Sonderdruck aus "Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch", 48. Jahrgang, Heft 3/1971

Aus dem Institut für Grünlandlehre der TU München-Weihenstephan<sup>1</sup>) Direktor: Prof. Dr. G. Voigtländer

# Die Messung von Bodenfeuchte und Bodendichte mit radioaktiven Strahlen in unterschiedlich belasteten Grünlandböden²)

# Von Johann B. Rieder

### Gliederung:

1.	Einleitung und Problemstellung						260
2.	Material und Methoden						260
2.1	Versuchsfeld in Weihenstephan						260
2.2	Wiese im Ampertal						261
2.3	Versuchsflächen in Steinach bei Straubing						261
2.4	Zur Problemlösung gewählte Meßmethode						261
3.	Eichung der Meßsonden						262
3.1	Eichung der Feuchtesonde						263
3.2	Eichung der Dichtesonde						268
3.3	Feuchtekontrolle mit dem Anderssonbohrer						268
4.	Meßergebnisse						269
4.1	Versuchsfeld Weihenstephan						269
4.1.1	Befahren einer Ansaat mit einem schweren Schlepper.						269
	Bodendichte- und Bodenfeuchteänderungen						272
4.1.3	Der Druck des Schleppers						275
4.1.4	Versuche mit einer den Tiertritt nachahmenden Walze		,				277
4.2	Wiese im Ampertal						280
4.2.1	Feuchtdichte					·	281
4.2.2	Bodenfeuchte					0	285
4.2.3	Der Druck der Wiesenwalze						286
4.3	Lehr- und Forschungsinstitut Steinach						288
4.3.1	Versuchsfeld und benachbarte Koppel						289
4.3.2	Trittbelastung der Narbe durch die Weidetiere						291
	Koppel 13						293
4.3.4	Der Druck des Weidetieres						296
5.	Diskussion						298
5.1	Meßmethodik und Meßgenauigkeit						298
5.2	Auflösungsvermögen der Meßsonden						300
5.3	Druckwirkung von Schlepper, Walze und Kuhtritt						302
6.	Zusammenfassung						303
7.	Literaturverzeichnis						304

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>) In Zusammenarbeit mit der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz.

<sup>2</sup>) Auszug aus der gleichnamigen, von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau genehmigten Dissertation.

### 1. Einleitung und Problemstellung

Die neueren arbeits- und betriebswirtschaftlichen Forderungen beeinflussen die Nutzungformen des Dauergrünlandes nachhaltig. Bisher herrschte die Meinung vor, daß die zweischürige Wiese eine extensive Nutzungsform des Dauergrünlandes darstelle, von der nach Brünner (4) "in der Regel weder ein optimaler Ertrag noch eine optimale Qualität des Futters zu erreichen ist". Eine Intensivierung ist nach zahlreichen Autoren (4, 9, 10, 31) nur durch einen "geregelten Mähe-Weide-Wechsel" (Klapp) zu erzielen. Nun wird jedoch in neuester Zeit der Schnittnutzung einerseits aus betriebswirtschaftlichen Gründen — Aufgabe der Rindviehhaltung in größeren Grünlandbetrieben und Übergang zur Trockengrünerzeugung —, andererseits aus arbeitswirtschaftlichen Gründen — "Zero Grazing" und mechanisierte Fütterung mit frischem Gras oder Silage bei ganzjähriger Stallhaltung — größere Bedeutung beigemessen. Der Übergang von der Weidenutzung auf einseitige Schnittnutzung ist bisweilen mit einer deutlichen Verschlechterung der qualitativen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes verbunden.

Einseitige Schnittnutzung erfordert den oftmaligen Einsatz von schweren Schleppern und Erntemaschinen, die notwendigerweise zu stärkeren Bodenbelastungen führen und die physikalischen Bodeneigenschaften nachhaltig beeinflussen. Hierbei werden die Grünlandflächen nicht nur bei günstigen Witterungsverhältnissen befahren, sondern auch während ausgesprochener Nässeperioden. Gerade im Voralpengebiet besteht die Schwierigkeit, daß zur Zeit des intensivsten Wachstums (20) häufig längere Schlechtwetterperioden auftreten. In diesen Perioden führt der Einsatz von schweren Geräten zu Bodenverdichtungen, deren Größe z. Z. noch wenig bekannt ist.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, inwieweit zwischen der Belastung der Grasnarbe und bodenphysikalischen Faktoren ein Zusammenhang besteht, um gegebenenfalls die günstige Wirkung des Tiertrittes durch mechanische Maßnahmen ersetzen zu können. Aus der Vielzahl der bodenphysikalischen Faktoren wurden Bodenfeuchte und Bodendichte in ihrer Abhängigkeit von verschiedenartigem und verschieden starkem Bodendruck untersucht. Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- a) Wie wirkt Befahren mit einem schweren Schlepper bei unterschiedlicher Feuchte auf die Bodendichte und den Feuchtegehalt des Bodens?
- b) Wie wirkt ein- oder mehrmaliges Walzen auf Bodendichte und Bodenfeuchte einer Zweischnittwiese?
- c) Welchen Einfluß hat Weidegang unterschiedlicher Intensität auf Bodendichte und Bodenfeuchte?

# 2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an drei unterschiedlichen Standorten vorgenommen.

# 2.1 Versuchsfeld in Weihenstephan

Die Versuchsfläche wurde im Herbst 1965 mit Kleegras eingesät. Sie liegt z. T. auf Sandlöß, einem äolischen, feinsandreichen Material aus der Würmeiszeit,

und z. T. auf anthropogenem Boden, der aus Lehm- und Tonaufschüttungen entstand. Bodentypologisch handelt es sich um eine Pseudogley-Braunerde mit zeitweiliger Staunässe, die bei Trockenheit verschwindet.

### 2.2 Wiese im Ampertal

Die Dichte- und Feuchtemessungen wurden auf einer typischen Glatthaferwiese durchgeführt; ihr Untergrund besteht aus alluvialem lehmigem Flußsand, aus dem sich ein stark verbraunter Gley mit ausgeprägten Oxydations-Reduktionshorizonten entwickelt hat.

### 2.3 Versuchsflächen in Steinach bei Straubing

### Koppel 13

Die Koppel 13 liegt innerhalb eines Koppelareals an einem nach Osten ansteigenden Hang. Eine tachymetrische Geländeaufnahme ergab in der Hauptgefällsrichtung eine mittlere Neigung von rd. 5% bzw. rd. 3°. Nach unten läuft die Koppel in eine Talmulde aus. Wegen der dadurch bedingten unterschiedlichen Wasserverhältnisse sind von unten nach oben 4 verschiedene Bodentypen entstanden:

- 1. Gley am Koppeleingang
- 2. Stagnogley im unteren Drittel der Koppel
- 3. Peudogley in der Koppelmitte
- 4. Parabraunerde-Pseudogley im oberen Koppelbereich

# Versuchsfeld

Das Versuchsfeld wird auf drei Seiten von einer Koppel umfaßt. Es liegt auf einer leichten Geländekuppe, die nach Osten und nach Westen ein Gefälle von rund 5% aufweist. Da das Versuchsfeld im Laufe der letzten Jahre verschiedentlich mit Flächen der umliegenden Koppel vergrößert wurde, ergibt sich eine zeitliche Abstufung des Überganges von der Weide- zur reinen Mähnutzung. Der Bodentyp des Versuchsfeldes ist eine Parabraunerde mit Pseudovergleyung.

### 2.4 Zur Problemlösung gewählte Meßmethode

Das bisher allgemein übliche Verfahren zur Feuchtebestimmung ist die Trocknungs- und Wägungsmethode. Es hat aber den Nachteil, daß es sehr arbeitsaufwendig ist und aus diesem Grunde nur zahlenmäßig begrenzte Feuchtebestimmungen durchgeführt werden können. Schließlich sind Messungen in größeren Tiefen kaum oder nur sehr schwierig durchführbar. Andere zur laufenden Feuchtemessung entwickelte Methoden erfordern einen hohen Eichaufwand und weisen zudem Mängel auf, die derzeit noch nicht sicher beherrscht werden. So wird bei den indirekten Methoden mit porösen Kontaktkörpern (Gipsblöcke, Gipsscheiben u. ä.) die Genauigkeit der Messungen stark beeinträchtigt durch ungenauen Brückenabgleich am Widerstandsmeßgerät, nicht konstante Übergangswiderstände zwischen porösem Material und Elektroden und verschieden langen Angleichszeiten der Saugspannungen von Boden und Kontaktkörpern. Bei der Tensiometermethode wird der Vorteil einer kontinuierlichen

Meßmöglichkeit durch Verzögerungen der Angleichung und Feuchtigkeitsgradienten zwischen Tensiometerzelle und Boden stark beeinträchtigt.

Elektrische Widerstandsmessungen können unmittelbar im natürlich gelagerten Boden nicht durchgeführt werden, da ein unterschiedlicher Salzgehalt des Bodenwassers zu großen Streuungen der Meßanzeige führt.

Aus diesen Gründen wurde zur Bodenfeuchtemessung das Verfahren mit Neutronenstrahlen gewählt. Die Messungen können in situ an ein und derselben Stelle beliebig oft wiederholt werden.

Die Bodendichtemessungen erfolgten ebenfalls mit radioaktiven Strahlen (Gammastrahlen), um langwierige Profilaufgrabungen vermeiden zu können.

Diese Methoden werden seit etwa 15 Jahren in größerem Umfang angewandt. Seit dieser Zeit ist eine Vielzahl von Veröffentlichungen erschienen, die sich mit der Anwendung radioaktiver Meßmethoden in der landwirtschaftlichen Forschung beschäftigten. Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurden die Dichteund Feuchtemessungen mit dem tragbaren Feuchte-Dichte-Meßgerät LFS/C des Laboratoriums Prof. Dr. Berthold, Wildbad i. Schwarzwald, durchgeführt.

# Prinzip der Bodenfeuchtemessung

Die Bestimmung des Bodenwassergehaltes mittels Neutronenstrahlung beruht auf folgendem Prinzip. Die von einer Neutronenquelle — im vorliegenden Fall 100 mC Am<sup>241</sup> — Beryllium — emittierten schnellen Neutronen kollidieren mit den Atomkernen des Wasserstoffs. Dabei werden sie moderiert, d. h. sie geben überschüssige Energie in elastischen Stößen mit den bremsenden Wasserstoffkernen ab. Die dadurch entstehenden langsamen oder thermischen Neutronen werden mit einem Lithium-Glas-Szintillationskristall, der nur für thermische Neutronen empfindlich ist, nachgewiesen. Die Registrierung erfolgt mit der im folgenden beschriebenen Zählvorrichtung.

### Prinzip der Bodendichtemessung

Die Bodendichtemessung beruht auf der Streuung und der Absorption von Gamma-Quanten an den äußeren Hüllelektronen der Atome der Elemente, die den Boden aufbauen. Bei steigender Dichte wird ein größerer Teil der Gamma-Quanten auf dem Weg von der Strahlenquelle — im vorliegenden Fall 3 mC Cs<sup>137</sup> — zum Szintillationskristall absorbiert, wodurch im Kristall weniger Lichtblitze ausgelöst werden. Diese Lichtblitze werden über einen Photomultiplier registriert und in elektrische Impulse umgewandelt. Im Zählgerät — in diesem Fall ein Ratemeter — werden die elektrischen Impulse umgeformt und über ein RC-Glied integriert. Die Dichte dieser integrierten Impulse ist den Spannungsänderungen proportional und ergibt damit die Anzeige auf der Instrumentenskala.

### 3. Die Eichung der Meßsonden

Von der Herstellerfirma der Dichte- und der Feuchtesonde werden Eichkurven erstellt und den Sonden beigegeben. Diese Eichkurven müssen durch Kontrollmessungen an bodentypologisch bekannten Profilen überprüft werden. Zur Kontrolle wurden Stechzylinderproben entnommen und daraus gravimetrisch Dichte und Feuchte bestimmt. Die Stechzylinder waren auf 100 cm³ Inhalt geeicht.

# Technik der Stechzylinder-Probenahme

Die Stechzylinderkontrollen wurden am jeweiligen Meßort durchgeführt. In einem eingesetzten Messingrohr wurden zuerst Bodendichte und Bodenfeuchte radiometrisch in Abständen von je 10 cm gemessen. Anschließend wurden je Meßhorizont 4—6 Stechzylinder rund um das Meßrohr in den Boden eingetrieben und vorsichtig wieder ausgegraben.

Eine methodische Schwierigkeit der Sondenkontrolle mit Stechzylindern liegt darin, daß Stechzylinder das vom Strahler der Sonde durchstrahlte Meßvolumen nur punktförmig erfassen. Zudem ist die Größe des kugelförmig durchstrahlten Meßvolumens von der Dichte des Bodens abhängig. Es ist somit keine konstante Größe. Weiter ist zu bedenken, daß die Dichte der emittierten Strahlen zur Grenze des Meßvolumens hin kontinuierlich abnimmt. Damit üben meßrohrnahe Verdichtungszonen einen höheren Einfluß auf die Zählrate aus als meßrohrferne, die an der Grenze des Meßvolumens liegen.

