

# Einfluss der Kompostanwendung auf die Bodenenzymatik

M. REINHOFER und E. STEINLECHNER

## Einleitung

Die Messung individueller Enzymaktivitäten kann Aufschluss geben über spezifische Nährstoffkreisläufe oder spezifische Abbauprozesse im Boden. Auf Grund der hohen Sensitivität von Bodenenzymen können sie für Aussagen über die Wirkung verschiedener chemischer oder physikalischer Behandlungen des Bodens und auf dessen biologische Aktivität herangezogen werden.

Im Zeitraum von 1993-1996 bzw. 1993-1997 wurden am Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung der Joanneum Research zwei Forschungsprojekte mit dem Schwerpunkt Kompostierung und Wirkungen des Kompostes auf den Boden und Ertrag durchgeführt. In die sehr umfangreichen Untersuchungsprogramme beider Projekte wurden neben chemischen, physikalischen und biologischen Untersuchungen auch mikrobiologische Parameter miteinbezogen.

## Kurzbeschreibung der Projekte

Das Projekt „Einsatz von Stallmist und Mistkompost im Acker-/Grünlandgebiet und dessen Einfluss auf Pflanzen und Boden unter bilanzierter Betrachtung der Nährstoffe in einem biologisch geführten Betrieb“ (STEINLECHNER et al. 1996) wurde in Zusammenarbeit mit der Versuchstätigkeit der Abteilung für Landwirtschaftliches Schulwesen der Steiermärkischen Landesregierung, mit der landwirtschaftlichen Fachschule Alt-Grottenhof, mit der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, der Karl-Franzens-Universität Graz und der Technischen Universität Graz durchgeführt. Die im Rahmen des vorliegenden Projektes durchgeführten Untersuchungen sollten Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit der Stallmist-Kompostierung und die mögliche Aufwertung des Stallmistes durch die Kompostierung im Hinblick auf Düngewirkung und Bodenverbesserung geben.

Als Versuchsstandorte dienten Flächen der Landwirtschaftsschule Alt-Grottenhof mit insgesamt 16 Parzellen in drei Varianten (Rottemist / Kompost / Nullvariante) mit vier Wiederholungen, und der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein mit Parzellen zu zwei Varianten (Rottemist / Kompost) mit vier Wiederholungen. Das Untersuchungsprogramm umfasste bei den Wirtschaftsdüngern eine chemische Analyse, eine Massenbilanzierung, die Verfolgung der Rotte sowie die Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs der Kompostierung. An den Kulturen wurden der Ertrag und die Beikrautvegetation sowie eine Fruchtbonitierung durchgeführt.

Die Bodenuntersuchungen umfassten chemische (Nährstoffe,  $N_{\min}$ , Humus, Spurenelemente, pH-Wert, C/N Verhältnis, austauschbare Kationen, Karbonate), physikalische (Aggregatstabilität, Bodentemperatur), biologische (Bodenmesofauna, Wurzelmasse) und mikrobiologische (Grundatmung, substratinduzierte Respiration (SIR), Dehydrogenase, alkalische Phosphatase, Protease, Urease) Parameter.

Das Projekt „Studie zur Kompostierung von Biomüll seine Verwendung in der Landwirtschaft und die Auswirkungen auf den Boden“ (REINHOFER et al. 1997) befasste sich mit der Praxis der Biomüllkompostierung in landwirtschaftlichen Betrieben, der erreichbaren Kompostqualität und den Auswirkungen des Kompostes auf Boden und Pflanzenertrag. Die Untersuchungen zur Kompostierung erfolgten bei zwei landwirtschaftlichen Kompostbetrieben in der Weststeiermark und einer Vielzahl von Vergleichsbetrieben, die Feldversuche wurden bei einem der beiden Kompostbetriebe in Bad Gams durchgeführt, wobei zur Düngung ausschließlich der vor Ort produzierte Biomüllkompost verwendet wurde. Die Kompostdüngung wurde einer Mineraldüngung (handelsüblicher Kombinationsdünger) gegen-

