen System ist, deutet dies nicht unmittelbar auf eine Unterversorgung der Pflanze hin. So kennt man beispielsweise die Fähigkeit der Leguminosen durch Wurzel-ausscheidungen den pH Wert aktiv abzusenken um somit zusätzlich Phosphor aus dem Bodenvorrat zu lösen (FREYER 2003). Zusätzlich zeigen Pflanzen in Böden mit geringeren Nährstoffkonzentrationen auch eine stärkere Durchwurzelung, da sie sich die Nährstoffe aktiv erwachsen müssen. Zusätzlich wird durch die Mykorrhizieung die Aufnahmeaktive Oberfläche der Pflanze stark vergrößert was unterstützend auf die Nährstoffaufnahme wirkt (FRIEDEL 2008).

## Düngerkonzept

Das Düngerkonzept in der Biologischen Landwirtschaft wird wesentlich durch das Kreislaufprinzip geprägt, was ein zirkulieren von Nährstoffen am eigenen Betrieb bedeutet (FRIEDEL 2008). Bei der Düngung in der Biologischen Landwirtschaft steht die Fütterung der Bodenlebewesen im Vordergrund. Daraus ergibt sich das Konzept hauptsächlich organisch wirksame Dünger zu verwenden, die bodenverträglich aufbereitet und gelagert werden sowie in mehrmaligen kleinen Mengen ausgebracht werden. Dieses Düngerkonzept darf nicht als Gegensatz sondern als eine erweiterte Betrachtung zur Liebig'schen Mineraltheorie gesehen werden. Trotzdem müssen Werte der Standardbodenanalyse und davon abgeleitete Düngerempfehlungen kritisch betrachtet werden, da die zu Grunde gelegten Grenzwerte aus gedüngten Hohertragssystemen entwickelt wurden (PAULSEN et al. 2009). Solche Höchsterträge können in der Biologischen Landwirtschaft nicht erreicht werden und sind auch nicht mit den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft vereinbar. Das Bewirtschaftungsziel in der Biologischen Landwirtschaft ist die Erreichung des für den jeweiligen Standort optimalen Ertrages.

Die in der Standardbodenanalytik ermittelten Werte beschreiben überwiegend den Zustand der in Lösung befindlichen bzw. leicht löslichen Nährstofffraktionen (FRIEDEL 2008). Die Biologische Landwirtschaft ist hauptsächlich auf die Nährstoffe in den organisch gebundenen Bodenfraktionen und deren Nachlieferung angewiesen, wodurch die Bedeutung der Humuspflüge unterstrichen wird (PAULSEN et al. 2009).

Dass die langfristig angelegten Düngerkonzepte der Biologischen Landwirtschaft erfolgreich sind konnte in einer Reihe von Langzeitversuchen festgestellt werden. Folgend sind 2 dieser Versuche und einige Ergebnisse beispielhaft angeführt.

## DOK-Versuch

1978 wurde in der Schweiz auf einem ackerbaulich genutzten Lössboden der DOK-Versuch angelegt. In diesem Versuch werden das biologisch-dynamische, organisch-biologische und konventionelle Verfahren bei unterschiedlichen Düngerstufen miteinander verglichen. Alle Systeme haben dieselbe Fruchtfolge und Düngermenge. Lediglich die Art