#### 3.1 Eichung der Feuchtesonde

Während die Überprüfung der Dichteeichkurve keine wesentlichen Abweichungen ergab, war die Originalfeuchteeichkurve nicht verwendbar, da sie ohne "Unterdrückung" der Skalenanzeige erstellt war, d. h. mit höchster Anzeigeempfindlichkeit. Mit "Unterdrückung" kann durch einen Gegenstrom der Nullpunkt des Gerätes je nach Bedarf um 0,25 bis 2,0 Skalen stufenweise nach links verschoben werden. Dies führt zu einer Erweiterung ("Dehnung") der Skala. Bei den Feldmessungen des Forschungsvorhabens mußte immer mit einer "Skalenunterdrückung" gearbeitet werden. Ohne "Unterdrückung" waren nämlich nur Bodenfeuchten bis 38 Vol.% meßbar. Durch wiederholte Messungen wurde bei der Schaltung "0,5 Unterdrückung" für einen Skalenbereich von jeweils 10 Skalenteilen die folgende tatsächliche Unterdrückung der Skalenanzeige festgestellt.

Tabelle 1:
Unterdrückung der Anzeige bei "0,5 Unterdrückung"

Anzeigenbereich ohne Unterdrückung in Skt	tatsächliche Unterdrückung Skalenteile (= Skt)
90—100	48
80— 90	47
70— 80	46
60— 70	45
50— 60	44

Mit den Werten der Tabelle 1 wurde eine neue Eichkurve ermittelt und durch Parallelmessungen mit einer geeichten Feuchtesonde desselben Types überprüft. Es zeigte sich dabei, daß diese mit "Unterdrückung" erstellte Eichkurve für die zu untersuchenden Standorte unbrauchbar war.

Durch weitere Parallelmessungen wurden zwei Eichkurven gefunden, und zwar eine für den Standort Unterzolling mit einem leichten, humosen Sandboden und eine zweite für die Standorte Weihenstephan und Steinach mit schweren Lehmböden. Die Überprüfung dieser Eichkurven durch Stechzylinder ergab erhebliche Abweichungen. Sie betrugen für die Standorte Weihenstephan und Steinach etwa 4 Vol.% Wasser und für den Standort Unterzollingen sogar 6,5 Vol.%.

Da Süss, Zehender und Schurmann (29) nach Korrektur der Meßwerte eine Durchschnittsdifferenz der Eichkurve zum Mittelwert der Stechzylinderproben von ± 1,69 Vol.% feststellten, mußten die Ursachen dieser hohen Abweichungen gerätebedingt sein. Es wurde daher untersucht, inwieweit die Differenzen durch unterschiedliche Empfindlichkeit der Detektoren oder durch unterschiedliche Stärke der Neutronenquellen erklärbar sind. Mit einem Strahlenmeßgerät vom Typ FH 90 der Firma Frieseke & Hoepfner wurden die Quellenstärken und die Empfindlichkeit der Detektoren verglichen (Tab. 2).

Tabelle 2:

Vergleichende Messungen an zwei Feuchtesonden

	Sonde 1 (BLA¹)	Sonde 2 (Inst. <sup>2</sup> )	
Arbeitsspannung	1140 V	1100 V	
	Zäh	lrate	
Eigenrate	5100 cpm	4330 cpm	
Bei Quellentausch	4100 cpm	4920 cpm	
Bei Detektortausch	4050 cpm	5110 cpm	
Bei Behältertausch	6100 cpm	3430 cpm	

BLA = Feuchtesonde der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München.
 Inst. = Feuchtesonde des Institutes für Grünlandlehre in Weihenstephan.

Aus diesen vergleichenden Messungen lassen sich folgende Ableitungen treffen:

- 1. Die Neutronenemission der Quelle der Sonde 1 ist um 13,5% höher als die der Quelle der Sonde 2. Demzufolge können vor allem beim Vorhandensein von Zonen stärkerer Vernässung im Meßvolumen Abweichungen in der Meßanzeige auftreten, die bei Messungen in einem gleichmäßig durchfeuchteten Boden wieder verschwinden.
- 2. Der Detektor der Sonde 1 hat eine höhere Empfindlichkeit, da er nach Einbau in die Sonde 2 die Zählrate um 18% erhöht. Die Originalquelle wurde dabei in der Sonde 2 belassen.
- 3. Das Absorptionsvermögen des Schutzbehälters der Sonde 1 ist größer. Daraus resultieren Differenzen bei der Geräteeichung, da die Eichkontrolle der Feuchtesonde im Schutzbehälter vorgenommen wird.

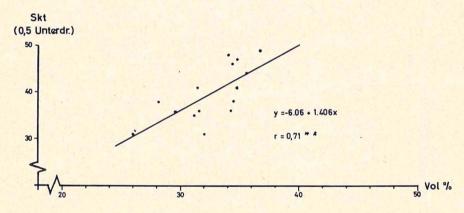
Damit gelten die Aussagen von Lawless, Gillivray und Nixon (15), die bei einem Vergleich von vier Feuchtesonden verschiedener Herkunft große Abweichungen in der Feuchteanzeige feststellten, auch für Feuchtesonden des gleichen Types einer Herstellerfirma. Durch Parallelmessungen kann also keine Eichkurve erstellt werden. Es ist vielmehr notwendig, jede Sonde einzeln an Hand konventioneller Methoden zu eichen.

# Erstellung der Eichkurven

Aufgrund dieser Überlegungen wurde für jeden Meßstandort eine Feuchteeichkurve errechnet. In eingesetzten Messingrohren wurde in 10 cm Abstand die
Bodenfeuchte mit der Feuchtesonde gemessen. Die Messingrohre wurden mit
größter Sorgfalt eingesetzt, um ein dichtes Anlagern an den Boden zu erreichen.
Eventuelle Hohlräume zwischen Rohr und Erdreich würden nämlich die Meßrate der Sonde stark beeinflussen. Mit einem Kammerbohrer von 41 mm Durchmesser wurde ein Bohrloch vorgebohrt. In dieses Bohrloch wurde anschließend
das Meßrohr mit 40 mm Durchmesser vorsichtig eingebracht. Schwierigkeiten
beim Einsetzen der Meßrohre ergaben sich nur bei sandigem Boden. Hier besteht die Gefahr, daß die Wandung des Bohrloches nicht stabil bleibt und in das
Bohrloch Sand einfließt. In diesem Falle muß eine neue Bohrung angesetzt werden. Nach der Messung wurden in vertikaler Richtung je Meßschicht fünf Stechzylinderproben entnommen und die Feuchte ermittelt.

### Eichkurve für den Standort Weihenstephan

Entgegen der ursprünglichen Annahme, daß an den Standorten Weihenstephan und Steinach, in beiden Fällen auf schweren Lehmböden, die Wassergehaltsänderung mit einer gemeinsamen Eichkurve hinreichend erfaßt werden könnte, ergaben Kontrolluntersuchungen doch größere Abweichungen, so daß auch für den Standort Weihenstephan eine eigene Eichkurve erforderlich war.



Darst. 1: Feuchteeichkurve für Weihenstephan

Darst. 1 zeigt die Eichkurve des Meßortes Weihenstephan für den Feuchtebereich von 26 Vol.<sup>0</sup>/<sub>0</sub> bis 40 Vol.<sup>0</sup>/<sub>0</sub> mit der linearen Regression:

$$y = -6,06 + 1,406 x$$

Prüfung der Regression auf Signifikanz:

Tabelle 3:

Varianztabelle für Regression "Eichkurve Weihenstephan"

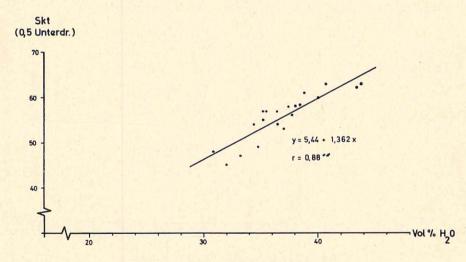
	FG	SQ	$MQ = s^2$	F
Regressionsgerade	1	245,05	245,05	12,98**
Rest	13	245,35	18,87	
Gesamt	14	490,40		

Die Streuung der Feuchtewerte um die Gerade wurde nach der Formel

$$s^2 = \frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2}{n-1}$$
 errechnet  
 $s^2 = 9{,}12$   
 $s = 3{,}02 \text{ Vol.}^0/0$ 

Im Mittel streuen die Werte also 3,02 Vol.% um die Eichkurve.

Feuchteeichkurve für den Standort Unterzolling



Darst. 2: Feuchteeichkurve für Unterzolling

Darst. 2 zeigt die Eichkurve des Standortes Unterzolling für einen Feuchtebereich von 30 Vol.º/o bis 45 Vol.º/o. Die lineare Regression lautet:

$$y = 5,44 + 1,362 x$$

Prüfung der Regression auf Signifikanz:

Tabelle 4:

# Varianztabelle der Regression "Eichkurve Unterzolling"

	FG	SQ	$MQ = s^2$	F
Regressionsgerade	1	403,4	403,4	61,3**
Rest	18	118,35	6,58	
Gesamt	19	521,75		

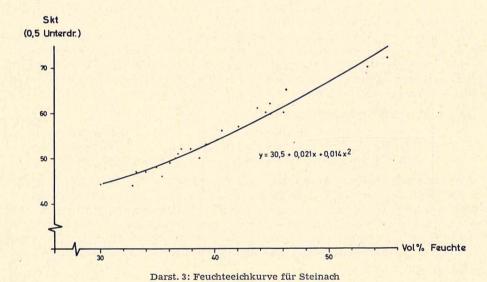
Die Streuung der Feuchtwerte um die Gerade beträgt:

$$s^2 = 3,526$$
  
s = 1,88 Vol.<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Feuchte

Feuchteeichkurve für den Standort Steinach

Die Berechnung der Eichkurve als lineare Regression ergab eine große Streuung der Werte um die Gerade. Die Eichkurve wurde deshalb nicht als lineare Funktion errechnet, sondern nach der Formel<sup>3</sup>):

$$y = a + b_1 x + b_2 x^2$$
 als Gleichung zweiten Grades.  
Es ergibt sich:  $y = 30.5 + 0.021x + 0.014x^2$ 



kant ist. Diese Prüfung wird mit Hilfe der Varianzanalyse durchgeführt.

Wie aus Darst. 3 zu ersehen ist, schmiegen sich die empirischen Werte der Regressionskurve gut an. Es ist zu prüfen, ob die Krümmung der Kurve signifi-

<sup>3)</sup> In Anlehnung an MUDRA, 1968, S. 117 f.

Tabelle 5:

Varianztabelle zur Prüfung der linearen und quadratischen Regression

	FG	sQ	MQ	F
Lineare Regression	1	740,18	740,18	218,99**
Quadratische Regression	1	455,54	455,54	134,76
Regression Gesamt	2	1195,72		
Rest	18	60,85	3,38	
Gesamt	20	1256,57	The same of	

Ein größerer Teil der Variation wird durch die lineare Regression bedingt, was auch aus der schwachen Krümmung der Eichkurve hervorgeht. Beide Teile der Variation sind jedoch hoch signifikant ( $P = 1^{0}/_{0}$ ).

Die Streuung der Feuchtwerte: s = 1,57 Vol.%.

Damit streuen die Werte des Versuchsstandortes Steinach am geringsten von allen drei Versuchsorten.

# 3.2 Eichung der Dichtesonde

Die Eichung der Dichtesonde bereitet keine Schwierigkeiten, wenn die Abhängigkeit der Streuung der Eichwerte von der Lage der Stechzylinder-Ebene zum Strahler der Sonde berücksichtigt wird.

Die geringsten Abweichungen ergaben sich, wenn der Stechzylinderwert jeweils aus den Werten zweier übereinanderliegender Stechzylinderebenen gebildet wurde. So ist beispielsweise für eine Strahlertiefe von 30 cm der dazu gehörende Stechzylinderwert aus den Werten der Stechzylinderebenen 21—25 cm und 31—35 cm gebildet worden.

Es ergaben sich folgende Streuungen:

Für die gesamten Meßprofile  $s=0,05~g/cm^3$ Für die Stechzylinderbereiche 10-30~cm:  $s=0,08~g/cm^3$ Für die Stechzylinderbereiche 30-60~cm:  $s=<0,01~g/cm^3$ 

Es zeigte sich ferner, daß mit zunehmender Meßtiefe die Streuung immer geringer wird. Sie liegt für Meßbereiche unter 30 cm Tiefe unter 0,01 g/cm³ =  $<0.5^{\circ}/_{\circ}$ . Hier läßt sich also eine überaus hohe Übereinstimmung feststellen. Die Abweichung für die Meßtiefen 10—30 cm dagegen beträgt etwa 4%. Diese höhere Abweichung wird nicht durch fehlerhafte Stechzylinderentnahme verursacht; sie rührt vielmehr von der größeren Inhomogenität der oberflächennahen Bodenschichten her.

#### 3.3 Feuchtekontrolle mit dem Anderssonbohrer

Eine laufende Kontrolle der Feuchtesonde durch Entnahme von Bodenproben in Stechringen ist nicht möglich, da sie Struktur und Lagerungsverhältnisse des Bodens verändern. Zudem müssen die Proben möglichst nahe der Meßphäre der Sonde genommen werden, um noch den Feuchteverhältnissen, die direkt um das

Meßrohr herrschen, nahezukommen. Andererseits darf ein Mindestabstand von 50 cm zwischen Probenahmestelle und Meßrohr nicht unterschritten werden, um eine Beeinflussung des durchstrahlten Meßvolumens zu vermeiden.

