

# Arbeitsökonomische und technologische Kennzahlen der Niedermoortorfgewinnung und der mechanisierten Mietenkompostierung zur Düngestoffproduktion

Dozent Dr. sc. agr. P. Wissing, Martin-Luther-Universität Halle—Wittenberg, Sektion Pflanzenproduktion  
 Dipl.-Landw. U. Waldschmidt, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bad Lauchstädt  
 Dr. habil. H.-O. Hein, Agrochemisches Zentrum Krakow am See, Bezirk Schwerin

## 1. Einleitung

Die in den Düngestoffbetrieben der DDR erreichten Produktionsergebnisse des Jahres 1979 haben wesentlich dazu beigetragen, die Versorgung der sozialistischen Landwirtschaftsbetriebe und der gärtnerischen Betriebe mit Feldbaukompost, gärtnerischen Erden und Substraten zu stabilisieren. Trotzdem konnte der Bedarf besonders für die gärtnerische Produktion im Freiland sowie unter Glas- und Plastabdeckung noch nicht gedeckt werden. Dazu bedarf es weiterer Anstrengungen, die sich vor allem auf die vollständige Nutzung geeigneter Ausgangsmaterialien, die Anwendung rationaler Technologien sowie die Durchsetzung von Maßnahmen zur Erhöhung der Effektivität des Material-, Arbeitskräfte-, und Maschineneinsatzes konzentrieren. Zur Bewertung der erreichten technologisch-ökonomischen Parameter in den Betrieben der Düngestoffproduktion werden Richtwerte benötigt, die den Betrieben eine kritische Einschätzung ihrer Leistungen ermöglichen und sie gleichzeitig auf hohe Produktivität und Qualitätsergebnisse orientieren. Die technologischen Kennzahlen müssen darüber hinaus Anhaltspunkte für die Normung der Arbeit geben und für die technologische Projektierung sowie Arbeitsablaufplanung geeignet sein.

## 2. Leistungen, Arbeitszeitbedarf und Kosten der Niedermoortorfgewinnung

Die technologischen Parameter der Niedermoortorfgewinnung sind abhängig vom ausgewählten Verfahren, von der leistungsbestimmenden Maschine und von den Einsatzbedingungen. Da sowohl die Verfahrensvarianten als auch die Einsatzbedingungen außerordentlich vielfältig sind, können hier nur ausgewählte Beispiele von Kennzahlenkomplexen des wasser- und moorlastigen Niedermoortorfabbau dargestellt werden. Aus Platzgründen wird auf eine exakte Beschreibung der technologischen Varianten verzichtet. Genauere Informationen dazu sind [1] und [2] zu entnehmen. Das gleiche gilt für einzelne Verfahren der mechanisierten Mietenkompostierung.

### 2.1. Torfbaggerung

Der wasserlastige Greiferbaggerereinsatz erfolgt vorzugsweise dort, wo aufgrund der Moormächtigkeit die erforderliche Schwimmtiefe gegeben ist bzw. keine ausreichende Tragfähigkeit des Moores erreicht werden kann. Die technologischen Varianten des Verfahrens werden im wesentlichen von Bagbertyp und -masse (Tafel 1) sowie von der Art des Frischtorfabtransports (wasser- oder moorlastig) bestimmt.

Die Leistungs- und Arbeitszeitparameter der wasserlastigen Torfförderung sind im Bereich von 0 bis 5 m relativ unabhängig von der Abbautiefe. Im Mittel wurden z. B. mit dem UB 60 31,2 m<sup>3</sup>/h (T<sub>08</sub>) erreicht (0,032 AKh/m<sup>3</sup>).

Für den moorlastigen Torfabbau mit Seilzuggreifer ist die Verwendung von speziellen Baggermatten Voraussetzung. Dabei erfolgt vorrangig die Eigenverlegung der Matten durch den eingesetzten Bagger. Nach Abbau der erreichbaren Moorfläche wird die letzte Matte aufgenommen und nach vorn in Arbeitsrichtung neu verlegt. Folgende Anforderungen sind an Baggermatten zu stellen:

- maximale Gesamtmasse (naß) ≤ 3 t
- zu erreichender Bodendruck ≤ 150 N/cm<sup>2</sup>
- bewährte Abmessungen
  - UB 80 4,50 m × 3,50 ... 4,00 m
  - UB 1212 5,00 m × 3,00 ... 3,50 m
  - UB 1252 5,50 m × 3,00 m.

