

1 Einleitung

Für die Versorgung des Menschen mit Nahrung und Rohstoffen ist der Anbau von Nutzpflanzen unerlässlich. Durch pflanzliche Produktion, also durch die Entnahme von Pflanzen aus dem Agrarökosystem, werden dem Boden Nährstoffe entzogen. Die Düngung, mit der dem Boden diese Stoffe wieder zugeführt werden, stellt somit eine wichtige Grundlage zum dauerhaften Erhalt der Bodenfruchtbarkeit dar. Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei unterschiedliche Düngungssysteme hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Bodenleben miteinander verglichen. Auf der einen Seite steht das Modell eines viehhaltenden Betriebs, in dem Stallmist anfällt und als Dünger verwendet wird, auf der anderen Seite das Modell eines viehlosen Betriebs, in dem die organische Düngung mit einer Kombination aus Stroh- und Gründüngung betrieben wird. Außerdem wird die Wirkung der mineralischen N-Düngung allein und in Kombination mit den organischen Düngungsformen untersucht.

Die Lebensvorgänge im Boden sind in hohem Maße von Standortfaktoren wie Bodeneigenschaften, Temperatur und Niederschlägen abhängig. Um auch den Einfluss des Standorts auf die untersuchten Parameter zu erfassen und weitergehende Schlussfolgerungen ziehen zu können, wurden die Untersuchungen an drei sehr unterschiedlichen Standorten der Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuche (IOSDV) durchgeführt. Da ein klimatisch möglichst weites Spektrum erfasst werden sollte, erfolgten Untersuchungen unter den semiariden Bedingungen Zentralspaniens (IOSDV Madrid), im Übergangsbereich zwischen ozeanisch geprägtem und kontinentalem Klima in Mitteleuropa (IOSDV Berlin) und unter den kühl-kontinentalen Bedingungen Nordosteuropas (IOSDV Tartu).

1.1 Organische und mineralische Düngung

Organische Dünger dienen der Humusreproduktion und sind eine wesentliche Nährstoffquelle für die Feldfrüchte (BAEUMER 1990). Außerdem wird durch die Gabe organischer Dünger die Lebensgrundlage von Bodenlebewesen erweitert, da deren Nährstoffe erst von Bodenorganismen umgesetzt und schließlich mineralisiert werden (GSI et al. 1990).

Bereits seit dem Altertum wird Stallmist in der Pflanzenproduktion als Dünger eingesetzt. Stallmist besteht aus einer Mischung von festen und flüssigen tierischen Ausscheidungsprodukten sowie Einstreumaterial. Bis heute ist Stallmist ein verbreiteter organischer Dünger, auch wenn in den letzten Jahrzehnten im Zuge des vermehrten Aufkommens von strohlosen Aufstallungsformen der Tiere und durch die zunehmende

Spezialisierung von Betrieben, z. B. zu reinen Ackerbaubetrieben, auch andere Formen der organischen Düngung an Bedeutung gewonnen haben.

In Betrieben mit strohloser Tierhaltung und in viehlos wirtschaftenden Betrieben wird das Stroh häufig als organischer Dünger ausgebracht, so dass die Strohdüngung zu einem ertragssteigernden Faktor geworden ist (VETTER 1997). Aufgrund des weiten C:N-Verhältnisses von Getreidestroh wird bei dieser Form der organischen Düngung in der Regel eine zusätzliche Ausgleichdüngung mit Mineral-N durchgeführt, da beim mikrobiellen Abbau des Strohs Stickstoff in der Körpersubstanz der Mikroorganismen festgelegt wird, was zu Engpässen bei der Versorgung der Kulturpflanze führen kann. Außerdem soll die Ausgleichdüngung eine schnellere Strohumsetzung gewährleisten. Dennoch kann der vollständige Abbau des Strohs im Boden bis zu zwei Jahren dauern (AMBERGER 1990).

Unter Gründüngung versteht man den Anbau von schnellwachsenden Pflanzen, die am Ort ihrer Aussaat geerntet und in den Boden eingearbeitet werden (LABRADOR MORENO 1996). Dabei sollen die biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens verbessert werden. An Bedeutung gewann die Gründüngung in der Mitte des 19. Jahrhunderts, als A. SCHULTZ-LUPITZ den Anbau von stickstofffixierenden Pflanzen zur Verbesserung des Nährstoffhaushalts des Bodens einführte. Neben den Leguminosen gelten heute Kreuzblütengewächse als besonders geeignete Pflanzen für Gründüngungen. Zu ihren Vorzügen gehören eine rasche Entwicklung, die gute Ausnutzung der mineralischen Reserven des Bodens und die Akkumulation von Nährstoffen in den oberirdischen Organen. Nichtlegume Zwischenfrüchte bringen als Gründüngung zwar keinen Gewinn an Stickstoff, sie schützen jedoch durch die Festlegung von Nährstoffen in ihrer Biomasse vor N-Verlusten aus dem Boden (FINCK 1992). Als eine Sonderform der Gründüngung kann die Düngung mit Rübenblatt angesehen werden. Das Rübenblatt fällt vor allem in viehlos wirtschaftenden Betrieben an. Es besteht aus überwiegend leicht zersetzbarem Material und ist besonders wertvoll durch seinen hohen Stickstoffgehalt. Das relativ enge C:N-Verhältnis von etwa 15:1 macht keine N-Ausgleichdüngung nötig. Rübenblattdüngung ist geeignet, das Ertragspotential des Bodens zu erhöhen (DEBRUCK 1979).