Zur laufenden Kontrolle von Bodenfeuchtebestimmungen sind zahlreiche Volumenbohrer entwickelt worden, die das arbeitsaufwendige und strukturzerstörende Aufgraben vermeiden. Derartige Geräte wurden von Borchert (3), Vidal und Schuch (34) und Ramsauer (22) hergestellt. Ein weiteres Gerät wurde von Hebestreit (7) auf Marschböden erprobt und empfohlen. Es ist unter dem Namen "Anderssonbohrer" bekannt. Der Anderssonbohrer ist im Prinzip ein seitlich offenes Rohr mit einem schwach konischen Schneidkopf. Er wird senkrecht in den Boden eingedrückt. Dabei schneidet er eine zylindrische Bodensäule aus dem Profil. Nach Trocknung der Anderssonproben wurden die gewichtsprozentischen Feuchtewerte auf volumetrische Feuchtewerte umgerechnet. Der Anderssonbohrer konnte jedoch nicht mehr eingesetzt werden, wenn in lehmigen Böden die Feuchte unter 35—40 Vol.% und in humosen Sandböden unter 30 bis 35 Vol.% absank. In lehmigen Böden wurde der Eindringwiderstand des Bodens zu groß und in humosen Sandböden zerfiel die Bodensäule im Bohrer.

Hierbei zeigte sich, daß die Andersson-Feuchtwerte sehr stark um die Feuchteichkurve streuen. Genauere Differenzierungen ergaben folgende Streuungen:

Für die Werte am Anfang oder am Ende einer Meßtiefe:  $s=2,55 \text{ Vol.}^0/_0$ Für die Werte innerhalb einer Meßreihe:  $s=1,07 \text{ Vol.}^0/_0$ 

Die sehr geringe Streuung der Werte innerhalb einer Meßreihe rührt daher, daß die zur Errechnung der Feuchte in Vol.% notwendigen Feuchtdichtewerte als gleitende Mittelwerte mit den beiden Werten der jeweils benachbarten Meßschichten gebildet wurden. Dies ist erforderlich, da das von der Dichtesonde durchstrahlte Meßvolumen je nach Dichte des Bodens einen Durchmesser von 25—30 cm aufweist und somit nicht einen punktförmigen Dichtewert, sondern einen Mittelwert über eine größere Profilzone ergibt. Die Bildung gleitender Mittel ist jedoch für die Anfangs- und Endwerte einer Meßreihe nicht möglich.

#### 4. Meßergebnisse

#### 4.1 Versuchsfeld Weihenstephan

#### 4.1.1 Befahren einer Ansaat mit einem schweren Schlepper

Es wurde untersucht, wie sich das Befahren mit einem schweren Schlepper bei unterschiedlicher Bodenfeuchte auf die Bodendichte und den Bodenwassergehalt auswirkt. Unterschiedliche Bodenfeuchte wurde durch künstliche Beregnung geschaffen. Da das Versuchsfeld keine geeignete Dauergrünlandfläche aufwies, wurde zur Versuchsdurchführung im Herbst 1965 eine Neuansaat angelegt. In Tabelle 6 sind Ansaatmischungen und die Massenschätzungen der Ansaat wiedergegeben.

Die Massenschätzung zeigt, daß der Hornschotenklee bereits ein Jahr nach der Ansaat aus dem Bestand verschwunden war. Er kann sich bei höheren Niederschlägen auf schwereren Böden, die zur Vergleyung neigen, nicht durchsetzen. Auch das Weiße Straußgras hat ein geringes Behauptungsvermögen, selbst auf

Tabelle 6:

Zusammensetzung der Ansaatmischung und Massenschätzungen der Ansaat

	Ansaat-	Massenschätzung in % Gesamtmasse				
	mischung kg/ha	Gesamtfläche 1966	unbefahrene Fläche 1967	befahrene Fläche 1967		
Festuca pratensis	14	14	19	5		
Phleum pratense	4	4 3 3	5	5		
Lolium perenne	4 8 3 3	3	5 2 5	5 3 2		
Poa pratensis	3	3	5	2		
Agrostis alba	3	+				
Poa annua		+	1	1		
Poa trivialis			1 3			
Lolium multiflorum				+		
Gräser		24	35	16		
Trifolium repens	3	75	62	83		
Lotus corniculatus	2					
Medicago sativa			+			
Leguminosen		75	62	83		
Taraxacum officinale		1	2	1		
Rumex crispus		+	+	+		
Plantago maior		++	+ + +			
Stellaria media			+			
Plantago lanceolata		+	1	+		
Rumex obtusifolius				+		
Kräuter	AT PART AND A	1	3	1		

niederschlagsreicheren Standorten, die ihm an und für sich zusagen. Im ersten Hauptnutzungsjahr konnte es nur noch in Spuren nachgewiesen werden. Im zweiten Jahr nach der Aussaat war es gänzlich dem Konkurrenzdruck der übrigen Arten erlegen, während es bei Reinsaaat höchste Erträge bringt, wie Simon (26) festgestellt hat. Untersuchungen von Mott und Müller (18) zeigen ebenfalls, daß das Weiße Straußgras nur eine sehr geringe Kampfkraft besitzt. Seine Beimengung in Ansaatmischungen, die intensiv genutzt werden sollen, bringt also keine Vorteile.

Der ungünstige Witterungsverlauf des Jahres 1966 mit hohen Sommerniederschlägen erlaubte ein frühzeitiges Befahren der Ansaat mit einem schweren Schlepper nicht. Zudem zeigte sich, daß die Erträge der einzelnen Versuchsparzellen nach den ersten Schnitten sehr weit streuten.

#### Trockenmasseerträge 1966

Die Schwankung der Parzellenerträge nahm vom 1. Schnitt, in dem die Erträge 26,4% um den Mittelwert streuten, bis zum 5. Schnitt mit der geringen Streuung von 3,1% um den Mittelwert kontinuierlich ab. Mit dem 5. Schnitt konnte die Versuchsfläche als homogen im Ertrag angesehen werden. Zu diesem Zeitpunkt wurde mit dem Befahren begonnen. Die Termine der einzelnen Schnittnutzungen, des Befahrens und des Beregnens sind in der folgenden Übersicht angegeben.

Tabelle 7:

Erträge der Ansaat Weihenstephan im Jahre 1966
(dz/ha TM)

Parzelle										
Schnitt	TM %	I	II	III	IV	v	VI	x	S <sup>2</sup>	se/e
1.	13,45	16,6	15,5	25,2	16,3	25,6	27,8	21,2	31,14	26,4
2.	13,02	38,7	31,1	38,6	41,0	42,2	41,1	38,8	16,22	10,4
3.	17,78	31,5	28,7	37,1	33,4	35,3	30,9	32,8	9,30	9,3
4.	14,06	31,6	29,4	35,4	31,3	33,9	30,6	32,1	4,90	6,9
5.	13,80	23,8	22,3	25,3	23,6	23,6	22,6	23,8	0,96	3,1
1.—5.	14,40	142,2	127,0	161,6	145,6	160,6	153,0	148,7		

Tabelle 8:

Termine der Schnittnutzung, des Befahrens und des Beregnens in Weihenstephan

Schnitt- zeitpunkt	Zeitpunkt des Befahrens mit dem Schlepper	Zeitpunkt des Beregnens		
25. 4. 1966				
23. 5. 1966				
28. 6. 1966				
3. 8. 1966				
8. 9. 1966				
	23. 9. 1966 (4× Spur an Spur)	22. 9. 1966: 40 mm auf I., III. und V.		
	27. 9. 1966 (2× Spur an Spur)	26. 9. 1966: 20 mm auf I., III. und V.		
18. 5. 1967	18. 4. 1967 (2× Spur an Spur)			
19. 6. 1967	19. 5. 1967 (2× Spur an Spur)			
24. 7. 1967	20. 6. 1967 (2× Spur an Spur)			
28. 8. 1967	24. 7. 1967 (2× Spur an Spur)	30. 7. 1967: 30 mm auf Gesamtfläche		
6, 10, 1967	31. 7. 1967 (2× Spur an Spur)			

1967 konnte der erste Schnitt auf Grund des langsamen Frühlingswachstums erst am 18. 5. genommen werden. Zu diesem Zeitpunkt war 1966 der zweite Aufwuchs bereits schnittreif.

Die untere Hälfte der rechteckigen Versuchsfläche mit den Meßstellen I, III und V wurde 1966 nach dem 5. Schnitt mit einem Schlepper Spur an Spur befahren, während die obere Hälfte mit den Meßstellen II, IV und VI unbefahren blieb.

# Trockenmasseerträge 1967

Der Trockenmasseertrag war 1967 geringer als 1966. 1966 wurden im Durchschnitt aller Parzellen 148,7, 1967 nur 134,1 dz/ha TM geerntet. Dieser Rückgang dürfte durch die trockene Witterung in der Vegetationszeit 1967 bedingt gewesen sein und nicht durch ein Nachlassen des Nachwuchsvermögens des Bestandes.

Der Durchschnittsertrag des 1. Schnittes 1967 war auf der unbefahrenen Versuchshälfte mit 36,32 dz/ha hochsignifikant größer als auf der befahrenen

Tabelle 9: Erträge der Ansaat Weihenstephan im Jahre 1967 (dz/ha TM)

G-2	TM			Par	zelle			
Schnitt	0/0	% I		III V II			VI	
1.	12,25	32,23	36,95	32,78	36,19	31,86	35,83	
2.	14,15	18,20	21,44	19,63	26,94	17,75	22,48	
3.	16,30	35,03	30,16	36,98	30,32	31,10	31,64	
4.	13,62	27,93	26,26	28,78	26,60	25,82	27,80	
5.	13,40	20,46	19,98	19,08	17,80	17,94	18,67	
	69,72	133,85	134,79	137,25	137,85	124,47	136,42	

Tabelle 10:

Mittelwerte der Erträge im Jahre 1967 und Signifikanz ihrer Differenzen
(dz/ha TM)

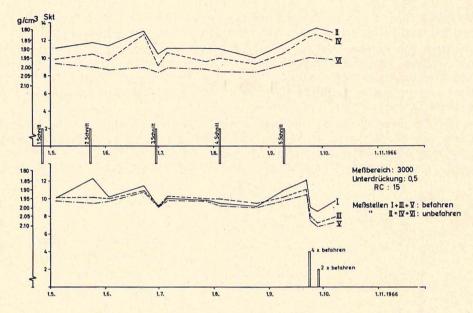
G alamitt	* (1)	$\bar{\mathbf{x}}$	Giraldiana da Rim
Schnitt	befahren	unbefahren	Signifikanz der Differenz
1.	32,29	36,32	**
2.	18,53	23,65	*
2. 3.	34,28	30,71	
	27,49	26,88	
4. 5.	19,16	18,82	
	26,35	27,28	

Versuchsfläche mit 32,29 dz/ha, obwohl 1966 der Durchschnittsertrag im 5. Schnitt auf der unteren Versuchshälfte mit 24,2 dz/ha über dem Durchschnittsertrag der oberen, unbefahrenen Hälfte mit 22,8 dz/ha lag. Das Befahren nach dem 5. Schnitt im Herbst 1966 und im zeitigen Frühjahr 1967 führte also zu einem signifikanten Rückgang des Ertrages auf diesen Parzellen im ersten und zweiten Schnitt 1967. Hierbei dürfte das Befahren im Frühjahr eine höhere depressive Wirkung auf den Ertrag ausüben als das Befahren im Spätherbst, denn durch die Bodenverfestigung im Frühjahr wird zweifellos die mikrobielle Tätigkeit nachteilig beeinflußt, während eine Bodenverfestigung im Spätherbst durch die Frostwirkung wieder aufgehoben wird. Mit dem 3. Schnitt lag jedoch die befahrene Versuchshälfte wieder über dem Ertrag der unbefahrenen. Mit Beginn des dritten Schnittes ließ sich ein Trend in der umgekehrten Richtung feststellen.

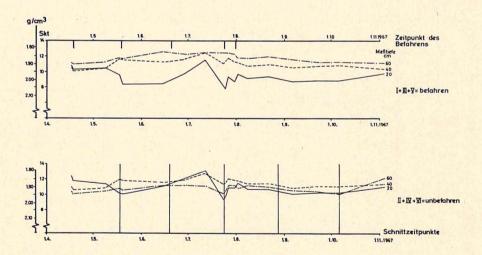
### 4.1.2 Bodendichte- und Bodenfeuchteänderungen

Die Darstellungen 4—7 zeigen die Bodendichte- und Bodenfeuchteverhältnisse während des Meßzeitraumes. Die Messungen wurden jeweils in der Vegetationsperiode vorgenommen.

Darst. 4 zeigt den Verlauf der Feuchtdichte für die einzelnen Meßstellen für die Meßperiode 1966, und zwar für die Meßtiefe 20 cm. Es fällt auf, daß die Werte der Meßgruppe "befahren" mit den Meßstellen I, III und V eine geringere Streuung aufweisen als die Werte der unbefahrenen Meßstellen II, IV und VI.



Darst. 4: Feuchtedichte im Bereich 10-20 cm Tiefe in Weihenstephan

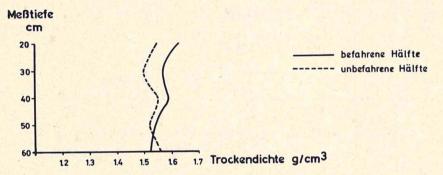


Darst. 5: Mittelwerte der Feuchtedichte der einzelnen Meßtiefen in Weihenstephan

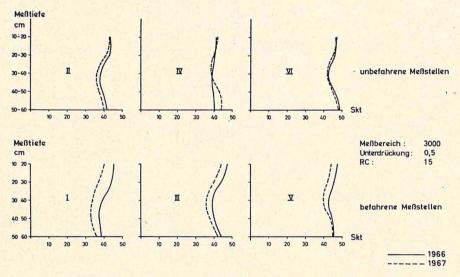
Da bis zu Beginn des Befahrens Ende September 1966 alle Meßstellen gleich behandelt wurden, sind diese Differenzen der Feuchtdichte bodenbedingt.