Die technologischen Kosten für Bau und Transport von Spezialbaggermatten sind Tafel 2 zu entnehmen. In Abhängigkeit von der Mattenverlegung können die in Tafel 3 zusammengestellten Leistungen und Arbeitsproduktivitätskennzahlen bei der moorlastigen Torfförderung mit UB 80 erreicht werden. Demzufolge sind Schichtleistungen (8,75 h) von 320 bis 400 m<sup>3</sup> Torf möglich. Die Jahresleistung je UB 80 (1 200 h/Jahr) beträgt rd. 45 000 m<sup>3</sup>. Im Gegensatz dazu sind die Leistungen der in der DDR verfügbaren Eimerkettenbagger geringer. Sie betragen unter Berücksichtigung des Zeitbedarfs für den Querverzug des Schienenweges beim EB 15 15,6 m<sup>3</sup>/h (T<sub>08</sub>). Diese Leistung ist jedoch beachtlich, weil bei diesem Verfahren der Frischtorftransport durch das Baggerbedienpersonal über Förderbandstrecken gleichzeitig mit dem Abbau realisiert wird.

Tafel 2. Technologische Kosten<sup>1)</sup> für Bau und Transport von Spezialbaggermatten in Abhängigkeit von der Moormächtigkeit

Moormächtigkeit m	erschließbare Torfmenge je m Baggermattenlänge m <sup>3</sup>	Baggermattenbreite		
		4,5 m	5,0 m	5,5 m
		technologische Kosten M/m <sup>3</sup>	Kosten M/m <sup>3</sup>	M/m <sup>3</sup>
1,0	15	0,24	0,25	0,26
1,5	22	0,17	0,17	0,18
2,0	28	0,13	0,13	0,14
2,5	34	0,11	0,11	0,12
3,0	39	0,09	0,10	0,10
4,0	48	0,08	0,08	0,08
5,0	55	0,07	0,07	0,07

1) berechnet für 100 Mattenverlegungen je Matte, danach muß Aussonderung erfolgen.

Baggermattenbau- und Transportkosten je Matte:  
 3,5 m × 4,5 m: 1 249,50 M ≈ 357,00 M/m  
 3,5 m × 5,0 m: 1 298,50 M ≈ 371,00 M/m  
 3,5 m × 5,5 m: 1 347,50 M ≈ 385,00 M/m

Tafel 3. Leistungen in m<sup>3</sup>/h (T<sub>08</sub>) und Arbeitszeitbedarf in AKh/m<sup>3</sup> bei der moorlastigen Torfförderung mit UB 80<sup>1)</sup>

Schichtzeitausnutzungsfaktor	mit Baggermattenverlegung		ohne Baggermattenverlegung		mit Baggermattenverlegung <sup>2)</sup>		ohne Baggermattenverlegung <sup>2)</sup>	
	a	b	a	b	a	b	a	b
	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	AKh/m <sup>3</sup>	AKh/m <sup>3</sup>	AKh/m <sup>3</sup>	AKh/m <sup>3</sup>
0,70	42,1	47,2	56,0	63,0	0,024	0,021	0,018	0,016
0,65	39,1	43,9	52,0	58,5	0,026	0,023	0,019	0,017

1) Abbautiefe 2,0 m  
 2) ohne Mattenbau und Antransport  
 a gewachsener Torf  
 b vorgelöster Torf

Tafel 1. Erforderliche Tragfähigkeit des Schwimmprahms

Bagbertyp	erforderliche Tragfähigkeit des Prahms	
	Eigenmasse des Baggers t	t
T 172	8,6	20
UB 60	13,6	35
UB 75	25,2	50
UB 1212	25,5	50
UB 1252	36,4	70