übergestellt. Der Versuch war in zwei Varianten (Mineraldünger/Biomüllkompost) mit vierfacher Wiederholung angelegt. Das Untersuchungsprogramm für die Kompostierung setzte sich aus einer Rotteverfolgung und Beurteilung der Kompostqualität (nach ÖNORM S 2200) und Verfahrenstechnik sowie einer Massebilanzierung zusammen. An den Kulturen wurde der Ertrag, Wurzelmasse und die Beikrautvegetation bestimmt. Das Bodenuntersuchungsprogramm umfasste chemische Parameter (Nährstoffe,  $N_{\min}$ , Humus, Carbonate, pH-Wert, Schwermetalle), physikalische Parameter (Aggregatstabilität, Wassergehalt), biologische Parameter (Bodenfauna, Wurzelmasse) und mikrobiologische Parameter (Grundatmung, substratinduzierte Respiration (SIR), Dehydrogenase, Urease, Protease, alkalische und saure Phosphatase).

## Mikrobiologische Untersuchungen

### Methodik

Die Probenahmen für die mikrobiologischen Untersuchungen beider Projekte erfolgten zu drei Terminen (März/April, Juni/Juli, Okt./Nov) während eines Zeitraumes von 3 Jahren. Untersucht wurden in beiden Projekten zu jedem Termin als Indikatoren für den Stickstoffkreislauf Urease (nach TABATABAI & BREMNER 1972, modifiziert nach SCHINNER et al. 1991) und Protease (nach LADD & BUTLER 1972, modifiziert nach SCHINNER et al. 1991), als Enzym des intrazellulären Stoffwechsels die Dehydrogenase (nach SCHINNER et al. 1991), als Indikator für den Kohlenstoffkreislauf die Grundatmung (nach ISERMEYER 1952, modifiziert nach JÄGGI 1976), zur indirekten Bestimmung der mikrobiellen Biomasse die Substratinduzierte Respiration (SIR) (nach ANDERSON & DOMSCH 1978) und als Enzym des Phosphorkreislaufes die Phosphomonoesterase (saure und

**Autoren:** Mag. Dr. Marion REINHOFER und Dr. Elisabeth STEINLECHNER, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung, Elisabethstrasse 16-18/I, A-8010 GRAZ

alkalische Phosphatase) (nach HOFFMANN 1968, modifiziert nach SCHINNER et al. 1991). Die statistischen Auswertungen wurden nach SACHS 1984 durchgeführt.

Urease katalysiert die Hydrolyse von Harnstoff zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{NH}_3$ . Dieses Enzym wurde in vielen höheren Pflanzen, in Mikroorganismen und Tieren gefunden. Im Boden ist die Urease zum größten Teil mikrobiellen Ursprungs. Harnstoff gelangt über tierische Exkremente und den Abbau von N-haltigen Basen aus Nucleinsäuren in den Boden. Weiters wird Harnstoff als Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt.

Proteine stellen im Boden eine leicht mobilisierbare Stickstoffquelle dar. Der Abbau dieser Verbindungen zu Aminosäuren wird durch Proteasen katalysiert. Diese Enzyme werden im Boden vor allem von Bakterien und Pilzen gebildet. Die von Mikroorganismen ausgeschiedenen Proteasen können durch Adsorption an Huminstoffe und an Tonminerale stabilisiert werden. (LOLL & BOLLAG 1983). Durch Bindung der Proteasen an verschiedene Kohlenhydrate ist ein zusätzlicher Schutz möglich (SARKAR et al. 1980). Charakteristisch für Proteasen ist weiters ihre hohe Beständigkeit gegenüber dem Angriff von zugesetzten proteolytischen Enzymen (LADD 1972, MAYAUDON et al. 1975). Proteasen sind im Unterschied zu anderen Enzymen (wie z.B. der Urease) jedoch gegenüber Austrocknung sehr empfindlich. So verringert sich die Aktivität von Proteasen bei Lufttrocknung des Bodens sehr stark (SPEIR & ROSS 1981).