Durch das Befahren "Spur an Spur" konnte eine erhebliche Vedichtung erzielt werden. Die Feuchtdichte nahm von durchschnittlich 1,95 g/cm³ kurz vor dem Befahren auf 2,05—2,10 g/cm³ nach dem Befahren zu. Bis zu Beginn der Dichtemessungen im Frühjahr 1967 hat sich in der Meßschicht 20 cm wieder eine mittlere Dichte von 1,90—1,95 g/cm³ eingestellt.

Die Verdichtung des Spätherbstes wurde über den Winter aufgehoben, wie Darst. 5 zeigt. In Darst. 5 wurden nicht mehr, wie in Darst. 4, die Werte der einzelnen Meßpunkte aufgetragen, sondern die Mittelwerte der Meßgruppen gebildet, und zwar für die Meßtiefen 20—40—60 cm. Während durch das erste



Darst. 6: Mittlere Trockendichte über das Meßprofil Weihenstephan, 1967



Darst. 7: Mittlere Bodenfeuchten der Meßstellen in Weihenstephan, 1966 und 1967

Befahren die Feuchtdichte nur unwesentlich erhöht werden konnte, wurde durch das zweite Befahren Mitte Mai — nach dem 1. Schnitt — die Dichte in der Meßschicht 20 cm auf 2,05 g/cm³ erhöht. Bis Mitte Juli verringerte sich die Feuchtdichte wieder auf 1,85—1,90 g/cm³. Mit den beiden letzten Befahrungen fiel sie steil auf 2,05 g/cm³ ab. Bis Anfang November stieg sie dann leicht auf 1,95 g/cm³ an.

Auf die Meßtiefen 40 cm und 60 cm hatte das Befahren keinen meßbaren Einfluß mehr. In diesen beiden Meßtiefen war die mittlere Feuchtdichte mit 1,85 bis 1,90 g/cm³ sogar geringer als die der nicht befahrenen Vergleichsfläche, wo sie durchschnittlich 1,90—1,95 g/cm³ betrug. In der Tendenz verlaufen die Dichtekurven der Meßschicht 20 cm sowohl bei "befahren" als bei "unbefahren" gleich. Die Ursache hierfür liegt darin, daß Änderungen der Feuchtdichte nicht nur von Befahren bzw. Nichtbefahren, sondern auch von der Zu- oder Abnahme der Bodenfeuchte abhängig sind. Dies wird durch das Beregnen vom 30. 7. 1967 bestätigt, mit dem auf die Gesamtfläche 30 mm Wasser gegeben wurden. Hier nahm auch auf der nicht befahrenen Hälfte die Feuchtdichte in der Meßschicht 20 cm von 1,85 g/cm³ auf 1,97 g/cm³ zu. Dieses Zusatzwasser wurde in den oberen Bodenschichten festgehalten, da die Feuchtdichte der tieferen Meßschichten kaum erhöht wurde. Unterschiedlich ist nur ihre absolute Höhe.

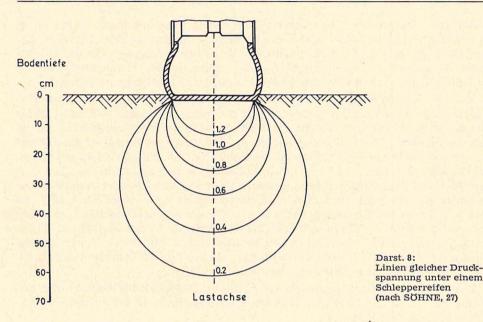
Das Befahren hat eine Zunahme der mittleren Trockendichte bedingt. Die Zunahme der durch das Befahren bedingten Trockendichte ist bis zu einer Profiltiefe von 55 cm feststellbar.

Im oberen Bodenbereich bis 40 cm Tiefe weichen die Feuchtekurven der befahrenen Meßstellen 1967 deutlich von den Kurven des Jahres 1966 ab, da diese Meßstellen nur im Spätherbst befahren wurden. Auf den unbefahrenen Parzellen dagegen streuen die Kurven im gesamten Meßbereich kaum, nur für Parzelle IV ist eine Zunahme der Bodenfeuchte im Bereich 40—60 cm Tiefe feststellbar. Das Befahren hat also die mittlere Bodenfeuchte gerade im oberflächennahen Bereich merklich verringert.

#### 4.1.3 Der Druck des Schleppers

Durch den über eine Fläche rollenden Schlepperreifen entsteht im Boden ein Druckspannungsfeld, das nach Söhne (27) von der Größe der Last, der Größe der Berührungsfläche zwischen Reifen und Boden und der Verteilung des Flächendrucks in dieser Berührungsfläche abhängt. Die Verteilung wird wiederum von Bodenart, Bodenfeuchte und Lagerungsdichte beeinflußt. Die Spannungsverteilung im Boden kann mit hinreichender Genauigkeit mit von Söhne angegebenen Formeln errechnet werden. Von der Berührungsfläche aus nimmt der Druck mit zunehmender Bodentiefe in zwiebelschalenförmigen Zonen gleicher Spannung ab. Darst. 8 zeigt diese Druckzwiebel in einer schematischen Skizze.

Die in Darst. 8 eingetragenen Druckzwiebeln haben annähernd eine Kreisform. Dies gilt nur für den theoretischen Fall, daß der Boden hart, trocken und dicht gelagert ist. In der Praxis werden mit zunehmender Bodenfeuchte die Linien gleicher Spannung immer schlanker und nehmen eine Ellipsenform an, da sich durch seitliches Ausweichen des Bodens der Schlepperdruck immer mehr auf die Lastachse konzentriert. Nach Söhne entspricht die Druckverteilung bei normaler Bodenfeuchte einer Parabel, die durch die 4. Potenz dargestellt wird. Hier ist



dann der maximale Flächendruck gleich dem 1,5fachen des mittleren Flächendruckes, der durch Radlast und Auflagefläche gegeben ist.

Die bisher gegebene Darstellung entspricht einem unprofilierten Schlepperreifen. Unter Reifenstollen entstehen jedoch wesentlich höhere Drücke. Eine exakte Druckmessung unter Stollen scheitert bislang daran, daß es nicht möglich ist, Druckdosen so klein zu bauen, daß sie unter Stollen montiert werden können. Auf hartem und trockenem Boden, wo der Reifen nicht einsinkt, kann der Druck leicht erfaßt werden, da hier die Stollenfläche den Gesamtdruck aufnimmt. In diesem Falle entstehen Drücke, die 3- bis 4mal so hoch sind wie unter der bisher angenommenen Lastfläche. Auf nachgiebigerem Boden verteilt sich der Lastdruck jedoch auf Stollenfläche und Reifenfläche, so daß ein gewisser Druckausgleich erfolgt. Andererseits wird der Druck nach einer mündlichen Angabe von Krick — Institut für Landmaschinen der Technischen Universität München — wieder um den Faktor 1,6—1,8 erhöht, da durch das Eindrücken der Stollen in den Boden eine plastische Verformung erfolgt; in einem knetartigen Vorgang werden Bodenteile zur Seite gedrängt und verlagert. Der Stollenabdruck bleibt dabei deutlich erhalten, da die verdrängten Bodenteile nicht mehr in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren.

Das Befahren der Versuchsfläche erfolgte mit einem Schlepper von 2900 kg Gesamtgewicht. Für die Hinterachse wurde eine Achslast von 1900 kg gemessen. Somit entfällt auf einen Reifen eine Radlast von 950 kg. Bei einer Bereifung von  $13\times30''$  und einem Reifeninnendruck von 0,7 atü wurde auf trockenem Boden eine Berührungsfläche zwischen Reifen und Boden von etwa 1100 cm² gemessen. Die in den Boden eingedrückte Stollenfläche betrug 270 cm².

Hieraus errechnen sich folgende Flächendrücke für die gesamte Auflagefläche:

$$\begin{array}{l} \mbox{Mittlerer Flächendruck} \; p_m = \frac{950}{1100} \; (kg/cm^2) = \underbrace{0.86}_{\mbox{$kg/cm^2$}} \; kg/cm^2 \\ \mbox{Maximaler Flächendruck} \; p_{max} = 0.86 \cdot 1.5 \; (kg/cm^2) = \underbrace{1.3}_{\mbox{$kg/cm^2$}} \; kg/cm^2 \end{array}$$

Ein maximaler Flächendruck von 1,3 kg/cm² ist kein sehr hoher Druck, da unter den Reifen eines Ackerwagens mit einem Gesamtgewicht von 6000 kg Maximaldrücke bis 4,5 kg/cm² auftreten. Größere Änderungen der Feuchtdichte können hieraus kaum resultieren. Die stark verdichtende Wirkung dürfte vielmehr durch die bodenverformende Wirkung der Stollen bedingt sein, zumal die befahrene Versuchshälfte nach jedem Schnitt zweimal Spur an Spur überfahren wurde.

Die Stollen des Schlepperreifens werden durch die Radlast mit der gesamten Profiltiefe in den Boden eingedrückt. Wenn die Stollen eingedrückt sind, verteilt sich die Radlast wieder auf Stollen- und Reifenfläche. Hierbei kommt es allerdings nicht zu einem völligen Ausgleich der vertikalen Druckbelastung, da unter den Stollenflächen eine erhöhte Druckspannung bestehen bleibt, die noch durch die "plastische Bodenverformung" in horizontaler Richtung verstärkt wird.

Unter der Annahme, daß 75% der Radlast von den Stollen aufgenommen werden und der Rest von der übrigen Reifenfläche, errechnet sich folgender Flächendruck für die Stollen:

Flächendruck 
$$p_{Stollen} = \frac{950 \cdot 0,75}{270}$$
 (kg/cm²)  
=  $\underline{2,6}$  kg/cm²

Dieser Wert muß noch mit dem Faktor für die plastische Verformung multipliziert werden, um den tatsächlichen Flächendruck zu erhalten.

Flächendruck 
$$p_{Stollen max} = 2.6 \cdot 1.7 \text{ (kg/cm}^2)$$
  
=  $4.4 \text{ kg/cm}^2$ 

Durch das viermalige Befahren Spur an Spur am 23. 9. 1966 wurde die Trockendichte der Meßschicht 20 cm von 1,59 g/cm³ auf 1,66 g/cm³, also um 4,5%, erhöht. Da sich die Trockendichte nur durch eine Abnahme des Porenvolumens erhöhen kann, nahm es um den gleichen Betrag ab. Infolge des zweimaligen Befahrens nach jedem Schnitt lag 1967 für diese Meßschicht die Trockendichte der befahrenen Versuchshälfte um 5,5% über der Vergleichsdichte der unbefahrenen Hälfte, d. h. das Porenvolumen verringerte sich um 5,5%. Diese Verringerung nahm mit zunehmender Meßtiefe bis 50 cm Tiefe gleichbleibend ab. In der Meßtiefe 50 cm war das Porenvolumen nur noch um 1% verringert.

Eine weitere Verringerung des Porenvolumens um 1% würde nach den oben zitierten Untersuchungen von Söhne auf einem feinsandigen Lehmboden eine Druckerhöhung um 25% erfordern. Hier wird dann die Grenze der praxisnahen Verhältnisse sehr schnell überschritten.

### 4.1.4 Versuche mit einer den Tiertritt nachahmenden Walze

Auf einer weiteren Ansaatfläche des Versuchsfeldes des Instituts für Grünlandlehre wurde 1967 und 1968 der Versuch unternommen, mit einer den Tritt

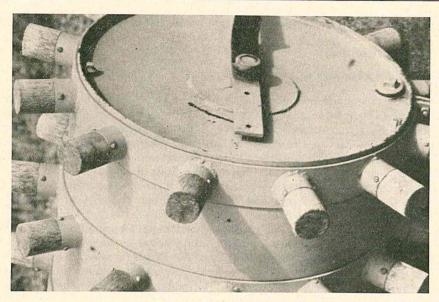


Abb. 1: Walze zur Nachahmung des Tiertrittes

eines Weidetieres nachahmenden Walze Bodenverdichtungen hervorzurufen. Zu diesem Zweck wurde nach brieflicher Mitteilung von J. W. MINDERHOUD von der Afdeling Landbouwplantenteelt en Graslandcultur der Landwirtschaftlichen Hochschule Wageningen eine Spezialwalze konstruiert, die Abb. 1 zeigt.

Auf einer Glattwalze von 70 cm Durchmesser und 80 cm Breite sind 4 Metallstreifen mit je 12 Holzstöpseln von 10 cm Länge und 6 cm Durchmesser montiert. Die Metallstreifen sind so versetzt, daß nur jeweils 2 Stöpsel gleichzeitig am Boden sind. Die Walze kann mit Wasser befüllt werden; dadurch ist der Druck variabel. Bei vollständiger Wasserfüllung kann folgender Maximaldruck ausgeübt werden:

$$\frac{217.5}{2 \cdot \pi r^2} = \underbrace{\frac{3.8 \text{ kg/cm}^2}{}}$$

Zur Versuchsdurchführung stand eine im Spätsommer 1965 angesäte Dauerweide zur Verfügung. Diese Ansaat war in drei Versuchsglieder geteilt, die unterschiedlich oft geschnitten wurden. Der Schnitt- und Bewalzungsplan des Versuches ist in der folgenden Tabelle angeführt.

1968 wurde die Anzahl der Bewalzungen der einzelnen Versuchsglieder stark erhöht, da im Herbst 1967 keine meßbaren Dichte- und Feuchteveränderungen festgestellt werden konnten. Auch am Pflanzenbestand konnte 1967 keine Differenz zwischen "bewalzt" und "unbewalzt" gefunden werden. Die Massenanteile der einzelnen Pflanzen der folgenden Tabelle gelten somit für beide Varianten des jeweiligen Versuchsgliedes.