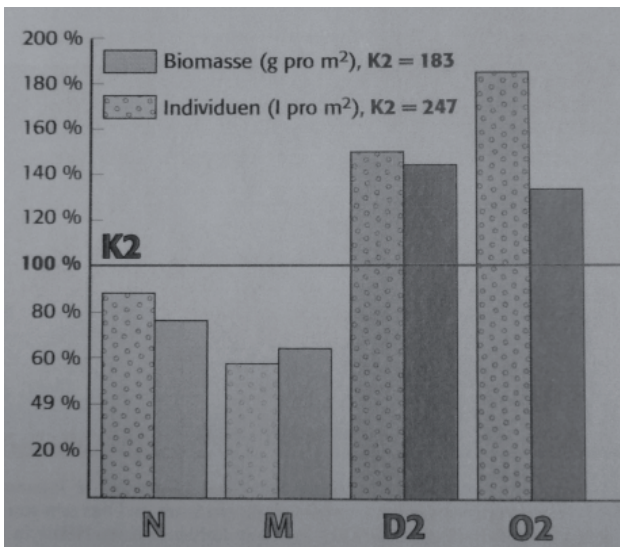


Abbildung 1: Biomasse und Individuenzahl der Regenwürmer im Mittel der Jahre 1990-1992 (FLIESSBACH et al. 2000); Varianten mit Düngungs-niveau 1,4 DGVE/ha: K2: konventionell mit Mist, Gülle und mineralischem NPK Dünger, N: nicht gedüngt, M: konventionell mit mineralischem NPK Dünger, D2: biologisch-dynamisch mit Mistkompost und Gülle, O2: organisch-biologisch mit Rottemist und Gülle

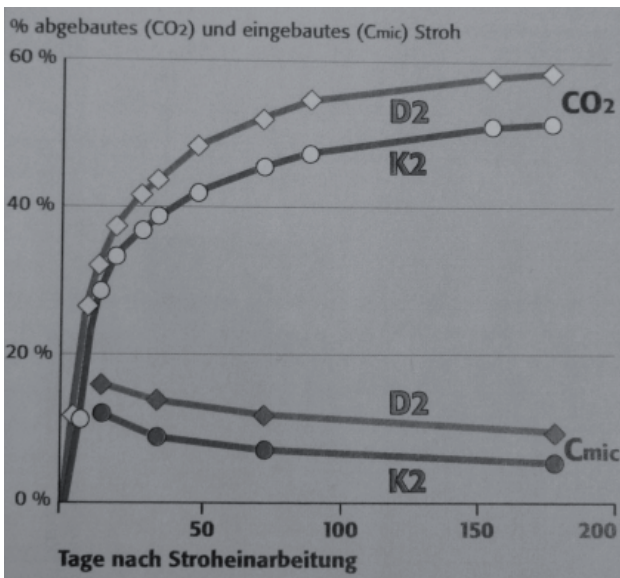


Abbildung 2: Veratmung und Zunahme der mikrobiellen Biomasse nach Strohzugabe (FLIESSBACH et al. 2000); Varianten mit Düngungs-niveau 1,4 DGVE/ha: K2: konventionell mit Mist, Gülle und mineralischem NPK Dünger, D2: biologisch-dynamisch mit Mistkompost und Gülle

des Düngers und die Düngungszeitpunkte unterschieden sich (FLIESSBACH et al. 2000). In den Böden der Biovarianten konnte eine eindeutig bessere Aggregatstabilität nachgewiesen werden. Dies äußert sich z.B. durch eine schnelle Infiltration des Wassers und nicht verschlämmen der Bodenoberfläche in den Biovarianten gegenüber den konventionellen Varianten. Diese Beobachtung wurde in Wasserdurchflussversuchen im Labor bestätigt. In weiterer