Dehydrogenasen werden zu den Oxidoreductasen gezählt und bewirken die Oxidation organischer Verbindungen durch Abspaltung von zwei Wasserstoffatomen. Viele spezif. Dehydrogenasen übertragen den abgespaltenen Wasserstoff auf eines der beiden Co-Enzyme NAD oder NADP. Durch diese C-Enzyme wird der Wasserstoff in die Atmungskette eingeschleust oder ist an reduktiven Vorgängen von Biosyntheseprozessen beteiligt. Die Dehydrogenaseaktivität eines Bodens resultiert daher aus der Aktivität verschiedener Dehydrogenasen, welche ein wesentlicher Bestandteil des Enzymsystems sämtlicher Mikroorganismen sind (Enzyme des Atmungs-

stoffwechsels, des Citratcyklus und des Stickstoffwechsels). Die Dehydrogenaseaktivität dient als Indikator für biologische Redoxsysteme und kann als Maß für die Intensität mikrobieller Stoffumsetzungen im Boden angesehen werden (TABATABAI 1982).

Phosphatasen sind von besonderer Bedeutung für die Pflanzenernährung. In den meisten Böden ist der organisch gebundene P-Anteil höher als der anorganische. Unter den organischen Phosphorsäureestern bildet Phytansäure bzw. Phytin einen Hauptanteil im Boden. Die Aufnahme von Phosphor in Pflanzen setzt eine Mineralisierung der organischen P-Komponente durch Phosphatasen zu Orthophosphat voraus (SPEIR & ROSS 1978, MALCOLM 1983). Phosphatasen sind induzierbare Enzyme, die v.a. bei geringer Verfügbarkeit von Phosphat verstärkt gebildet werden. Phosphatasen können sowohl aus Pflanzenwurzeln stammen als auch mikrobiellen Ursprungs sein. Im Boden dominieren mikrobielle Phosphatasen.

Die Bodenatmung resultiert aus dem Abbau von organischer Substanz (z.B. Mineralisierung von Ernterückständen). Unter ungestörten Bedingungen stellt sich im Boden ein ökologisches Gleichgewicht zwischen den Organismen und deren Tätigkeit ein. Die Respiration in diesem Zustand wird als Grundatmung bezeichnet. Bei einer Störung dieses Gleichgewichtes z.B. durch Zufuhr von organischer Substanz, verändert sich die Bodenatmung infolge eines intensiven Wachstums und einer verstärkten Tätigkeit der Mikroorganismen. Die  $\text{CO}_2$  Freisetzung eines Bodens ist daher ein Maß für die bodenbiologische Aktivität in ihrer Gesamtheit.

Als Ergänzung zur Bodenatmung wurde die Biomassebestimmung als substratinduzierte Respiration (SIR) durchgeführt. Die Bestimmung der Biomasse mit dieser Methode erfasst die stoffwechselaktive Mikroflora, aber keine abgestorbenen oder metabolisch nicht aktive Biomasse. (SCHINNER et al. 1991)

## Ergebnisse

### Ergebnisse und Diskussion aller drei Untersuchungsjahre in Bad Gams

Die im Untersuchungszeitraum ermittelten Analysenwerte weisen bei fast kei-

nem der untersuchten Parameter signifikante Unterschiede zwischen den Düngewarianten auf. In den wenigen Fällen, bei denen signifikante Unterschiede (Irrtumswahrscheinlichkeit:  $\alpha = 5\%$ ) auftraten, zeigten Mineraldüngervarianten die höheren Enzymaktivitäten bei Grundatmung, Protease, Urease und alkalische Phosphatase. Dass diese mit Mineraldünger behandelten Parzellen signifikant höhere Aktivitätswerte aufwiesen als die mit ihnen verglichenen Kompostparzellen, liegt, wie sich bei einer genaueren Betrachtung der Bodenverhältnisse ergab, in der kleinräumigen Unterschiedlichkeit letzterer begründet. Ein Düngungseinfluss kann zwar nicht dezidiert ausgeschlossen werden, ist aber unter den gegebenen Bedingungen nicht nachweisbar.

Für die Aktivität der Urease ist ein eindeutiger Zusammenhang mit der Bodengrundbeschaffenheit erkennbar. Sie war in jener Parzelle am stärksten nachweisbar, deren Oberboden als Schluff und „gering tonig“ ausgewiesen wurde und wies in der Parzelle, deren oberste Bodenschicht aus Feinsand bestand, nur geringe Aktivität auf. Zu demselben Ergebnis gelangten STEMMER et al. 1996.