Tabelle 11:

# Schnitthäufigkeit und Anzahl der Bewalzungen je Versuchsglied der Dauerweide-Ansaat in Weihenstephan

Versuchs-	Anzahl der Schnitte je Jahr	Anzahl der Bewalzunger nach jedem Schnitt		
gneu	Je Jani	1967	1968	
I	8	6	10	
II	6	8	15	
III	4	12	20	

Tabelle 12: Zusammensetzung der Weideansaat und Massenschätzung im Herbst 1967,

Versuchsfeld Weihenstephan

	Ansaat kg/ha	Massense Versuchsglied I	chätzung in % Ges Versuchsglied II	amtmasse Versuchsglied II
Festuca pratensis	12	12	8	10
Phleum pratense	3	12	12	6
Lolium perenne	8	+	4	2
Poa pratensis	4	9	12	32
Festuca rubra	2	1	2	3
Dactylis glomerata		à	3	4
Poa annua		9 2	2	4 7
Poa trivialis		+	2	i
Lolium multiflorum		+		+
Agrostis stolonifera				++
Gräser		45	45	65
Trifolium repens	4	55	54	33
Lotus corniculatus	2			
Leguminosen		55	54	33
Taraxacum officinale		+	1	1
Leontodon autumnalis		+ + + + + +		
Plantago maior		+	+	+
Galium mollugo		+		
Plantago lanceolata		+		
Sonchus asper		+		
Stellaria media		+	+	
Veronica filiformis			+	
Rumex crispus			4.	+
Bellis perennis				+
Rorippa spec.				1
Kräuter			1	2

Ähnlich wie in der Ansaat zu 4.1.1 konnten sich auch in diesem Falle Agrostis stolonifera und Lotus corniculatus nicht behaupten. Bei 8maligem Schnitt nimmt auch der Anteil von Poa pratensis stark ab. Erstaunlich ist ferner, daß Lolium perenne im Versuchsglied I nur noch in Spuren vorhanden ist, während Dactylis glomerata mit 9% noch erheblich an der Gesamtmasse beteiligt ist.

# Trockenmasseerträge

Im Mittel der beiden Versuchsjahre lagen die bewalzten Versuchsparzellen mit 99,13 dz/ha TM gegenüber 115,07 dz/ha TM der unbewalzten Parzellen im Ertrag erheblich niedriger. Die Differenz zwischen "bewalzt" und "unbewalzt" stieg im zweiten Versuchsjahr stark an, als die Zahl der Bewalzungen der einzelnen Parzellen gegenüber 1967 nochmals erhöht wurde. Dadurch erhöhte sich die mittlere Differenz der drei Versuchsglieder auf 23,24 dz/ha TM. Hierbei hat sich 1968 die Tendenz, daß bei abnehmender Schnitthäufigkeit und zunehmender

Tabelle 13:

Die Trockenmasseerträge der Weideansaat in Weihenstephan

Tohn	Cobmitt in Tahn	dz/h	a TM	Differenz	
Jahr	Schnitt je Jahr	bewalzt	unbewalzt	bewalzt zu unbewalz	
1967	8	101,54	120,20	-18,66	
	6	105,36	115,87	-10,51	
	4	110,02	106,77	+ 3,75	
1968	8	77,90	105,78	-27,88	
	6	89,72	120,78	-31,06	
	4	110,26	121,04	-10,78	

Zahl der Bewalzungen die Erträge ansteigen, verstärkt. So lag 1968 der Jahresertrag der 4schnittigen um rund 32 dz/ha TM über dem der 8schnittigen Parzelle, die ebenfalls 80 Bewalzungen erhielt. Die 6mal geschnittene Parzelle II wurde 1968 90mal bewalzt, ihr Jahresertrag lag deutlich über dem der 8schnittigen Parzelle. Im Vergleich zur unbewalzten Parallelfläche aber wies diese Parzelle mit einem Minderertrag von 31,06 dz/ha TM die höchste Differenz auf. Aus diesem Ergebnissen kann folgender Schluß, der wegen der kleinen Grundgesamtheit allerdings statistisch nicht abgesichert werden kann, gezogen werden: Die Ertragsdepressionen auf den bewalzten Parzellen sind weniger von der absoluten Zahl der Bewalzungen während einer Vegetationsperiode abhängig als vielmehr von ihrer Verteilung. Hierbei wirken sich häufige Bewalzungen mit wenigen Walzengängen erheblich nachteiliger aus als wenige Bewalzungen mit vielen Walzengängen.

# 4.2 Wiese im Ampertal

Auf einer Zweischnittwiese auf alluvialem lehmigen Sand im Ampertal wurde untersucht, wie ein- oder mehrmaliges Walzen auf Bodendichte und Bodenfeuchte während der Vegetationszeit wirken. Hierzu wurde aus einer größeren, zusammenhängenden Wiesenfläche eine Versuchsfläche von 200 m² ausgewählt und in sechs Meßstellen unterteilt, wobei jeweils zwei Meßstellen gleich behandelt wurden.

Somit ergab sich folgender Versuchsplan:

Meßstellen I und II: Im Frühjahr und nach jeder Nutzung bewalzt

Meßstellen III und IV: Jeweils 1 mal bewalzt

Meßstellen V und VI: Unbewalzt

Die Termine der einzelnen Bewalzungen sind in Tabelle 14 angegeben.

Tabelle 14:

Termine und Anzahl der Bewalzungen der Wiese bei Unterzolling

Walztermine	Anzahl der	Bewalzungen
waiztermine	Parzelle 1 (Meßstellen I+II)	Parzelle 2 (Meßstellen III+IV
27. 4. 1966	3	1
17. 6. 1966	2	1
14. 8. 1966	1	1
27. 4. 1967	3	1
25. 6. 1967	3	1
19. 8. 1967	2	1
	14	6

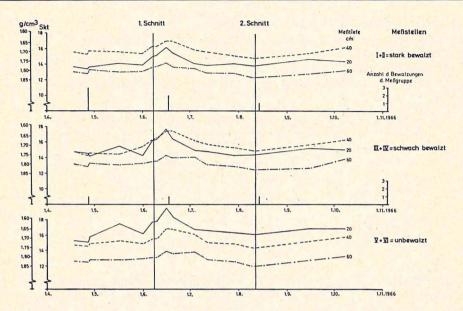
Die Parzelle 1 mit den Meßstellen I und II wurde während der beiden Versuchsjahre 14mal, die Parzelle 2 mit den Meßstellen III und IV 6mal und die Parzelle 3 mit den Meßstellen V und VI nicht bewalzt. Die Parzelle 1 wurde somit erheblich intensiver gewalzt, als es in der Praxis üblich ist, die häufig gar nicht oder nur einmal im Frühjahr walzt.

Das Walzen wurde mit einer glatten Wiesenwalze von 2,5 m Breite und 6000 kg Gewicht durchgeführt. Die Fahrgeschwindigkeit betrug etwa 3 km/h = 0.85 m/sec.

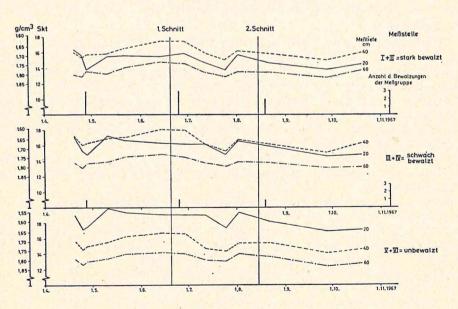
#### 4.2.1 Feuchtdichte

Die Darstellungen 9 und 10 zeigen den Verlauf der Feuchtdichte für die einzelnen Parzellen. Die Kurven stellen jeweils den Mittelwert der Meßergebnisse von zwei Meßstellen dar. In die Darstellungen wurden ferner die Schnittzeitpunkte und die Zeitpunkte des Walzens eingetragen. Sowohl 1966 als auch 1967 übte selbst mehrmaliges Walzen auf dem Standort Unterzolling mit seinem leichten, humosen Sandboden keinen meßbaren Einfluß auf die Bodendichte im Meßbereich aus, da die Dichtekurven für die einzelnen Meßschichten für alle Parzellen gleich verlaufen. So stieg z. B. in der Meßschicht 20 cm der Parzelle 1 beim ersten Bewalzen am 27. 4. 1967 die Feuchtdichte von 1,67 g/cm³ auf 1,77 g/cm³ am 28. 4. 1967; das gleiche Ansteigen ist aber auch in den beiden anderen Parzellen aufgetreten.

Ein Einfluß des Walzens auf die Feuchtdichte kann jedoch nicht ganz ausgeschlossen werden, da einmal bei der stark bewalzten Parzelle 1 die Kurven der einzelnen Meßschichten einen geringeren Abstand voneinander aufweisen als die Kurven der nicht bewalzten Parzelle 3 und da andererseits für die bewalzten Parzellen 1 und 2 die Kurven der Meßschicht 20 cm deutlich nach unten gedrückt sind. Sie verlaufen hier zwischen den Kurven der Meßschichten 40 cm und 60 cm, während für die unbewalzte Parzelle 3 die Kurve der Meßschicht 20 cm jeweils über den Kurven dieser Meßschichten verlaufen. Dies ist besonders im Meßjahr 1967 stark ausgeprägt, wie Darst. 10 zeigt.



Darst. 9: Feuchtedichte in Unterzolling, 1966



Darst. 10: Feuchtedichte in Unterzolling, 1967

Tabelle 15: Botanische Zusammensetzung der Pflanzenbestände an den Meßstellen

	1 Unt	2 terzo	3 olling	4	5	6	7	8	9	10 Steir	11 nach	12	13	14	15	16
Datum der Aufnahme	16. 9. 1967 Gesamtfläche	3.5.1968 unbewalzt	3. 5. 1968 schwach bewalzt	3. 5. 1968 stark bewalzt	16. 6. 1967 Wiese Neidl	29, 4, 1968 Versuchsf. Hinten	29. 4. 1968 Versuchsf. Mitte	29. 4. 1968 Kop. 2 Hinten	16. 6. 1967 Kop. 13 Oben	29. 4. 1969 Kop. 13 Oben	29. 4. 1968 Kop. 2 Vorne	29. 4. 1968 Kop. 2 Mitte	30. 4. 1968 Versuchsf. Vorne	30. 4. 1968 Kop. 13 Mitte	29. 4. 1968 Kop. 13 Unten	29. 4. 1968 Kop. 13 Eingang
Aufnahmefläche in m² Deckung der Feldschicht % Gesamtdeckung % Artenzahl	70 98 98 47	50 94 95 40	50 95 96 43	50 94 95 39	50 92 93 32	20 95 96 29	20 94 94 26	50 97 98 26	50 94 95 24	50 94 95 22	50 92 92 19	50 85 85 18	15 93 94 17	50 92 92 16	50 90 90 14	50 90 90 17
Arrhenatheretalia und Molinio-Arrhenatheretea																
Taraxacum officinale Trifolium repens Poa trivialis Poa pratensis Cerastium caespitosum Festuca pratensis Bellis perennis Dactylis glomerata Achillea millefolium Alopecurus pratensis Plantago lanceolata Rumex acetosa Ranunculus acer Prunella vulgaris Trisetum flavescens Trifolium pratense Festuca rubra ssp. rubra Holcus lanatus Bramus mollis Chrysanthemum leucanthemum Lotus corniculatus Ajuga reptans Colchicum autumnale	5 1 3 1 + 12 + 8 5 3 3 4 1 1 1 5 7 7 1 1 1 0 0 + + + + + + + + + + + + + + +	$\begin{matrix} 6 & 2 & 4 & 4 & 6 & 1 & 9 & 2 & 9 & 3 & 6 & 6 & 1 & 2 & 2 & 1 & 7 & 7 & 7 & + & 4 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2$	71 $ 35 $ $ 51 $ $ 93 $ $ 73 $ $ 34 $ $ +22 $ $ 23 $ $ +122 $ $ 22$	8 1 3 4 4 2 7 7 4 8 3 2 2 4 4 1 2 2 2 9 8 2 4 4 4 + 1 3 3	6 9 3 5 + 5 + 4 4 4 13 3 3 3 4 + 6 7 8 + + 1	5 8 2 4 1 4 3 3 10 6 4 3 3 + + 1 4	5 12 16 3 + 12 3 8 + + 3 2	5 10 2 8 + 8 + 33 + 14 + + +	4 15 15 6 + 2 13 4 2	7 11 15 11 + 1 5 5 +	8 11 5 5 5 + 1	6 11 5 7 8 +	4 3 26 5 + + +	13 11 23 12 +	18 12 7 2	18 12 6 1
Pimpinella major Stellaria graminea Cardamine pratensis Centaurea jacea Leontodon hispidus Lathyrus pratensis	1 1 2	1	2	+	+ 3 2	+ 3	5	1	1	1						
Agrostis gigantea  Arrhenatherion	4						9									
Veronica chamaedrys Galium mollugo Heracleum sphondylium Helictotrichon pubescens Crepis biennis Veronica arvensis Arrhenatherum elatius	+ 3 2 1 1 + 8	2 2 1 + + 3	2 2 1 2 + + 2	+ 2 1 1 + +	+ 2	5+	2		+	+			1 +			