Tafel 4. Technologische Kosten für Bau und Transport sowie Verlegen und Wiederaufnahme von Moorwegmatten in Abhängigkeit von der erschlossenen Torfmenge (Material- und Verfahrenskosten für den Moorwegbau 51,00 M/Matte; 2,5 m Länge  $\Rightarrow$  20,40 M/m)

erschlossene Torfmenge je m Moorweg m <sup>3</sup>	technologische Kosten	erschlossene Torfmenge je m Moorweg m <sup>3</sup>	technologische Kosten
	M/m <sup>3</sup>		M/m <sup>3</sup>
10	2,04	45	0,45
15	1,36	50	0,41
20	1,02	60	0,34
25	0,82	70	0,29
30	0,68	80	0,25
35	0,58	90	0,22
40	0,51	100	0,20

Dadurch ist der Arbeitskräftestundenbedarf für die Förderung und den Frischtorftransport bis zur erdlastigen Primärdeponie bei diesem Verfahren am geringsten (Tafel 7).

**2.2. Moorwegbau und Torftransport**  
Neben der Baggertrasse ist die Qualität des Moorweges entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Verfahrens. Besonders geeignet

Tafel 6. Verfahrenskosten in M/m<sup>3</sup> für den Frischtorftransport zur lagerstättennahen Deponie bzw. zum Anwender in Abhängigkeit von Beladeleistung, Transportfahrzeugtyp und Transportentfernung

	Transportentfernung in km						
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10,0	15,0
Verfahrenskosten in M/m <sup>3</sup>							
<b>Beladeleistung 31,2 m<sup>3</sup>/h</b>							
Fahrzeugtyp W 50 solo	1,83	1,83	2,44	2,44	3,04	3,65	4,26
Kras	2,72	2,72	2,72	2,72	3,62	4,53	5,43
ZT 303/HW 80	1,69	1,69	2,54	2,54	2,54	3,38	5,08
<b>Beladeleistung 39,1 m<sup>3</sup>/h</b>							
Fahrzeugtyp W 50 solo	1,94	2,43	2,92	3,40	3,89	4,86	5,83
Kras	2,16	2,89	3,61	3,61	4,34	5,78	7,23
ZT 303/HW 80	2,03	2,03	2,70	2,70	4,05	4,73	6,08
<b>Beladeleistung 18,0 m<sup>3</sup>/h</b>							
Fahrzeugtyp W 50 solo	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	3,17	3,17
ZT 303/HW 80	2,93	2,93	2,93	2,93	4,40	4,40	5,87

Tafel 7. Vergleich der technologischen Kosten und des Arbeitszeitbedarfs bei der Niedermoorortf Gewinnung mit verschiedenen Verfahren

Verfahren	technologischer Kosten in M/m <sup>3</sup>				Arbeitszeitbedarf in AKh/m <sup>3</sup>			
	wasserlastige	moorlastige Torfgewinnung			wasserlastige	moorlastige Torfgewinnung		
Maschinentyp	UB 60	UB 80	EB 15	T 174	UB 60	UB 80	EB 15	T 174
Leistung in m <sup>3</sup> /h	31,2	39,1	15,6	18,0	31,2	39,1	15,6	18,0
Teilverfahren								
Lagerstättenschließung	0,50	0,50	0,50	0,50	—	—	—	—
Baggerumsetzung	0,05	0,30	2,80	0,10	— <sup>4)</sup>	—	—	—
Baggereinsatz	1,65	1,54		1,81	0,032	—	—	—
Baggermatteneinsatz	—	0,17	—	0,45	—	0,038 <sup>1)</sup>	0,128	0,110
Moorwegbau	1,02	1,02	—	3,10	0,039	0,039	0,020	0,120
Torftransport	1,83 <sup>1)</sup>	2,16 <sup>2)</sup>	—	2,11 <sup>1)</sup>	0,096	0,077	—	0,110
Deponiebewirtschaftung	0,50	0,50	0,50	0,50	0,03	0,03	0,020	0,030
nachnutzungsrechte Lagerstättenberäumung	0,75	0,75	0,75	0,75				
Summe	6,30	6,94	4,55	9,32	0,197	0,184	0,168	0,370
relativ (%)	68	74	49	100	53	50	45	100