In Bezug auf die Protease-Aktivität konnte eine positive Korrelation zwischen ihr und der Abundanz der Mesofauna festgestellt werden. Dieser Befund wird durch eine Arbeit von KANDELER et al. 1996, in der nachgewiesen werden konnte, dass die Protease-Aktivität (Katalysator am Beginn der N-Mineralisierung) unter dem Einfluss der Mesofauna im Oberboden erhöht wurde, bestätigt. Außerdem ließ sich deutlich der unmittelbare Einfluss der Kompostdüngung auf die Protease- und SIR- (Parameter für die aktive Biomasse) Aktivität feststellen: Vom Sommer bis zum Herbst 1995- in diesen Zeitraum fiel die Düngung der Kompostparzellen- war ein starker Anstieg der Aktivitätswerte erkennbar. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Protease empfindlich auf die Zufuhr von organischer Substanz reagiert (SCHWAIGER & WIESHOFFER 1996).

Der oben beschriebene Parzelleneffekt trat nicht in Bezug auf alle untersuchten Parameter gleichermaßen stark in Erscheinung und überdeckte nicht überall den Düngungseffekt. So wiesen die Bio-

müllkompostparzellen an mehreren Terminen tendenziell höhere Dehydrogenase-Aktivitätswerte auf als die mineraldüngerbehandelten Vergleichsparzellen. Dies deckt sich mit Beobachtungen von THALMANN 1967 und SCHRÖDER 1980, die bei geringerer Zufuhr organischer Düngemittel eine verminderte Dehydrogenase-Aktivität feststellten. In Bezug auf die alkalische Phosphatase verhielt es sich umgekehrt. Hier wies die Mineraldüngervariante oftmals höhere Aktivitätswerte auf.

Ein ausgeprägter saisonaler Verlauf konnte in allen drei Jahren nur bei der Grundatmung und der alkalischen Phosphatase festgestellt werden, die in Abhängigkeit vom aktuellen Wassergehalt, in den Sommermonaten die niedrigsten Aktivitätspotentiale aufwiesen. Bei den Parametern Grundatmung, SIR, Dehydrogenase, Urease und Protease war auf allen Parzellen vom Sommer bis zum Herbst 1995 ein starker Anstieg der Aktivitätswerte festzustellen. Da in diesen Zeitraum, wie bereits erwähnt, die Ernte und die anschließenden Bodenbearbeitungs- und Düngungsmaßnahmen (nur auf den Kompostparzellen) fielen, war der Anstieg aller Wahrscheinlichkeit nach darauf zurückzuführen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die Zufuhr organischer Substanz zumindest temporär positiv auf die Enzymaktivitäten auswirkte. Aus den Ergebnissen eine allgemeingültige Beurteilung der Düngewirkung ableiten zu wollen, ist aufgrund der geringen statistischen Signifikanz der gefundenen Unterschiede nicht zulässig. Allerdings weisen die gefundenen Tendenzen daraufhin, dass sich bei Beobachtung über einen längeren Zeitraum ein Düngeeffekt auf die Bodenmikrobiologie herauskristallisieren könnte.

### **Ergebnisse und Diskussion aller drei Untersuchungsjahre in Alt Grottenhof**

Im ersten Versuchsjahr waren keine prüfstatistisch signifikanten Unterschiede in den biochemischen Umsetzungen, sowohl innerhalb der Düngevarianten, als auch im Vergleich zur Nullvariante erkennbar. Der Schluss, dass mögliche Auswirkungen der Düngemaßnahmen sich erst mittel- bis langfristig in ökologischen Zustandsveränderungen wider-

spiegeln, deckt sich mit Beobachtungen von BECK 1986.

Tendenzielle Veränderungen bei sämtlichen mikrobiologischen Parametern fanden sich ab Sommer des zweiten Versuchsjahres in allen Düngevarianten, also zumindest in abgeschwächter Form, auch in der Nullvariante. Eventuell vorhandene Effekte der Düngemaßnahmen wurden demnach durch Bewirtschaftung und Fruchtfolge überlagert und waren daher nicht verifizierbar.

Die varianzanalytische Auswertung ergab, dass zu den meisten Terminen keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Düngevarianten festzustellen waren. In einigen Fällen waren sogar von einem Termin zum nächsten vollkommen gegenläufige Tendenzen feststellbar.