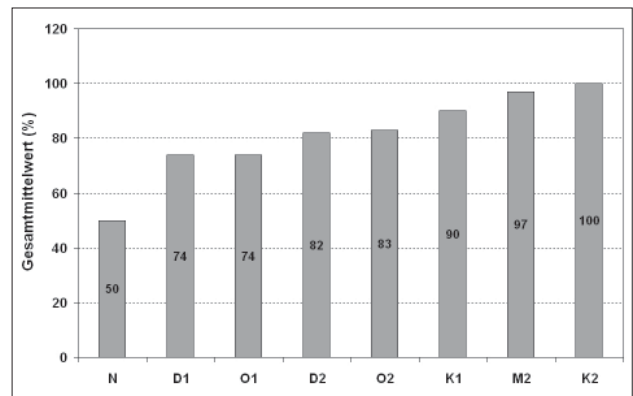


Abbildung 3: Gesamtmittelwert der Erträge aller Kulturen in der Fruchtfolge von 1992- 2005 (JOSSI et al. 2009); Varianten: N: nicht gedüngt, D1: biologisch-dynamisch mit Mistkompost und Gülle (1,4 DGVE/ha), D2: biologisch-dynamisch mit Mistkompost und Gülle (0,7 DGVE/ha), O1: organisch-biologisch mit Rottemist und Gülle (1,4 DGVE/ha), O2: organisch-biologisch mit Rottemist und Gülle (0,7 DGVE/ha), K1: konventionell mit Mist, Gülle und mineralischem NPK Dünger (0,7 DGVE/ha), M2: konventionell mit mineralischem NPK Dünger (1,4 DGVE/ha), K2: konventionell mit Mist, Gülle und mineralischem NPK Dünger (1,4 DGVE/ha)

Folge wurde auch die Regenwurmbiomasse erhoben (siehe Abbildung 1), die in den Biovarianten höher war. Bei Untersuchungen mit getrockneten Böden traten keine Unterschiede zwischen den Varianten auf. Dies deutet darauf hin, dass die Unterschiede vor allem mit der biologischen Aktivität in feuchten Böden zusammenhängt (MÄDER et al. 2000). Die höhere mikrobielle Biomasse in den biologischen Böden hat auch eine weitere Folge. Hier wurde das eingebrachte Stroh schneller aufgearbeitet und in größerem Umfang in die Mikrobielle Biomasse eingebaut (siehe Abbildung 2). Hiermit konnte gezeigt werden, dass durch die Biologische Bewirtschaftung sowohl die Mineralisierungs- als auch die Humusaufbauprozesse intensiver ablaufen (FLIESSBACH et al. 2000). Somit kann das Biosystem auch zu einer CO<sub>2</sub> Senke werden, was in die Klimadiskussionen mehr Eingang finden sollte.

Bei der Betrachtung der Ertragslage in diesem Langzeitversuch sind die konventionellen den Biovarianten überlegen (siehe Abbildung 3). Die Leistungsfähigkeit der Biosysteme liegt, bei gleichem Düngungs-niveau zum konventionellen System, bei 82 %. Interessant wird die Betrachtung wenn die Düngermenge halbiert wird. Hier sinken die Erträge der Biovarianten nur geringfügig auf 74 % gegenüber der konventionellen Normdüngungsvariante. Wird nun auch im konventionellen System die Düngermenge halbiert so liegen diese mittleren Erträge immer noch über den der düngers-halbierten Biovarianten. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei diesem System noch immer mineralischer Stickstoffdünger und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden (JOSSI et al. 2009).

### Darmstädter Düngungsversuch

Seit 1980 wird der Langzeit-Düngerversuch in Darmstadt betrieben. In diesem Versuch werden unterschiedlich hohe

**Tabelle 1: Mikrobiologische Parameter und organische Substanz des Bodens bei Rottemist und Mineraldüngung. Mittelwerte der Jahre 1989-1991 (BACHINGER 1996)**

|      | DHA <sup>1</sup> | PA <sup>2</sup> | DRA <sup>3</sup> | ATP <sup>4</sup> | N <sub>mic</sub> <sup>5</sup> | C <sub>mic</sub> <sup>6</sup> | C <sub>org</sub> <sup>7</sup> | Nt <sup>8</sup> | DHA/C <sub>org</sub> | PA/C <sub>org</sub> |
|------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| RM   | 129              | 125             | 118              | 128              | 115                           | 114                           | 115                           | 113             | 112                  | 109                 |
| RMBD | 144              | 130             | 127              | 144              | 126                           | 126                           | 131                           | 129             | 110                  | 99                  |
| MIN  | 100              | 100             | 100              | 100              | 100                           | 100                           | 100                           | 100             | 100                  | 100                 |