1) mit W 50 solo

2) mit Kras

3) 0,5 AK Hilfskraft je UB 80 berücksichtigt

4) Werte können vernachlässigt werden

Tafel 5: Transportfahrzeugbedarf beim Abbau von Niedermoorortf mit dem UB 80 in Abhängigkeit vom Ladevolumen der Transportfahrzeuge und der Transportentfernung zum Zwischenlager

Transportentfernung in km <sup>1)</sup>	6 m <sup>3</sup>	8 m <sup>3</sup>	11 m <sup>3</sup>
	0,5	4	3
1,0	5	4	3
2,0	6	5	4

1) maximal 200 m Moorweg

für die Fertigung von Moorwegmatten sind ausgesonderte Eisenbahnweichen und -normal-schwellen. Der Arbeitszeitbedarf zur Herstellung einer Moorwegmatte (2,5 m  $\times$  4,0 m) aus Normalschwellen beträgt unter Verwendung spezieller Vorrichtungen (entwickelt im ACZ Krakow am See) 8,75 AKh. Im Durchschnitt ist eine dreimalige Wiederverwendung je Matte ohne Reparatur möglich.

Für Verlegen und Wiederaufnahme sind 3 Arbeitskräfte mit Universallader T 174 und LKW W 50 erforderlich. Der Arbeitszeitbedarf dafür beträgt:

— Längsverband aus Gurtbandmaterialien u. a. herstellen und Matte verlegen 27 AKmin

— Wiederaufnahme je Matte 21 AKmin.

Die technologischen Kosten für den Moorwegmattenbau und -transport sind in Tafel 4 zusammengestellt.

Auf diesen Moorwegen ist der Einsatz aller in der DDR verfügbaren Straßentransportfahrzeuge möglich, wobei aus ökonomischen Gründen vorzugsweise Fahrzeuge mit hohem Ladevolumen eingesetzt werden sollten. Im Vordergrund steht die maximale Ausnutzung des Leistungsvermögens der leistungsbestimmenden Maschinen (Bagger) beim Torfabbau. Die Bereitstellung entsprechender Transportkapazität (exakte Austaktung) ist dafür Voraussetzung (vgl. Tafel 5).

Mit Hilfe von Tafel 5 kann der Arbeitszeitbedarf für den Niedermoorortftransport zur Deponie nach folgender Formel berechnet werden:

$$AKh/m^3 =$$

$$\frac{\text{Fahrzeugbedarf} (\triangle AK - \text{Bedarf Transport})}{\text{Baggerleistung} (m^3/h)}$$

Entsprechend den verwendeten Fahrzeugtypen, der Förder- bzw. Beladeleistung und der Transportentfernung sind die Verfahrenskosten des Frischtorftransportes stark differenziert. Sie schwanken zwischen 1,70 M/m<sup>3</sup> und 7,20 M/m<sup>3</sup> (vgl. Tafel 6).

Aus den in den Tafeln 2 bis 6 zusammengestellten Bausteinen lassen sich die technologischen Kosten und der Arbeitszeitbedarf für die verschiedenen Verfahrensvarianten berechnen (vgl. Tafel 7). Neben dem Eimerkettenbaggereinsatz ist der wasserlastige Niedermoorortfabbau mit Universalbaggern das kostengünstigste und technologisch am besten beherrschbare Verfahren.

Tafel 8. Auswirkungen der Eigenschaften des organischen Ausgangsmaterials auf den Kompostierungsprozess

Beschaffenheit des Ausgangsmaterials	Auswirkung auf den Rotteprozess	Beeinflussung von Qualität und Ökonomie des Endprodukts	Maßnahmen zur Steuerung des Rotteprozesses
grob strukturiertes Material, zu geringer Wassergehalt	starke Durchlüftung, Austrocknung, Rottstillstand	schlechte Kompostqualität	Anlage von Kompostmieten mit großem Querschnitt, Einschränkung des Umsetzens, Zusatz von Wasser bzw. feinstrukturiertem Material
stark zerkleinertes Material	Verdichtung, schlechte Durchlüftung, anaerobe Rotteverhältnisse, Geruchsbelästigung	Qualitätsminderung, Verluste	geringe Mietenhöhe, Zwangsbelüftung, mehrmaliges Umsetzen, Zusatz von grobstrukturiertem Material
C-N-Verhältnis größer als 30:1	N-Mangel hemmt Tätigkeit der Mikroorganismen, Verlängerung der Rottedauer	größerer Bedarf an Kompostierungsfläche, höhere Verfahrenskosten	Einstellung eines optimalen C-N-Verhältnisses durch Auswahl geeigneter Mischungspartner, Zuführung N-haltiger Stoffe
C-N-Verhältnis geringer als 20:1	beschleunigter Rotteverlauf, N-Verluste durch entweichendes NH <sub>3</sub>	Verlust an Pflanzennährstoffen	Einhaltung eines optimalen C-N-Verhältnisses zu Rottebeginn