### **Ergebnisse und Diskussion aller drei Untersuchungsjahre in Gumpenstein**

Die Ergebnisse wiesen zumindest temporär auf erhöhte Biomasseentwicklungen und -aktivitäten in der Rottemistvariante hin, die sich durch eine raschere Nährstoffverfügbarkeit gegenüber der Kompostvariante erklären lassen.

Unter der eingeschränkten Betrachtung des gewählten Enzymmusters lässt sich aufgrund der geringen statistischen Signifikanz der ermittelten Unterschiede, eine über den dynamischen Gleichgewichtszustand der mikrobiellen Zönose hinausgehende Beeinflussung, die eine Bevorzugung einer der beiden Düngevarianten rechtfertigen würde, nicht ableiten.

In jenen Fällen bei denen zwischen den beiden Varianten signifikante (Irrtumswahrscheinlichkeit:  $\alpha = 5\%$ ) Unterschiede festzustellen waren, fiel auf, dass in allen Fällen die Rottemist-Variante die höheren Werte zeigte. Dasselbe galt auch für schwach signifikante (Irrtumswahrscheinlichkeit:  $\alpha = 10\%$ ) Unterschiede.

### **Resümee**

Die direkte Vergleichbarkeit der einzelnen Versuche ist auf Grund der sehr unterschiedlichen Standortverhältnisse und Versuchsanordnungen nicht gegeben. Wie in den Feldversuchen in Gams sehr deutlich wurde, führen kleinräumig stark differierende Bodenmosaiken zu deutlichen Unterschieden in den Bodeneigen-

schaften, wodurch die Zuordnung verschiedener auftretender Effekte zu den einzelnen Einflussfaktoren erschwert wird. Weiters beeinflusst die Art der Vegetation und deren korrespondierender Typ an organischer Substanz ebenso wie die verschiedensten Dünger (in diesem Fall Stallmistkompost, Rottemist, Biomüllkompost) die Enzymaktivitäten (SONNLEITNER 1990).

Allen drei Versuchen war jedoch gemeinsam, dass sich die Auswirkungen der verschiedensten Düngevarianten erst mittel bis langfristig zeigten. In Alt Grottenhof wurde zum Beispiel erst ab dem Sommer des zweiten Jahres eine Tendenz zur Veränderung der Enzymaktivitäten festgestellt. Eine Feldversuchsdauer von drei Jahren, wie sie bei den vorgestellten Studien vorlag, ist für fundierte Aussagen über den Einfluss verschiedenster Dünge- und Bearbeitungsmaßnahmen auf den Boden zu kurz bemessen.

SCHWAIGER & WIESHOFFER 1996 konnten während eines mehrjährigen Feldversuches mit Kompost aus Biomüll generell einen Anstieg bodenmikrobiologischer Parameter in kompostgedüngten Flächen feststellen. Demnach besteht ein enger Zusammenhang mit dem höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff und dem Anstieg bodenmikrobiologischer Parameter. Ebenso zeigten Feldversuche mit Biomüllkompost (AMLINGER 1993) eine Aktivierung des Stoffumsatzes (SIR) durch Kompostdüngung an. Aus diese Untersuchungen lassen sich Trends auf eine „Belebungs“ des Stoffumsatzes durch eine Kompostdüngung schließen.

### **Literatur**

- AMLINGER F. 1993 (Hrsg.): Biotonne Wien. Theorie und Praxis. Wien
- ANDERSON J. & DOMSCH K. 1978: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol Biochem* 10:215-221.
- BECK 1984: Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden. I. Mitteilung: Die Ermittlung der Bodenmikrobiologischen Kennzahl. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 147, 243-252.
- GEHLEN P. & SCHRÖDER D. 1989: Bedeutung von pH-Wert,  $C_{org}$ -Gehalt, Kultur-, Substrat- und Jahreseinfluß für bodenmikrobiologische Eigenschaften in einheitlich genutzten Ackerböden. - *VDLUFA-Schriftenreihe* 30, S.467-472.
- ISERMEYER H. 1952: Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Carbo-