Varianten: RM: Düngung mit gerottetem Rindermist, RMBD: Düngung mit gerottetem Rindermist und biologisch-dynamische Präparate, MIN: mineralische Düngung  
<sup>1</sup>: Dehydrogenase-Aktivität, <sup>2</sup>: Protease-Aktivität, <sup>3</sup>: Dimethylsulfoxidreduktase-Aktivität, <sup>4</sup>: Adenosintriphosphat-Gehalt, <sup>5</sup>: Stickstoff in der mikrobiellen Biomasse, <sup>6</sup>: Kohlenstoff in der mikrobiellen Biomasse, <sup>7</sup>: organischer Kohlenstoff, <sup>8</sup>: Gesamtstickstoff

Düngerniveaus mit unterschiedlichen Düngerniveaus (mineralisch, gerotteter Rindermist ohne und mit biologisch-dynamische Präparate) miteinander verglichen. Diese Versuchsanlage befindet sich ebenfalls auf einem Ackerbaustandort und die Bedingungen (Düngungsniveau und Fruchtfolge) sind für alle Varianten gleich. In dieser Untersuchung konnten höhere Humusgehalte in den Rottemistvarianten gegenüber der Mineraldüngervariante festgestellt werden. Damit korreliert war auch die Masse von Mikroorganismen (RAUPP 2000). Die Organismenaktivität wurde in diesem Versuch anhand der Enzymaktivität im Boden (BACHINGER 1996) gemessen (siehe *Tabelle 1*). Hier zeigen die Biovarianten mit Rottemist höhere Werte.

Bei den Erträgen verhält es sich ähnlich wie im DOK-Versuch. Die meisten Fruchtfolgeglieder waren im Ertrag bei den Rottemistvarianten geringer als bei den mineralisch gedüngten. Der Sommerweizen brachte es im Mittel in beiden Systemen auf ähnliche Erträge. Bei dieser Kultur wurde in einzelnen Jahren beobachtet, dass bei optimalen Bedingungen (Temperatur, Niederschläge usw.) Spitzenerträge in der Mineraldüngervariante erzielt wurden, die deutlich höher waren als in den Rottemistvarianten. In Jahren mit ungünstigen Wachstumsbedingungen (z.B. Trockenheit) brach der Ertrag in der Mineraldüngervariante stärker ein als in den Rottemistvarianten. Dies deutet darauf hin, dass das Biosystem unter suboptimalen Bedingungen eine stärkere Pufferwirkung besitzt (RAUPP 2001).

## Ausblick

Boden und Düngung waren und sind zwei Kernelemente der Biologischen Landwirtschaft. Untersuchungen zeigen, dass erste Veränderungen der vorrangig organischen Düngung in der Biolandwirtschaft erst nach mehreren Jahren festgestellt werden können. Bei der singulären Betrachtung der Erntemenge schneiden System mit hohem Stoffinput in der Regel besser ab als das Biosystem. Dieser Zustand muss vor dem Hintergrund verknappender Ressourcen bei Rohstoffen und Energie kritisch diskutiert werden. Die Herstellung von mineralischen Stickstoffdüngern sowie von chemisch synthetischen Pflanzenschutzmitteln bedarf einer sehr hohen Energieaufwendung. Wenn nun Energie knapp wird und die Preise dafür steigen stellt sich die Frage bis zu welchem Preis solche Höchstserträge noch sinnvoll sind. Ebenfalls muss die Endlichkeit von fossilen mineralischer Düngerniveaus, wie z.B. Rohphosphaten, bedacht und kritisch diskutiert werden.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels muss in den nächsten Jahrzehnten mit sehr unterschiedlichen Wachstumsbedingungen gerechnet werden. Auch hier konnten Versuche

zeigen, dass die Strategie der Biologischen Landwirtschaft eine höhere Pufferkapazität aufweist als aufgedüngte Hochertragssysteme. Zusätzlich können Bioböden bei optimaler organischer Düngung eine CO<sub>2</sub>-Senke darstellen.