### 3. Technologische Parameter der mechanisierten Mietenkompostierung

#### 3.1. Biotechnische Grundlagen

Die Herstellung organischer Düngestoffe aus verschiedenen Ausgangsmaterialien durch die mechanisierte Mietenkompostierung beruht auf mikrobiologischen Stoffwechselprozessen, die unter dem Begriff Rotte zusammengefaßt werden. Die für einen günstigen Rotteverlauf unter vorwiegend aeroben Verhältnissen erforderlichen optimalen physikalischen, chemischen und biologischen Bedingungen werden durch Art, Beschaffenheit und Mischungsverhältnis der organischen Ausgangsstoffe, durch die ausgewählte Verfahrensvariante und die eingesetzten Mechanisierungsmittel wesentlich bestimmt. Für einen schnellen Rottebeginn und einen optimalen Rotteverlauf werden an das Ausgangsmaterial folgende Anforderungen gestellt:

Substanzanteil: 15 bis 30 Vol.-%

Luftanteil: 30 bis 50 Vol.-%

Wasseranteil für

zerkleinertes Material: 40 bis 45 Vol.-%

unzerkleinertes Material: 50 bis 60 Vol.-%

C-N-Verhältnis: 20:1 bis 30:1

Reaktionsbereich: pH 6,0 bis 8,0.

Die Steuerung des Rotteprozesses erfolgt durch

Tafel 10. Mischungsverhältnisse für feste und flüssige organische Materialien

Mischungspartner	Mischungsverhältnis
Hausmüll-Klärschlamm	4...2,5:1
Häckselstroh-Gülle	1:4 (bei TS-Gehalt von 4%)
Torf-Gülle	1:1,0...1,2

ein- bis mehrmaliges Umsetzen bzw. Durcharbeiten der Kompostmieten durch Beeinflussung folgender Faktoren:

- Verbesserung der Durchlüftung
- Aktivierung der Mikroorganismen-tätigkeit
- gleichmäßiges Vermengen der Ausgangskomponenten und Nährstoffe
- Regulierung des Wassergehalts im Stapel
- Vermeidung anaerober Fäulniszonen im Mietenkern
- Hygienisierung des Materials der Randzonen.

In den Tafeln 8 und 9 sind die technologischen Möglichkeiten der Prozeßsteuerung in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial zusammengestellt.

Bei der gemeinsamen Kompostierung fester und flüssiger Komponenten ergeben sich zu-

sätzliche Vorteile durch

- die Einstellung eines optimalen Wassergehalts für die Kompostierung
- die Schaffung eines günstigen C-N-Verhältnisses durch die Zugabe stickstoffreicher flüssiger organischer Substanzen zu Feststoffen mit einem weiten C-N-Verhältnis
- einen aeroben Rotteverlauf, der die Ver-nichtung pathogener Keime sichert.

Das günstigste Mischungsverhältnis für die Verarbeitung fester und flüssiger Komponenten ist in Tafel 10 wiedergegeben.