Durch organische Düngung allein kann in der Regel das genetische Ertragspotential von Kulturpflanzen nicht ausgeschöpft werden, da die Nährstoffentzüge nicht voll kompensiert werden. Trotz der großen Fortschritte der Agrarwissenschaften im 19. Jahrhundert, z. B. der Entwicklung der verbesserten Dreifelderwirtschaft durch A. D. THAER und dem Einsatz von mineralischem „Superphosphat“ nach J. VON LIEBIG, lagen die Getreideerträge noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts erheblich unter dem heutigen Ertragsniveau, da der im Boden

pflanzenverfügbare Stickstoff ein ertragslimitierender Faktor blieb. Erst nachdem im Jahre 1913 mit dem „Haber-Bosch-Verfahren“ die technische Bindung von Luftstickstoff zu Ammoniak möglich wurde, war der Weg für den Einsatz mineralischer Stickstoffdünger in der Landwirtschaft und damit zu weiteren Ertragssteigerungen geöffnet. In der heutigen Zeit soll Mineraldüngung nicht nur die entzogenen Nährstoffe ersetzen, sondern auch die Qualität der Ernteprodukte verbessern und die Bodenfruchtbarkeit anheben (SCHILLING 2000). Im Gegensatz zu den in organischen Düngern vorhandenen Nährstoffen ist der mineralische Stickstoff direkt pflanzenverfügbar.

1.2 Bedeutung der organischen Bodensubstanz für die Bodenfruchtbarkeit

Nach der Definition von SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) bezeichnet der Begriff „organische Bodensubstanz“ die Gesamtheit der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Substanzen, die biochemischen Abbau- und Umwandlungsprozessen unterliegen. „Organische Bodensubstanz“ und „Humus“ werden in diesem Sinne als Synonyme verwendet.

Die organische Bodensubstanz ist ein entscheidendes Kriterium für die Bodenfruchtbarkeit. Zu ihren das Pflanzenwachstum beeinflussenden Eigenschaften gehören ihre Gehalte an Nährstoffen und niedermolekularen Substanzen, ihr Beitrag zu Bildung und Erhalt einer günstigen Bodenstruktur und die Verbesserung der Wasserkapazität des Bodens. Ihr Abbau wird von Bodenorganismen vermittelt und durchläuft verschiedene Phasen, wobei es zunächst zu einer mechanischen Zerkleinerung der Biomasse durch Bodentiere und zu einer Einarbeitung in den Boden kommt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Durch Mikroorganismen werden zunächst niedermolekulare Substanzen wie Oligosaccharide und Pektine abgebaut, während die Zersetzung von hochmolekularen Substanzen wie Cellulose und Lignin die Aktivität von spezialisierten Mikroorganismen erfordert und wesentlich länger dauert. Die frisch abgebauten pflanzlichen und tierischen Reste bilden den rasch umsetzbaren Humuspool, bzw. den „Nährhumus“ (GISI et al. 1990). Aus den einfacheren, reaktionsfähigeren Abbauprodukten können dann – wiederum unter der Mithilfe von Bodenorganismen – Huminstoffe aufgebaut werden. Die im Laufe der fortschreitenden Transformationsprozesse gegenüber mikrobiellen Angriffen resistenter werdenden Humusanteile zählen zu den weniger reaktiven Anteilen der organischen Bodensubstanz (FREYTAG 1980). Dabei können durch die Verdauungstätigkeit im Darm von Bodentieren, insbesondere von Anneliden, sogenannte Ton-Humus-Komplexe entstehen, in denen die Huminstoffe besonders gegen Abbau stabilisiert sind. Die stabileren Fraktionen der Huminstoffe können je nach Versorgungszustand des Bodens mit organischer Substanz eine

langsam fließende Nährstoffquelle sein (SAUERBECK 1992). Durch die biogenen Umsetzungen der dem Boden zugeführten organischen Substanz entstehen somit Humusfraktionen unterschiedlicher Stabilität, die das Pflanzenwachstum in verschiedener Weise beeinflussen. Die Geschwindigkeit dieser Stoffwechselprozesse hängt dabei stark von den Lebensbedingungen der Bodenorganismen, wie Temperatur, Bodenfeuchtigkeit und Nährstoff-Versorgung ab.

Die organische Bodensubstanz trägt maßgeblich zur Bodenfruchtbarkeit bei, die als Fähigkeit des Bodens, Pflanzen als Standort zu dienen, verstanden wird (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Sie beruht unter anderem auf physiologischen Funktionen, wie der bedarfsgerechten Vermittlung von Nährstoffen, Wasser und Luft an die Kulturpflanzen und phytosanitären Faktoren, wie der Dynamik der Anreicherung und des Abbaus von Schadstoffen (KUNDLER 1989). Die Bodenfruchtbarkeit ist damit nicht gleichzusetzen mit der Bodenproduktivität, sondern muss vielmehr als Potential für Bioakkumulations- und Mineralisationsprozesse verstanden werden (STEFANIC et al. 2001).