Die Biologische Landwirtschaft, ihr Düngungsverständnis sowie das Düngerkonzept können als Schlüsseltechnologie eine moderne und nachhaltige Form der Landbewirtschaftung darstellen, wenn die Weichen in Politik, Gesellschaft und Forschung dahin ausgerichtet werden.

## Literatur

- BACHINGER, J., 1996: Der Einfluß unterschiedlicher Düngungsarten (mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch) auf die zeitliche Dynamik und die räumliche Verteilung von bodenchemischen und -mikrobiologischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen- und Wurzelwachstum von Winterroggen. Dissertation Universität Gießen.
- EG 834/2007: Verordnung (EG) Nr. 837/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 (Abl. L 189 vom 20.07.2007).
- FLIESSBACH, A., P. MÄDER, L. PFIFFNER, D. DUBOIS und L. GUNST, 2000: Erkenntnisse aus 21 Jahren DOK-Versuch: Bio fördert Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt. FiBL-Dossier, 1. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick.
- FREYER, J., 2003: Fruchtfolgen – konventionell, integriert, biologisch. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 74.
- FRIEDEL, J., 2008: Aktive Nährstoffmobilisierung und ihre Bedeutung für die Düngerpraxis im Biologischen Landbau. In: Bericht Umweltökologisches Symposium – Sachgerechte Düngung im Blickfeld von Untersuchungsergebnissen. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 04.-05.03.2008, 35-39.
- GISI, U., R. SCHENKER, R. SCHULIN, F.X. STADELMANN und H. STICHER, 1997: Bodenökologie. 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 3-6.
- HERRMAN, G. und G. PLAKOLM, 1991: Ökologischer Landbau - Grundwissen für die Praxis. Österreichischer Agrarverlag, 90-94.
- JOSSI, W., L. GUNST, U. ZIHLMANN, P. MÄDER und D. DUBOIS, 2009: DOK-Versuch: Erträge bei halber und praxisüblicher Düngung. Agrarforschung, 16 (8), 296-301.
- KOEPF, H.H. und B. von PLATO, 2001: Die biologisch-dynamische Wirtschaftsweise im 20. Jahrhundert – Die Entwicklungsgeschichte der biologisch-dynamischen Landwirtschaft. Verlag am Goetheanum, Dornach, 17-19.
- MÄDER, P., A. FLIESSBACH und U. NIGGLI, 2000: Bodenfruchtbarkeit und ökologischer Landbau. Lebendige Erde – Biologisch-dynamische Landwirtschaft, Ernährung, Kultur, 4/2000, Darmstadt, 12-16.
- PAULSEN, H.M., S. SCHRADER und E. SCHUNG, 2009: Eine kritische Analyse von Ruschs Theorien zur Bodenfruchtbarkeit als Grundlage für die Bodenbewirtschaftung im Ökologischen Landbau. Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research 3, Nr. 59, 253-268.

- RAUPP, J., 2000: Dauerversuch Darmstadt – Die organische Substanz des Bodens unter dem Einfluss von Stallmistdüngung und biologisch-dynamischen Präparaten. *Lebendige Erde – Biologisch-dynamische Landwirtschaft, Ernährung, Kultur*, 4/2000, Darmstadt, 42-45.
- RAUPP, J., 2001: Zwanzig Jahre Langzeit-Düngungsversuch. *Ökologie und Landbau*, 118, 2/2001, 29-31.
- RUSCH, H.P., 2004: Bodenfruchtbarkeit – Eine Studie biologischen Denkens. 7. Auflage, Organischer Landbau Verlag, Xanten, 14-16, 54f.
- SATTLER, F. und E. von WISTINGHAUSEN, 1989: *Der landwirtschaftliche Betrieb biologisch-dynamisch*. 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 55.
- SCHROEDER, D., 1992: *Bodenkunde in Stichworten*. 5. rev. u. erw. Auflage von BLUM, W. E. H., Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin, 12, 36.
- STEINER, R., 1984: *Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft – Landwirtschaftlicher Kurs*. 7. Auflage, Rudolf Steiner Verlag, Dornach, 44f.