#### 3.2. Leistungen, Arbeitszeitbedarf und Kosten

Die Technologie der Mietenkompostierung wird maßgeblich von den verfügbaren Ausgangsmaterialien und Mechanisierungsmitteln bestimmt. Besonders geeignet sind Kompostfräsen, Mobil- und Frontschaufellader, Stall-dungstreuer und landwirtschaftliche Transportmittel [1]. Voraussetzung für den erfolgreichen Technikeinsatz ist die Sicherung der Befahrbarkeit des Mietenplatzes, die Einhaltung zweckmäßiger Mietenabmessungen und -abstände [1, 3]. Die beim Einsatz verschiedener Ladertypen ermittelten Leistungs- und Arbeitszeitparameter sind in Tafel 11 zusammengestellt. Die Produktivität beim Mietenansetzen läßt sich durch sachgemäßes Abkippen der Ausgangsmaterialien stark beeinflussen (Mietenanlageplan beachten, paralleles, möglichst überlappendes Abkippen sichern). In Abhängigkeit von der Leistung der verschiedenen Ladertypen und von der Kompostfräse ergeben sich die in Tafel 12 aufgeführten Verfahrenskosten in M/m<sup>3</sup>.

Ist eine Begüllung der Mieten vorgesehen, so erhöhen sich die Verfahrenskosten je m<sup>3</sup> Endprodukt in Abhängigkeit vom Aufnahmevermögen der Ausgangsstoffe, von den Rotteverlusten und der Transportentfernung für die Gülleanfuhr um rd. 0,54 bis 7,75 M.

Entsprechend differenzierte Richtwerte sind Tafel 13 zu entnehmen.

### 4. Zusammenfassung

Für die Planung und technologische Projektierung in den Betrieben der Düngestoffproduktion wurden, ausgehend von wichtigen Verfahrensabschnitten, Richtwerte und Produktivitätskennzahlen erarbeitet. Das Datenmaterial ist darüber hinaus als Orientierungshilfe für die Arbeitsnormung geeignet. Es ermöglicht den Düngestoffbetrieben der DDR, ihre Leistungen einzuschätzen, kritisch zu werten und Schlußfolgerungen für die Erhöhung der Effektivität der Düngestoffproduktion zu ziehen.

Tafel 9. Eignung verschiedener organischer Ausgangsmaterialien als Ergänzungs-komponenten und Mischungspartner für die Kompostierung

ausgleichende Eigenschaften	organisches Material
grobe Struktur	Hausmüll, Stroh, Rinde, Stalldung, Niedermoor-torf (schwach zersetzt)
feine Struktur	Güllefeststoff, Gülle, Klärschlamm, Seeschlamm
geringer Wasser-gehalt	Stroh, Hausmüll, Rinde, Güllefeststoff
hoher Wasser-gehalt	Klärschlamm, Seeschlamm (frisch), Gülle
weites C-N-Verhältnis	Rinde, Stroh, Niedermoor-torf
enges C-N-Verhältnis	Klärschlamm, Stalldung, Güllefeststoff, Gülle

Tafel 11. Leistungen und Arbeitszeitbedarf beim An- und Umsetzen von Kompostmieten sowie beim Aufladen organischer Düngestoffe in Abhängigkeit vom Ladertyp

Ladertyp	Leistung in m <sup>3</sup> /h (T <sub>WR</sub> )				Arbeitszeitbedarf in AKh/1000 m <sup>3</sup>			
	T 174	TIH/T 159	L-2A	Volvo LM 846	T 174	TIH/T 159	L-2A	Volvo LM 846
Ansetzen	35	20	— <sup>1)</sup>	110	28,6 <sup>2)</sup>	50,0 <sup>2)</sup>	— <sup>1)</sup>	9,0 <sup>2)</sup>
Umsetzen	40	25	75	140	25,0	40,0	13,3	7,0
Aufladen	34	23	57	115	29,4	43,5	17,5	8,7

1) keine Werte

2) hier ist unterstellt, daß zum Zweck des intensiven Vermengens das gesamte Material bewegt wird

Tafel 12. Verfahrenskosten in M/m<sup>3</sup> beim An- und Umsetzen von Kompostmieten sowie Aufladen von Feldbaukompost

Ansetzen			Umsetzen		Aufladen		Vermengen und Zerkleinern	
Ladertyp	Leistung	Verfahrenskosten	Leistung	Verfahrenskosten	Leistung	Verfahrenskosten	Leistung	Verfahrenskosten
	m <sup>3</sup> /h	M/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	M/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	M/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	M/m <sup>3</sup>
T 174	35	0,62	40	0,54	34	0,64	— <sup>1)</sup>	—
T 159	20	0,81	25	0,64	23	0,70	— <sup>1)</sup>	—
L-2A	—	—	75	0,41	57	0,54	— <sup>1)</sup>	—
KF 1	— <sup>1)</sup>	—	— <sup>1)</sup>	—	— <sup>1)</sup>	—	150	0,22