1.3 Bodenorganismen und ihre Leistungen im Stoffkreislauf des Agrarökosystems

Im Agrarökosystem sind Bodenorganismen für die Aufrechterhaltung der Stoff- und Energiekreisläufe von großer Bedeutung. Sämtliche im Boden anfallende tote organische Substanz – dazu gehören insbesondere die Bestandesreste der Kulturpflanzen und in den Boden eingebrachte organische Dünger – werden von Bodenorganismen zersetzt und schließlich mineralisiert. Die entstehenden Stoffe können in gelöster Form wieder von Pflanzen aufgenommen oder im Boden immobilisiert werden (KOEHLER 1999a).

Das Edaphon, also die Gesamtheit der Bodenorganismen, lässt sich zunächst grob in Bodenflora und Bodenfauna unterteilen. Die Bodenfauna wiederum gliedert sich gemäß der Körpergröße der Tiere in Bodenmakrofauna, Bodenmesofauna und Bodenmikrofauna (Tab. 1).

Tabelle 1: Gliederung der Bodenfauna gemäß der Körpergröße

Terminus	Körperlänge	Beispiele
Bodenmakrofauna	> 2 mm	Regenwürmer, Insekten, Spinnen
Bodenmesofauna	0,2 - 2 mm	Nematoden, Collembolen, Insektenlarven, Milben
Bodenmikrofauna	< 0,2 mm	Protozoen

Im Boden lebende Arthropoden (Gliederfüßer) mit einer Körperlänge von 0,2 - 2 mm gehören zur Bodenmesofauna und werden auch mit dem Begriff „Bodenmikroarthropoden“

bezeichnet. Innerhalb der Gruppe der Bodenmikroarthropoden gehören Milben und Collembolen zu den arten- und individuenreichsten Organismen. Sie weisen unterschiedliche Ernährungsweisen auf und erfüllen im Boden verschiedene ökologische Funktionen. Überwiegend stehen die Mikroarthropoden im Nahrungsnetz des Bodens auf der Stufe der Destruenten; es gibt nur wenige Gruppen, die sich hauptsächlich von lebenden Teilen höherer Pflanzen ernähren oder räuberisch leben (Tab. 2).

Tabelle 2: Ausgewählte Gruppen von Bodenmikroarthropoden und ihre hauptsächlichsten Ernährungsweisen

Taxon	Deutscher Name	Ernährungsweise
Collembola (Insecta, Apterygota)	Springschwänze	saprophag
Thysanoptera (Insecta, Pterygota)	Blasenfüßer	verschieden
Gamasida (Acari, Anactinotrichida)	Raubmilben	räuberisch
Bdellidae (Acari, Prostigmata)	Schnabelmilben	räuberisch
Eupodidae (Acari, Prostigmata)	-	saprophag
Tarsonemidae (Acari, Prostigmata)	Weichhautmilben	saprophag
Acaridae (Acari, Asigmata)	Modermilben	saprophag
Oribatida (Acari, Actinotrichida)	Hornmilben	saprophag

Die Verwertung von totem organischen Material führt zu dessen Fragmentierung und damit zu einer besseren Verfügbarkeit für mineralisierende Mikroorganismen (PETERSEN & LUXTON 1982). Von Bedeutung ist weiterhin das Abweiden von Bakterien- und Pilzrasen, welches die mikrobielle Aktivität regulieren und in der mikrobiellen Biomasse festgelegte Nährstoffe freisetzen und pflanzenverfügbar machen kann (KLIRONOMOS & KENDRICK 1995).

Zur Bodenflora gehören neben den Pflanzenwurzeln auch Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze und Algen. In den meisten Böden sind Bakterien die zahlenmäßig am stärksten vertretene Organismengruppe. Auf der Fläche von einem Quadratmeter können bis zu 10^9 Bakterien im Boden leben, wobei in Ackerböden die größte Masse der Bakterien in den obersten Zentimetern unter der Oberfläche zu finden ist (SCHINNER & SONNLEITNER 1996). In der Mehrzahl ernähren sie sich von toter und sich bereits in der Zersetzung befindlicher organischer Materie. Die Pilze stellen eine weitere, sehr abundante Gruppe von Bodenmikroorganismen dar. Auch sie tragen wesentlich zum Abbau organischer Substrate im Boden bei. Außerdem sind sie an der Humifizierung und der Stabilisierung von Bodenaggregaten beteiligt.

Unter den Pilzen stellen vesikulär-arbuskuläre Mykorrhizapilze (VAM), die in Symbiose mit den Wurzeln höherer Pflanzen leben, eine Besonderheit dar. Sie kommen natürlicherweise in Ackerböden vor. Eine positive Wirkung der VAM auf die Pflanze wird vor allem in der Erhöhung der Aufnahmefähigkeit für Nährstoffe wie P und Zn gesehen (RYAN et al. 1994).