1450110 10 (10100020118	,															
	1 Un	2 terze	3 ollin	<b>4</b>	5	6	7	8	9	10 Stei	11 nach	12	13	14	15	16
Datum der Aufnahme	16. 9. 1967 Gesamtfläche	3. 5. 1968 unbewalzt	3. 5. 1968 schwach bewalzt	3. 5. 1968 stark bewalzt	16. 6. 1967 Wiese Neidl	29, 4, 1968 Versuchsf. Hinten	29. 4. 1968 Versuchsf. Mitte	29. 4. 1968 Kop. 2 Hinten	16. 6. 1967 Kop. 13 Oben	29. 4. 1968 Kop. 13 Oben	29. 4. 1968 Kop. 2 Vorne	29. 4. 1968 Kop. 2 Mitte	30, 4, 1968 Versuchsf. Vorne	30. 4. 1968 Kop. 13 Mitte	29. 4. 1968 Kop. 13 Unten	29, 4, 1968 Kop. 13 Eingang
Aufnahmefläche in m² Deckung der Feldschicht % Gesamtdeckung % Artenzahl	70 98 98 47	50 94 95 40	50 95 96 43	50 94 95 39	50 92 93 32	20 95 96 29	20 94 94 26	50 97 98 26	50 94 95 24	50 94 95 22	50 92 92 19	50 85 85 18	15 93 94 17	50 92 92 16	50 90 90 14	50 90 90 17
Pastinaca sativa Daucus carota Primula elatior Tragopogon pratensis Alchemilla monticola	1 +	++	+++	+	+	+		+								
Cynosurion Lolium perenne Phleum pratense Capsella bursa-pastoris Rumex obtusifolius Stellaria media Veronica serpyllifolia Matricaria discoidea Carum carvi Cynosurus cristatus	+++	+	+		-1-	2 + 2	1 12 + + 3	6 2 + +	9 5 1 + +	5 4 1 1 +	21 2 1 + +	2 17 1 1 + +	10 + 1	12 2 1 +	19 1 2 +	11 5 + 2 + +
Agropyro-Rumicion Agrostis stolonifera Ranunculus repens Agropyron repens Rumex crispus Glechoma hederacea Leontodon autumnalis Potentilla reptans Alopecurus geniculatus Trifolium hybridum	1 + + + +		2+	6	+	30 1 +	2 7 +	5 2 1 +	1 5 16 +	1 4 20 2	8 10 8 +	6 20 5 1	23 10 +	2 1 18 2	2 21 +	5 1 18
Polygonion avicularis Poa annua Plantago major					+		+	1+	+	6+	16 4	6 3	9	1 1	13 +	13 6
Sonstige Begleiter Anthoxanthum odoratum Plantago media Luzula campestris Medicago lupulina Ranunculus bulbosus Agrostis tenuis Symphytum officinale Ranunculus ficaria Polygonum lapathifolium Chenopodium album Acer pseudoplatanus juv.	1 1 1	1 1 1 +	2 1 1 + + +	2 1 1 + +	10	1 +	+		+	·F	4				3	+

Die mittlere Feuchtdichte nimmt in beiden Meßjahren von den bewalzten zu den unbewalzten Meßstellen hin ab. Die Differenz der Feuchtdichte beträgt zwischen der stark bewalzten und der unbewalzten Parzelle 0,10 g/cm³ für das Jahr 1966 und 0,13 g/cm³ für das Jahr 1967.

Im zweiten Meßjahr lagen die Dichtewerte allgemein etwas niedriger als 1966, und zwar über das gesamte Meßprofil. Die Differenzen der oberen Meßschicht glichen sich bis zur Meßschicht 60 cm fast aus. Aus dem Dichtegefälle von den stark bewalzten Meßstellen zu den unbewalzten hin kann allerdings nicht auf einen signifikanten Einfluß des Walzens geschlossen werden, denn bereits zu Beginn im Frühjahr 1966 — also vor dem ersten Walzen — war der Boden an den Meßstellen I und II dichter als an den Meßstellen V und VI. Dies kann zufallsbedingt oder aber auch durch eine natürliche Dichtlagerung des Bodengefüges bedingt sein. Zur genaueren Beurteilung wäre es notwendig gewesen, vor Walzbeginn die Bodendichte über einen längeren Zeitraum zu messen. So kann nachträglich nur aus dem konstanten Abstand der Feuchtdichtelinien geschlossen werden, daß keine zufallsbedingte, sondern eine strukturbedingte Differenz der Ausgangsdichte vorliegt. Ein Einfluß der Wiesenwalze auf die Bodendichte ist nicht sicher nachweisbar.

Die geringe bodenverdichtende Wirkung der Walze wird durch die botanischen Bestandsaufnahmen auf den einzelnen Parzellen bestätigt. In Tabelle 15 sind die Aufnahmen wiedergegeben und nach pflanzensoziologischen Gesichtspunkten geordnet. Die Aufnahmen 1 bis 4 entfallen auf den Standort Unterzolling, wobei Aufnahme 1 im ersten Versuchsjahr von der gesamten Versuchsfläche und die Aufnahmen 2 bis 4 nach Beendigung des Versuches angefertigt wurden. Aus diesen Aufnahmen geht hervor, daß sich der Pflanzenbestand des Arrhenatheretum typicum durch die 14 Bewalzungen innerhalb von zwei Jahren nicht verändert hat. So fehlen gerade der stark bewalzten Parzelle (= Aufnahme Nr. 4) die Kennarten des Cynosurion sowie sonstige Beweidungsanzeiger vollkommen. Poa annua und Plantago maior, zwei Kennarten des Polygonion avicularis, fehlen allen 4 Aufnahmen. Anthoxanthum odoratum und Luzula campestris lassen auf Magerkeit, Plantago media, Medicago lupulina und Ranunculus bulbosus auf Trockenheit schließen.

# 4.2.2 Bodenfeuchte

Ähnlich wie am Standort Weihenstephan ist auch Unterzolling eine Abnahme der Feuchtdichte mit einer Abnahme des Bodenwassergehaltes verbunden.

Während auf den stark bewalzten Parzellen die Dichtewerte der einzelnen Meßschichten nahe beieinanderliegen und sich über die schwach bewalzte Parzelle zur unbewalzten hin immer weiter voneinander entfernen, verhalten sich die Feuchtewerte gerade umgekehrt. Hier liegen die Feuchtewerte der unbewalzten Parzelle sehr nahe zusammen und weisen auf der stark bewalzten Parzelle die größten Abstände auf. Auf dem nach Profilaufbau und Pflanzenbestand als homogen angesprochenen Standort Unterzolling streuen bereits die Feuchtdichtewerte stark, die mittleren Feuchtwerte der einzelnen Meßstellen noch stärker. Tabelle 16 zeigt den mittleren Wassergehalt an den einzelnen Meßstellen und Meßtiefen.

Tabelle 16:

Mittlerer Feuchtegehalt an den einzelnen Meßstellen und Meßtiefen in Unterzolling in Vol.%

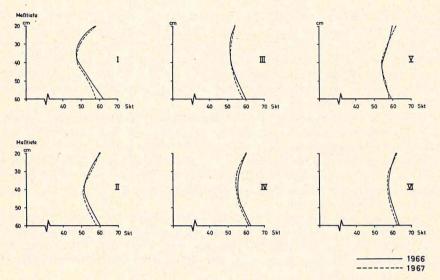
Meßstelle	Bewalzung	Jahr			Meßtiefe		
Medbotene	Dewarzung	oun	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
I			38,0	32,0	32,0	38,0	41,0
II	stark		40,3	35,8	34,2	36,6	40,3
III	schwach	1966	35,8	33,5	34,2	36,6	40,3
IV	scriwacii	1900	40,3	37,3	37,3	38,8	41,8
V	unbewalzt	1000	40,3	38,8	35,8	37,3	39,5
VI	unbewaizt		41,0	38,8	38,8	40,3	42,5
I	advanta.		38,8	32,0	31,3	35,8	38,8
II	stark		40,3	36,6	33,5	35,0	38,0
III	schwach	1967	35,8	34,2	34,2	35,8	38,8
IV	Suiwacii	1901	40,3	36,6	36,6	38,0	41,0
V	unbewalzt		41,8	38,0	35,8	37,3	38,8
VI	unbewaizt		41,8	38,8	38,0	39,5	41,8

Es bestehen in einer Meßschicht erhebliche Schwankungen des mittleren Wassergehaltes. Diese Feuchtedifferenzen nehmen mit zunehmender Bodentiefe im Gegensatz zur Feuchtdichte nur sehr langsam ab. Mit Stechzylindern wird nur ein relativ kleines Bodenvolumen von 100 cm³ erfaßt, während die Feuchtesonde den mittleren Feuchtegehalt eines kugelförmigen Bodenkörpers mit 20—25 cm Durchmesser ermittelt. Dennoch liegen die höchsten Feuchtewerte je Meßschicht etwa 20% über den niedrigsten Werten. Die Differenzen im Feuchtegehalt nehmen jedoch mit zunehmender Profiltiefe ab.

Auffallend ist die Feuchteverteilung über das Meßprofil im Durchschnitt aller Einzelwerte je Meßschicht in Darst. 11. Es besteht an allen Meßstellen — ähnlich wie am Standort Weihenstephan — keine kontinuierliche Zu- oder Abnahme der Bodenfeuchte mit zunehmender Meßtiefe; vielmehr liegt an allen Meßstellen im Bereich um 40 cm Profiltiefe ein deutliches Feuchteminimum. Die Kurven der mittleren Feuchteverteilung weichen 1966 und 1967 kaum voneinander ab. In dem genannten Bereich befindet sich eine Zone mit verminderter Saugspannung des Bodens; sie kann aber, wie die Werte der Schlämmanalyse zeigen, nicht durch einen geringeren Tonanteil des Horizontes bedingt sein. Der Tonanteil nimmt vom Horizont  $G_{01}$  (25—38 cm) zum Horizont  $G_{03}$  (56—89) hin zu. Eine Erklärung dieser Erscheinung könnte darin zu suchen sein, daß die Pflanzenwurzeln, die in einer Zweischnittwiese relativ tief reichen, in diesem Bereich mehr Wasser aufnehmen als in den darüber- und darunterliegenden Zonen. Eine Wasserzufuhr in diese feuchtearme Zone aus dem Grundwasser kann nicht stattfinden, da der Grundwasserspiegel etwa 1,20-1,50 m tief liegt und ein kapillarer Wasseranstieg in lehmigen Sandböden nach Scheffer und Schachtschabel (24) nur bis zu einer Höhe von etwa 50 cm möglich ist.

### 4.2.3 Der Druck der Wiesenwalze

Das Gewicht der Wiesenwalze setzt sich als senkrechte Kraft in der Auflagefläche der Walze auf den Boden ab. Im Gegensatz zum Schlepperreifen können



Darst. 11: Mittlere Bodenfeuchten der Meßstellen in Unterzolling, 1966 und 1967

bei der Wiesenwalze die seitlichen Druckspannungen jedoch vernachlässigt werden, da die verwendete Walze 2,5 m breit war. Somit sind nur die vertikalen Drücke von Bedeutung.

Mit Wasserfüllung betrug das Gesamtgewicht der verwendeten Walze 6000 kg, wobei 2620 kg auf die Wasserfüllung entfielen. Da ein Einsinken der Walze nicht beobachtet wurde, kann angenommen werden, daß sich der Druck etwa gleichmäßig auf die Auflagefläche verteilt. Unter dieser Voraussetzung errechnet sich folgende Druckbelastung:

Gewicht: 6000 kg
Walzenbreite: 2,5 m
Walzendurchmesser: 1,5 m

Auflagefläche:  $25 \text{ cm} \times 2.5 \text{ m} = 0.625 \text{ m}^2$ 

Flächendruck p Walze = 6000

Bei dieser Auflagefläche beträgt die Eindrucktiefe senkrecht unter der Walzenachse 1,5 cm. Sie kann also vernachlässigt werden.

Wie Koch (12) feststellte, hängt der Wirkungsgrad der Walze neben dem Porenvolumen auch vom Wassergehalt ab. Die zur plastischen Verformung notwendigen Drücke nehmen mit zunehmendem Wassergehalt stark ab. Zugleich nimmt aber bei Wassergehalten über 15 Gew.⁰/₀ mit wachsender Walzgeschwindigkeit (v ≥ 0,5 m/sec) die Tiefenwirkung ab. Dieser Wassergehalt wurde auf der Versuchsfläche nie unterschritten. Der zum Zeitpunkt des Walzens niedrigste

Wassergehalt betrug 1967 für die Meßschicht 20 cm 20,1 Gew.%. Die Walzgeschwindigkeit war 0,85 m/sec = 3 km/h. In der Praxis wird jedoch mit wesentlich höherer Geschwindigkeit gewalzt, so daß der errechnete Flächendruck von 0,96 kg/cm² selbst mit schweren Walzen nicht erreicht werden dürfte. Zudem werden die Wiesen nicht mehrmals, sondern nur einmal überfahren. Damit kann der Wiesenwalze kein sehr großer Wirkungsgrad hinsichtlich der Veränderung der Bodendichte beigemessen werden.

Die relative Unwirksamkeit der Wiesenwalze auf Dauergrünland ist auch noch durch den höheren Anteil an organischer Substanz bedingt. Im Gegensatz zum Versuchsort Weihenstephan, der in der Krume einen Gehalt von 2,1% org. Substanz aufweist, hat die Dauerwiese in Unterzolling einen Gehalt von 4,9%, der bis 60 cm Tiefe auf 1,25% absinkt und bis 100 cm Tiefe wieder auf 1,7% ansteigt. Dagegen beträgt in Weihenstephan der Gehalt an org. Substanz in 30—40 cm Tiefe nur noch 0,3%.

Auf Grund des geringen Humusgehaltes nimmt die Verdichtbarkeit des Ackerbodens im Feuchtebereich von 12—16 Gew. % stark zu, während sie in einem Wiesenboden nach Untersuchungen von Söhne (28) über einen weiten Feuchtebereich konstant bleibt und erst in einem Feuchtebereich von 24—28 Gew. % rasch zunimmt.