1) Kompostfräse KF 1 bzw. Lader können diese Arbeiten nicht oder nur ungenügend ausführen

Tafel 13. Anteilige Verfahrenskosten der Mietenbegüllung mit ZT 300/303 und HTS 100.27 in M/m<sup>3</sup> Endprodukt bei differenzierter Entfernung, unterschiedlichem Aufnahmevermögen und Rotteverlusten der Ausgangsstoffe<sup>1)</sup>

Rotteverluste %	Transportentfernung in km				
	4	6	8	10	20
	Aufnahmevermögen: 0,40 m <sup>3</sup> Gülle je m <sup>3</sup> Ausgangsmaterial				
33	1,66	2,03	2,44	2,75	4,65
40	1,85	2,27	2,72	3,08	5,19
	Aufnahmevermögen: 0,50 m <sup>3</sup> Gülle je m <sup>3</sup> Ausgangsmaterial				
33	2,07	2,54	3,05	3,44	5,81
40	2,29	2,81	3,37	3,81	6,43
	Aufnahmevermögen: 0,60 m <sup>3</sup> Gülle je m <sup>3</sup> Ausgangsmaterial				
33	2,48	3,05	3,65	4,13	6,98
40	2,77	3,39	4,06	4,59	7,75

1) Zweischichtarbeit, Fremdbefüllung und Verteileröffnung von 36 cm<sup>2</sup> unterstellt

## Literatur

- [1] Wissing, P.; Hein, H.-O.; Reinhold, J.: Effektive Technologien der Düngestoffproduktion. agrartechnik 29 (1979) H. 6, S. 250—252.
- [2] Keydel, S.; Reinhold, J.: Rationelle Gewinnung, Aufbereitung und Verwendung von Seeschlamm. agrartechnik 30 (1980) H. 7, S. 321—325.
- [3] Wissing, P., u. a.: Verfahren der Düngestoffproduktion. FZB Münchberg, Bereich Bad Lauchstädt, F/E-Bericht 1979. A 2778

# Messung der Dichteverteilung im Bodenprofil mit Hilfe der Gamma-Absorption unter Laborbedingungen

Dipl.-Ing. A. Baur/Dipl.-Landw. R. Jäger, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Münchberg der AdL der DDR  
Dr. rer. nat. F. Tittelbach, Institut für organische Chemie der AdW der DDR

## Verwendete Formelzeichen

F	g/g	gravimetrische Feuchte, bezogen auf trockenen Boden
I	Imp./min	Intensität der Strahlung nach Durchtritt durch den feuchten Boden
I <sub>0</sub>	Imp./min	Intensität der Strahlung ohne absorbierendes Material im Strahlengang
I <sub>A</sub>	Imp./min	Intensität der Strahlung nach Durchtritt durch den Absorber (Absorberzählrate)
I <sub>st</sub>	Imp./min	Intensität der Strahlung nach Durchtritt durch den Absorber unter Standardbedingungen (Standardzählrate)
l	cm	Länge der durchstrahlten Bodenschicht
μ <sub>B</sub>	cm <sup>2</sup> /g	Massenabsorptionskoeffizient des Bodens
μ <sub>w</sub>	cm <sup>2</sup> /g	Massenabsorptionskoeffizient des Wassers
ρ <sub>B</sub>	g/cm <sup>3</sup>	Trockenrohddichte des Bodens im Strahlengang
Θ	g/cm <sup>3</sup>	Bodenwassergehalt im Strahlengang