- nate im Boden. Z. Pflanzenernährung Bodenk. 56:26-38.
- JÄGGI W. 1976: Die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. Schw. Landw. Forschung 15:371:380.
- KANDELER E., KAMPICHLER C., BRUCKNER A., JÖRGENSEN R.G., MÖLTER K. & ZELLES L. 1996: Ändern Bodentiere die Gemeinschaftsstruktur der Mikroorganismen und deren Stoffwechsellleistungen in Mesokosmen? Mitteilungen der Deutschen Bodenkundl. Gesellschaft, Band 81, 117-120.
- LADD JN & BUTLER JHA 1972: Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. Soil Biol Biochem. 4:19-30.
- LOLL & BOLLAG 1983: Protein transformation in soil Adv Agron 36:351-383.
- MALCOM R. 1983: Assessment of phosphatase activity in soils. Soil Biol Biochem. 15:403-408.
- MAYAUDON J., BATISTIC L., SARKAR JM. 1975: Properties of proteolytically active extracts from fresh soils. Soil Biol Biochem. 7:281-303.
- MUNCH J.C. 1996: Neue methodische Ansätze in der Bodenmikrobiologie- neue Möglichkeiten? Mitteilungen der Deutschen Bodenkundl. Gesellschaft. Band 81, 3-6.
- ÖNORM S 2200 - Gütekriterien für Komposte aus biogenen Abfällen - Nov. 1993.
- REINHOFER M., STEINLECHNER E., KATTER R., BERGHOLD H., LIBAL B., STUHLBACHER A., TRINKAUS P., UNTERSWEIG T., WONISCH A. 1997: Studie zur Kompostierung von Biomüll seine Verwendung in der Landwirtschaft und die Auswirkungen auf den Boden. - Endbericht. Joanneum Research, Graz
- SACHS L. 1984: Angewandte Statistik; 6.Aufl.; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- SARKAR JM, BATISTIC L., MAYAUDON J. 1980: Les hydrolases du sol et leur association avec les hydrates de carbone. Soil Biol Biochem 12:325-328.
- SCHINNER F., ÖHLINGER R., KANDELER E. 1991: Bodenbiologische Arbeitsmethoden. - Berlin.
- SCHRÖDER D. 1980: Die Bedeutung der organischen Substanz und ihrer Umsetzung für Boden und Pflanze.- Landwirtschaftliche Zeitschrift, 147, S. 1502-1504.
- SCHRÖDER D. 1980: Stroh- und Zelluloseabbau sowie Dehydrogenaseaktivität in „biologisch“ und konventionell bewirtschafteten Betrieben.- Landwirtsch. Forschung., Kongreßband 1980, Sonderh. 37, S.169-175.
- SCHWAIGER E. & WIESHOFER I. 1996: Auswirkungen von Biotonnenkompost auf bodenmikrobiologische und enzymatische Parameter im biologischen Landbau. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundl. Gesellschaft, Band 81, 229- 232
- SONNLEITNER R. 1990: Bodenenzymaktivitäten - eine Literaturübersicht. Diplomarbeit Univ. Innsbruck.
- SPEIR TW, ROSS DJ. 1981: A comparison of the effects of air-drying and acetone dehydration on soil enzyme activities. Soil Biol Biochem 13:225-229.
- STEINLECHNER E., KATTER R., DULLNIG G., LIBAL B., MAYER H., REINHOFER M., STUHLBACHER A., TRINKAUS P., WONISCH A. 1996: Einsatz von Stallmist und Mistkompost im Acker-/Grünlandgebiet und dessen Einfluss auf Pflanzen und Boden unter bilanzierter Betrachtung der Nährstoffe in einem biologisch geführten Betrieb. - Endbericht. Joanneum Research, Graz
- STEINLECHNER E., KATTER R., UNTERSWEIG Th. & SCHWEINZER R. 1996: Aktueller Stand der Bodenforschung/ Marktstudie. Joanneum Research, Graz (unveröff.)
- STEMMER M., GERZABEK M.H., PICHLMAYER F. & KANDELER E. 1996: Eine Methode zur Bestimmung von C/N- Pools und Enzymaktivitäten in Korngrößenfraktionen. Mitt. Dtsch. Bdkd. Ges. Band 81, 37- 40.
- TABATABAI 1982: Soil enzymes. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. Am Soc Agron Inc, Soil Sci Soc Am Inc, Madison Wisconsin USA.
- THALMANN A. 1967: Über die mikrobielle Aktivität und ihre Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen einiger Ackerböden unter besonderer Berücksichtigung der Dehydrogenaseaktivität (TTC-Reduktion). Diss. Gießen.