Mit einem Flächendruck der Walze von etwa 1,0 kg/cm² erfolgt eine Verdichtung des Wiesenbodens erst bei einem Feuchtegehalt von ≥ 24 Gew.⁰/₀, was in Unterzolling etwa 41 Vol.⁰/₀ Bodenfeuchte entsprechen würde. Im Ackerboden kommt es aber bereits ab 12 Gew.⁰/₀ Feuchte zu einer deutlichen Zunahme der Dichte, da hier die abfedernde Wirkung der org. Substanz weit geringer ist. Hieraus läßt sich ableiten, daß die Wiesenwalze auf Anmoorböden nur dann verdichtend wirken kann, wenn bei sehr hohem Feuchtegehalt des Bodens gewalzt wird. Aber auch in diesem Falle kann kein Flächendruck erzeugt werden, der weit über 1,0 kg/cm² liegt, da mit zunehmender Eindrücktiefe der Walze die Auflagefläche größer und der mittlere Flächendruck damit kleiner wird.

Mit einer Auflagefläche von  $40 \times 250$  cm und einem Walzengewicht von 6000 kg ergibt sich ein mittlerer Flächendruck von 0.6 kg/cm². Hierbei beträgt die Eindrücktiefe in der Schwerlinie der Walze 3.0 cm. Wird nun angenommen, daß im Lastschwerpunkt der Flächendruck das 1.5-2.0fache des mittleren Flächendruckes beträgt, so entsteht ein Maximaldruck von 0.9-1.2 kg/cm². Dieser Druck liegt wieder im oben angegebenen Bereich.

#### 4.3 Lehr- und Forschungsinstitut Steinach

Am Versuchsort Steinach wurde untersucht, welchen Einfluß Weidegang unterschiedlicher Intensität auf Bodendichte und Bodenfeuchte hat. Für die Untersuchungen standen zwei Flächenkomplexe zur Verfügung. Der eine Flächenkomplex bestand aus Koppel 2 und den angrenzenden Teilen des Versuchsfeldes. 2, 6 und 12 Jahre vor Meßbeginn wurden Teile der Koppel 2 dem Versuchsfeld zugeschlagen, so daß sich ein zeitlich abgestufter Übergang von der Weide- zu Mähnutzung ergab. Dieser Flächenkomplex diente zur Untersuchung der Frage, wie lange sich trittbedingte Verdichtungen unter reiner Mähnutzung erhalten können. Die Koppel 2 konnte ebenso wie der andere Flächenkomplex (Koppel 13)

zur Untersuchung der unterschiedlichen Trittbelastung des Bodens durch die Weidetiere dienen, da die Koppeln in Tagesportionen beweidet wurden. Hierbei nimmt die Trittintensität mit zunehmender Entfernung vom Koppeleingang ab, da die eingangsnahen Tagesportionen durch das Auf- und Abtreiben der Weidetiere öfter überlaufen werden als die entfernten.

### 4.3.1 Versuchsfeld und benachbarte Koppel

Bodendichte und Bodenfeuchte

Auf dem Versuchsfeld wurde je ein Meßrohr auf der 2 Jahre, 6 Jahre und 12 Jahre nicht beweideten Fläche installiert. In einem Abstand von etwa 2 m wurde zu jedem Meßrohr ein weiteres Meßrohr in die an das Versuchsfeld anschließende Koppel eingebracht, so daß drei Meßrohrpaare für die Untersuchung zur Verfügung standen. Der Abstand der Meßrohrpaare voneinander betrug 100—150 m. Die Dichte- und Feuchtemessungen wurden im vierwöchigen Turnus durchgeführt. Die folgenden Tabellen zeigen die Meßergebnisse.

Tabelle 17:

Mittlere Feuchtdichte an den Meßstellen des Versuchsfeldes und der benachbarten Koppel in Steinach in g/cm³

	101414	T		Meßı		T	ıı
Jahr	Meßtiefe	Versuchs- feld 1)	Koppel	Versuchs- feld 2)	Koppel	Versuchs- feld 2)	Koppe
	20	1,75	1,88	1,83	1,91	1,75	1,76
	30	1,86	1,86	1,81	1,83	1,79	1,79
1966	40	1,87	1,85	1,87	1,87	1,85	1,83
	50	1,90	1,87	1,87	1,92	1,90	1,97
	60	1,96	1,92	1,90	1,97	2,02	2,03
	20	1,64	1,83	1,59	1,87	1,76	1,60
	30	1,83	1,82	1,77	1,82	1,82	1,76
1967	40	1,85	1,83	1,83	1,83	1,88	1,79
	50	1,90	1,84	1,83	1,82	1,95	1,97
	60	1,97	1,91	1,89	1,90	2,05	2,02

Meßfläche des Versuchsfeldes
 Jahre nicht beweidet.
 Meßfläche des Versuchsfeldes
 Jahre nicht beweidet.

Differenzen in der Bodendichte bestehen nur für die Meßtiefe 20 cm, während Differenzen des Wassergehaltes über das gesamte Meßprofil feststellbar sind. Dies gilt besonders für das zweite Meßjahr, als in der Meßperiode April bis Oktober nur 443,5 mm Regen fielen gegenüber 672,5 mm für den gleichen Zeitraum des ersten Meßjahres. Im trockenen Sommer 1967 war mit einer Ausnahme der Feuchtegehalt an den Meßstellen der Koppel über das ganze Profil immer niedriger als an den Meßstellen innerhalb des Versuchsfeldes. Nur an der Meßstelle I des Versuchsfeldes lag in der obersten Meßschicht der Wassergehalt unter dem Vergleichswert der angrenzenden Koppel. Die Ursache hierfür liegt darin, daß das Meßrohr im Versuchsfeld in einen Schnitthäufigkeitsversuch installiert wurde, der alle 21 Tage geschnitten wird. Im oberflächennahen Bereich ver-

<sup>3)</sup> Meßfläche des Versuchsfeldes 12 Jahre nicht beweidet.

<sup>19</sup> Bayer, Landw. Jahrbuch

Tabelle 18:

Mittlerer Feuchtegehalt an den Meßstellen des Versuchsfeldes und der benachbarten Koppel in Steinach in Vol.<sup>9</sup>/<sub>9</sub>

				Meßı	paar			
Jahr	Meßtiefe	I		II		III		
<u></u>	Versuchs- feld	Koppel	Versuchs- feld	Koppel	Versuchs- feld	Koppel		
	20	33,6	33,6	41,2	37,7	37,9	35,0	
	30	34,7	34,7	40,8	38,3	37,9	37,9	
1966	40	36,8	35,2	40,6	36,8	38,8	36,8	
	50	35,7	36,8	41,4	37,2	37,4	37,5	
	60	33,6	36,7	40,6	37,1	34,7	39,1	
	20	29,4	32,4	35,7	31,0	34,7	26,0	
	30	33,6	31,0	38,6	34,7	35,7	34,7	
1967	40	34,7	32,4	39,4	32,4	37,7	33,6	
-	50	35,7	33,6	40,4	34,7	36,8	35,7	
	60	35,7	34,7	41,2	35,7	35,7	37,7	

Tabelle 19:

Mittlere Trockendichte an den Meßstellen des Versuchsfeldes und der benachbarten Koppel in Steinach in g/cm³

		Meßpaar							
Jahr	Meßtiefe	I		I		III			
	Versuchs- feld	Koppel	Versuchs- feld	Koppel	Versuchs- feld	Koppel			
	20	1,41	1,54	1,42	1,53	1,37	1,41		
	30	1,51	1,51	1,40	1,45	1,41	1,41		
1966	40	1,50	1,50	1,45	1,50	1,46	1,46		
	50	1,54	1,50	1,46	1,55	1,53	1,59		
	60	1,62	1,55	1,49	1,60	1,67	1,64		
	20	1,35	1,51	1,23	1,56	1,41	1,34		
	30	1,49	1,51	1,38	1,47	1,46	1,41		
1967	40	1,50	1,51	1,44	1,51	1,50	1,45		
	50	1,54	1,50	1,43	1,47	1,58	1,61		
	60	1,61	1,56	1,48	1,54	1,69	1,64		

braucht hier die Narbe mehr Wasser als in der anliegenden Koppel 2. Ab der Meßschicht 30 cm aber liegt der Feuchtegehalt des Versuchsfeldes wieder über dem der Koppel.

Entgegen der ursprünglichen Erwartung liegen die größten Differenzen der Feuchtdichte und der Trockendichte nicht bei der Meßgruppe III, wo auf der Vergleichsfläche 12 Jahre nicht mehr beweidet wurde, sondern bei den Meßpaaren I und II. Die höchste Feucht- und Trockendichtedifferenz weist 1966 das Meßpaar I, 1967 das Meßpaar II auf. 1967 waren die Differenzen erheblich größer als 1966, wie folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 20:

Feucht- und Trockendichtedifferenzen der Meßpaare in Steinach
für die Meßschicht 20 cm in g/cm³

	Feucht	tdichte	Trockendichte		
A section of	1966	1967	1966	1967	
Meßpaar I	0,13	0,19	0,13	0,16	
Meßpaar II	0,08	0,28	0,11	0,33	
Meßpaar III	0,01	0,16	0,04	0,07	

Diese Differenzen sind keine konstanten Größen, sondern variabel und vom Witterungsverlauf abhängig. Interessant ist, daß beim Meßpaar III die Meßstelle der Koppel sowohl eine geringere Feucht- als auch eine geringere Trockendichte als die 12 Jahre nicht beweidete Fläche des Versuchsfeldes aufweist. Diese Meßstelle liegt am Koppelende in einer seitlichen Koppelerweiterung, die von den Tieren nicht sehr intensiv abgeweidet wird. Die geringe Beweidung zeigt auch die botanische Bestandsaufnahme in der Aufnahme 8 der Tabelle 15. So finden sich an dieser Meßstelle Pastinaca sativa, Plantago lanceolata und Stellaria graminea, die an den intensiver beweideten und damit intensiver betretenen Meßstellen der Koppel 2 fehlen.

Auf eine geringere Beweidung weist auch hin, daß hier 26 Arten gefunden wurden, am Koppelanfang und in der Koppelmitte aber nur 19 bzw. 18. Obwohl die 12 Jahre nicht beweidete Fläche des Versuchsfeldes 1967 eine höhere Dichte aufwies als die Parallelfläche der Koppel, hat sich der Pflanzenbestand zur Wiese hin entwickelt (Tabelle 15, Aufn. 6). Es sind nur noch 3 Kennarten des Cynosurion zu finden, während sich die Zahl der Arrhenatherion-Arten stark erhöht hat. Die typischen Trittanzeiger Poa annua und Plantago maior finden sich nicht mehr. Dagegen ist an der 2 Jahre nicht beweideten Meßstelle der ursprüngliche Weidebestand noch deutlich erkennbar (Tabelle 15, Aufn. 13). Das Fehlen von Phleum pratense, Capsella bursa pastoris und Stellaria media zeigt jedoch, daß auch hier bereits eine Bestandsverschiebung zur Wiese hin im Gange ist, wenngleich die Kennarten Polygonion avicularis noch vorhanden sind.

### 4.3.2 Trittbelastung der Narbe durch die Weidetiere

An Hand des Weidetagebuches wurde versucht, für die einzelnen Meßstellen die Trittbelastung der Weidetiere zu errechnen. Dabei wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen: Bei ganztägigem Weidegang befinden sich die Kühe etwa 18 Std. auf der Weide, 6 Std. entfallen auf das Melken im Stall. Während der reinen Grasezeit, die nach Untersuchungen von Roth (23) bei Ganztagsweide 42% der täglichen Auftriebszeit beträgt, weiden die Tiere auf der zugeteilten Portion. Die übrige Zeit dient zum Ruhen und Wiederkäuen. Zwischenzeitlich wird die Tränke am Koppeleingang aufgesucht. Dagegen konnte nicht berücksichtigt werden, daß sich ein Teil der Tiere zum Wiederkäuen auch auf dem bereits am Vortage abgeweideten Koppelteil niederläßt.

Die folgenden Berechnungen unterstellen somit einen nur durch den Gang zum Melken und den Gang zur Tränke unterbrochenen Aufenthalt auf der jeweils zugeteilten Tagesportion. Bei zwei täglichen Melkzeiten wird die zugeteilte Tagesportion 4mal beim Gang zum und vom Stall und mindestens 4mal beim Gang zur und von der Tränke überquert.

Bei gleichbleibender Besatzdichte werden die gleich großen Tagesportionen jeweils in der gleichen Zeiteinheit abgeweidet. Änderungen der Trittbelastung ergeben sich für die einzelnen Meßstellen nur durch die Überquerungen beim Gang zum Melken und zur Tränke. Da das Jungvieh auf die gesamte Koppel aufgetrieben wird, können hier die Überquerungen nicht in Rechnung gesetzt werden. Somit errechnet sich die Mindesttrittbelastung je Meßstelle bei 3 Tagesportionen je Koppel nach folgender Formel:

<sup>1</sup>/<sub>3</sub> × Summe der Weidestunden × Besatzdichte + Anzahl der Überquerungen.

Tabelle 21:

Daten zur Ermittlung der Trittbelastung je Meßstelle der Koppel 2 (lt. Weidetagebuch)

		1966	1967
Jährliche Gesamtweidezeit	"Kühe"	12,0 Tage	11,0 Tage
	"Jungvieh"	5,0 Tage	
Tägliche Weidezeit	"Kühe"	18 Std.	18 Std.
	"Jungvieh"	24 Std.	
Besatzdichte <sup>1</sup> )	"Kühe"	61 GV/ha	60 GV/ha
,	"Jungvieh"	21 GV/ha	_

<sup>1) 1</sup> Kuh = 1,2 GV 1 Jungvieh = 0,7 GV

Daraus ergeben sich durch Multiplikation der jährlichen Gesamtweidezeit "Kühe" und "Jungvieh" mit der jeweiligen täglichen Weidezeit und der jeweiligen Besatzdichte die Gesamt-GV-Weidestunden/ha. Die Division der Gesamt-GV-Weidestunden/ha durch die Anzahl der Tagesportionen (in diesem Fall 3 Tagesportionen) ergibt die GV-Weidestunden je Meßstelle und Jahr.