## 1. Einleitung

Ein wichtiges Qualitätsmerkmal des Saatbetts ist die Lagerungsdichte des Bodens, da durch sie sowohl wichtige physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften als auch die technologische Eignung der Böden für weitere Feldarbeiten maßgeblich bestimmt werden [1]. Zur objektiven Beurteilung von Bodenbearbeitungswerkzeugen muß neben dem Energieaufwand auch das erzielte Arbeitsergebnis herangezogen werden, wobei die Ermittlung des Wirkungsbereichs bei bodenverdichtenden bzw. -lockernden Werkzeugen von

besonderer Bedeutung ist. Zur Messung der Dichteverteilung im Bodenprofil können radiometrische Methoden gegenwärtig lediglich für den Forschungsbetrieb eingesetzt werden. Die gerätetechnische Entwicklung in den letzten Jahren ermöglicht es, mit der Methode der Gamma-Absorption bei der Feuchtdichtemessung im Boden eine hohe Schichtauflösung durch den Einsatz von Szintillationssonden und Impulshöhenanalysatoren anzustreben. Darüber hinaus sind mit der Methode der Gamma-Absorption auf dieser gerätetechnischen Basis auch Dichtemessungen bis dicht unter die Bodenoberfläche (bei ausreichender Ebenheit [2] und der Nachweis von Dichtesprüngen im Bodenprofil mit relativ hoher Auflösung durchführbar. Um den Wirkungsbereich der von den Bodenbearbeitungswerkzeugen verursachten Bodenverdichtung bzw. -lockerung ermitteln zu können, sind Messungen der Feuchtdichte des Bodens entlang einer vertikalen Schnittebene sowohl parallel zur Bodenoberfläche als auch über die gesamte zu erwartende Wirktiefe der Werkzeuge im Boden erforderlich. Daher muß mit der Meßeinrichtung ein Abtasten des zu untersuchenden Bodenprofils nach vorgegebenen Koordinaten ermöglicht werden.

## 2. Meßprinzip

Die Abtrennung der zu durchstrahlenden Bodenschicht erfolgt durch das Einbringen von zwei parallelen Trennblechen. Die Parallelführung von Strahlungsquelle und Detektor entlang der so entstandenen Schnittebenen in jeweils gleicher Bodentiefe wird durch eine geeignete Vorrichtung ermöglicht, so daß an jedem beliebigen Meßpunkt entlang der Trennbleche die gleiche Länge der Meßstrecke realisiert werden kann (Bilder 1 und 2).

Je nach Energie der verwendeten Strahlungsquelle sind Meßstrecken im Boden von wenigen Zentimetern bis etwa 40 cm (bei Verwendung von Cs 137) möglich [3]. Auf größere Meßlängen muß aus Gründen des Strahlenschutzes verzichtet werden, zumal physikalisch nur unbedeutend längere Meßstrecken möglich sind. Der zwischen den Trennblechen befindliche feuchte Boden absorbiert einen Teil der Gammastrahlung. Der mit dem Detektor gemessene Rest-Strahlungsanteil ist ein Maß für die „Feuchtdichte“ des durchstrahlten Bodens. Eine hohe Schichtauflösung wird möglich, wenn vom Detektor hauptsächlich die den Boden ohne Ablenkung passierenden Gammaquanten registriert werden. Dies läßt sich sowohl durch Bündelung der Gamma-Strahlen mit Hilfe von Bleikollimatoren [4, 5] erreichen als auch durch elektronische Kollimation [6] oder durch Kombination beider Maßnahmen. Um die Messungen mit vertretbarem mechanischen Aufwand durchführen zu können, ist die Anwendung elektronischer Kollimation durch Diskriminieren der Streustrahlung vorteilhaft [6], da durch den Einsatz von Szintillationssonden in Verbindung mit Impulshöhenanalysatoren Schichtauflösungen von rd. 50 mm erreicht werden. Die Schwächung der Gammastrahlung wird durch das Massenabsorptionsgesetz beschrieben, das für feuchten Boden folgende Form annimmt [2]:

$$I = I_0 \cdot e^{-(\mu_B \cdot \rho_B \cdot l + \mu_w \cdot \Theta \cdot l)} \quad (1)$$

Die Berechnung der Trockenrohddichte des Bodens ρ<sub>B</sub> nach dem Absorptionsgesetz setzt also die Kenntnis des Wassergehalts Θ, der Absorptionskoeffizienten von Wasser μ<sub>w</sub> und Boden μ<sub>B</sub> sowie die Länge l der Meßstrecke voraus.