Die Anzahl der Überquerungen errechnet sich aus der jährlichen Gesamtweidezeit der Kühe in Tagen und der Anzahl der Überquerungen (in diesem Fall 8) je Tag. Da eine Tagesportion nur überquert wird, wenn die anschließenden Tagesportionen beweidet werden, ergibt sich die Anzahl der Überquerungen der einzelnen Meßstellen nach folgenden Formeln:

```
für Meßstelle I q=(n-1/3 n) \times Besatzdichte für Meßstelle II q=(n-2/3 n) \times Besatzdichte für Meßstelle III q=(n-3/3 n) \times Besatzdichte
```

Hierbei ist: q = Anzahl der Überquerungen

n= Jährl. Gesamtweidezeit  $\times$  Anzahl der täglichen Überquerungen Aus den GV-Weidestunden/ha und der Anzahl der Überquerungen ergibt sich die

Trittbelastung.

Von der an das Versuchsfeld angrenzenden Koppel 2 wurde 1967 ein Silageschnitt genommen. Die Trittbelastung ist dadurch von 5232 auf 3960 GV-Weidestd./ha zurückgegangen. Die gegenüber 1966 leicht zurückgegangene Feuchtdichte des zweiten Meßjahres (siehe Tabelle 17) dürfte aber weniger durch die reduzierte

Tabelle 22:

Trittbelastung an den einzelnen Meßstellen der Koppel 2; Steinach 1966 und 1967

Jahr	Meßstelle	Trittbelastung	
		GV-Weidestunden/ha	Überquerungen
	I	5232	$64 \times 61$ GV/ha
1966	II	5232	$32 \times 61$ GV/ha
	III	5232	0
1	I	3960	56 × 60 GV/ha
1967	II	3960	28 × 60 GV/ha
	III	3960	0

Belastung bedingt sein als vielmehr durch den 1967 allgemein niedrigeren Feuchtegehalt des Bodens; denn auch an den Meßstellen des Versuchsfeldes war 1967 die Feuchtdichte im selben Maße reduziert.

Durch die Trittbelastung wird die Bodendichte der Koppel nur in den oberen Bodenschichten bis 30 cm Meßtiefe beeinflußt. Hier bestehen deutliche Differenzen zwischen Weide und nicht beweideter Fläche (Tabelle 19). Ein Dichtegefälle in Abhängigkeit von einer abnehmenden Trittbelastung vom Koppeleingang zum Koppelende hin besteht nicht. An dieser Stelle ist aber darauf hinzuweisen, daß die Weidetiere die aus dem Boden ragenden, glänzenden Meßrohre aus Messing in Augenschein nehmen und damit die Meßstelle zusätzlich betreten. Hieraus kann eine Verfälschung der wahren Dichteverhältnisse entstehen.

#### 4.3.3 Koppel 13

Die Koppel 13 wurde ebenfalls wie die Koppel 2 ganztägig beweidet, wobei die Tagesration jeweils vorgesteckt wurde. In der Koppel 13 wurde 1966 am Koppeleingang und auf den 3 vorgesehenen Tagesportionen je 1 Meßrohr eingebracht. 1967 wurden an jeder Meßstelle noch zwei weitere Rohre installiert, um genauere Angaben über die Streuung der Ergebnisse zu erhalten, da die 4 Meßstellen auf 4 unterschiedlichen Bodentypen lagen.

Zur Abgrenzung der einzelnen Bodentypen wurden die topographischen Geländeverhältnisse näher untersucht. In einer tachymetrischen Geländeaufnahme wurde zunächst ein rastermäßiges Punktnetz angelegt und sodann, ausgehend von einer ideellen Höhenlage des höchsten Geländepunktes in der Nordostecke der Koppel auf Kote 100.00, die einzelnen Geländepunkte mittels Nivellement eingemessen.

Auf Grund des festliegenden Höhenrasters sind sodann die Höhenschichtlinien im Abstand von 1 m bestimmt und in einen Lageplan eingetragen worden. Nach diesen Ermittlungen beträgt das absolute Geländegefälle der Koppel 13 in der Hauptgefällsrichtung 11,80 m. Das mittlere Gefälle beträgt damit rund  $5^{0}$ 0 bzw. rund  $3^{\circ}$ .

Feuchtdichte und Feuchtegehalt des Bodens in Koppel 13

Die Meßrohre wurden (wie in Koppel 2) so gesetzt, daß auf die Tagesportionen jeweils eine Meßstelle entfiel. Zusätzlich wurde durch gleichmäßig verteilte Testbohrungen erreicht, daß die jeweilige Meßstelle für den vorherrschenden Boden-

typ repräsentativ war. Es zeigte sich, daß die Feuchtdichte mit jedem Umtrieb wellenförmig zu- und abnimmt. Vor dem Auftrieb nimmt die Dichte ab, nach dem Auftrieb nimmt sie zu. Die beiden letzten Umtriebe müssen hier unberücksichtigt bleiben, da nach dem Umtrieb infolge Verschlechterung der Witterung keine Messungen mehr vorgenommen werden konnten. In Tabelle 23 sind die einzelnen Meßdaten der beiden Versuchsjahre wiedergegeben.

Tabelle 23:

Feuchtdichte in der Meßtiefe 20 cm vor und nach jedem Umtrieb in g/cm³

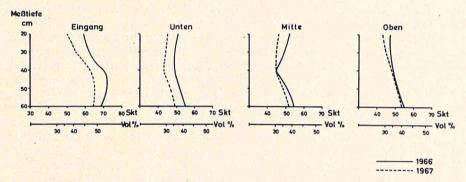
Steinach Koppel 13

Umtrieb	Meßstelle 1)		963	1967		
Chitaries	Webselle )	Vor Auftrieb	Nach Auftrieb	Vor Auftrieb	Nach Auftrieb	
I	E	1,62	1,76	1,64	1,80	
	U	1,59	1,75	1,66	1,81	
	M	1,72	1,83	1,72	1,83	
	0	1,72	1,77	1,76	1,87	
II	E	1,70	1,82	1,60	1,65	
	U	1,68	1,83	1,64	1,76	
	M	1,84	1,87	1,65	1,76	
	0	1,86	1,90	1,72	1,76	
III	E	1,79	1,82	1,64	1,80	
	U	1,80	1,78	1,64	1,78	
	M	1,83	1,89	1,69	1,83	
	0	1,87	1,90	1,72	1,87	
IV	E	1,80	1,83			
	U	1,72	1,77			
	M	1,86	1,89			
	0	1,87	1,91			
Iittlere Feuchtdichte		1,76	1,83	1,67	1,79	

<sup>1)</sup> E = Eingang; U = Unten; M = Mitte; O = Oben.

Es zeigt sich auch hier, daß der Einfluß des Bodentyps auf die Feuchtdichte größer ist als der durch das Weidetier verursachte Verdichtungseffekt. Obwohl am intensivsten betreten, weisen die beiden unteren Meßstellen die geringste Feuchtdichte auf. Die vor und nach einem Umtrieb höchste Dichte wurde regelmäßig an der Meßstelle im oberen Koppeldrittel gemessen, die aber am wenigsten betreten wird. Auf Grund der geringen Niederschläge 1967 liegen die Mittelwerte aller Meßstellen mit 1,67 g/cm³ vor dem Auftrieb und 1,79 g/cm³ nach dem Auftrieb unter den Werten von 1966, wo vor dem Auftrieb 1,76 g/cm³ und nach dem Auftrieb 1,83 g/cm³ gemessen wurden. Die durch das Beweiden bedingte mittlere Feuchtdichtezunahme stieg dagegen von 0,07 g/cm³ = 3,70/0 im Jahre 1966 auf 0,12 g/cm³ = 7,20/0 im Jahre 1967. Dies ist wiederum durch die Niederschlagsverteilung bedingt. Bei hohen Niederschlägen ist im Boden nur ein geringer Teil des Gesamtporenvolumens frei von Wasser, während bei geringen Niederschlägen ein größerer Anteil der Poren wasserfei ist und damit eine Bodenverdichtung zuläßt.

Im Gegensatz zur Feuchtdichte ergibt sich beim Bodenfeuchteverlauf keine Abhängigkeit von den Auftrieben; vielmehr ist der Kurvenverlauf durch die Niederschlagshöhe und den Niederschlagszeitpunkt bestimmt. Hierbei war 1967 der mittlere Feuchtegehalt in den einzelnen Meßtiefen an den unteren Meßstellen bis zu 8,5 Vol.% niedriger als 1966, wie aus Darst. 12 hervorgeht. Nur im oberen Koppelteil ist eine geringere Differenz zwischen beiden Meßjahren feststellbar. Eine Beziehung zwischen Wassergehalt und Trittbelastung — jedoch nicht zwischen Wassergehalt und Umtrieben — besteht dahingehend, daß die jährliche Schwankung der Bodenfeuchte mit abnehmender Trittbelastung abnimmt. Inwieweit diese durch den Bodentyp beeinflußt wird, konnte mit der hier benutzten Methodik nicht geklärt werden.



Darst. 12: Mittlere Bodenfeuchten der Meßstellen der Koppel 13, Steinach 1966 und 1967

Die geringere Trittbelastung im oberen Koppeldrittel wird durch botanische Bestandsaufnahmen bestätigt (Tab. 15). Die intensiv betretenen Teile der Koppel weisen die geringste Artenzahl auf, während an der Meßstelle "Oben" noch bis zu 26 Arten gefunden wurden (Aufn. 9).

#### Trockendichte

In Tabelle 24 sind die Mittelwerte der Trockendichte für die einzelnen Meßtiefen und für die beiden Versuchsjahre errechnet.

Tabelle 24:

Trockendichte an den Meßstellen der Koppel 13 in Steinach in g/cm³

Meßtiefe cm	Eingang		Unten		Mitte		Oben	
	1966	1967	1966	1967	1966	1967	1966	1967
20	1,31	1,35	1,36	1,43	1,44	1,44	1,50	1,54
30	1,27	1,31	1,32	1,43	1,46	1,46	1,43	1,45
40	1,15	1,20	1,43	1,48	1,57	1,53	1,40	1,42
50	1,10	1,16	1,47	1,50	1,53	1,53	1,43	1,45
60	1,23	1,19	1,52	1,54	1,53	1,54	1,45	1,48

Ähnlich wie die Feuchtdichte hat sich auch die Trockendichte im Jahre 1967 in allen Meßtiefen und Meßstellen leicht erhöht. In der Meßtiefe 20 cm steigt die Trockendichte von der Meßstelle am Koppeleingang bis zur Meßstelle am oberen Koppelende gleichmäßig an. Entgegen der ursprünglichen Annahme kann also hier kein Verdichtungseffekt in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Trittbelastung festgestellt werden. Vielmehr zeigt sich der außerordentlich große Einfluß des Standorts auf die Dichte des Bodens. So kann der am Koppeleingang als typischer Gley angesprochene, am stärksten betretene Boden auf Grund des hohen Feuchtegehaltes, der in 40—50 cm Tiefe auf über 50 Vol. % ansteigt, kaum verdichtet werden, da das gesamte Porensystem wassergefüllt ist.

#### 4.3.4 Der Druck des Weidetieres

Das mechanische Verhalten des Bodens unter der Trittbelastung der Weidetiere hängt ähnlich wie beim Befahren mit einem Schlepper von der Größe der Last, der Häufigkeit der Belastung, der Größe der Berührungsfläche sowie von Bodenart und -feuchtigkeit ab. Weiter wird die Druckverteilung noch durch die Lagerungsdichte des Bodens beeinflußt. Die Feststellung der Größe der Last ist einfach. Durch Wiegung der Tiere ergab sich eine mittlere Last von 600 kg je Tier. Schwieriger ist bereits die Bestimmung der Berührungs- oder Auftrittfläche. Hier weichen die Angaben in der Literatur stärker ab. Kuntze (14) gibt eine Klauenfläche von 96-145 cm² an, während WIND (37) eine mittlere Trittfläche eines Klauenpaares einer Kuh von 75 cm² ermittelte. Durch die Form der Klauenfläche kommt es zu einer sehr unterschiedlichen Druckverteilung im Boden, da das Gesamtgewicht vorwiegend mit den Klauenrändern abgestützt wird. Hinzu kommt, daß durch das Eintreten des Klauenpaares in den Boden ein zusätzliches Moment der plastischen Verformung gegeben ist. Somit müßten die Werte der Drucklastverteilung noch mit einem Faktor multipliziert werden, der ähnlich groß sein dürfte wie der Faktor der plastischen Verformung durch Reifenstollen.

Ohne Berücksichtigung der durch die Klauenform bedingten, sehr unterschiedlichen Druckverteilung kann für eine sich bewegende Kuh mit einem Gewicht von 600 kg die mittlere Belastung errechnet werden:

Flächendruck P = 
$$\frac{\text{Gewicht}}{2 \times \text{Klauenfläche}}$$
  
=  $\frac{600 \text{ kg}}{2 \times 100 \text{ cm}^2} = \frac{3.0 \text{ kg/cm}^2}{2 \times 100 \text{ cm}^2}$ 

Unter Berücksichtigung der plastischen Verformung kann ein Flächendruck von 4,0 kg/cm² unterstellt werden. Ohne Berücksichtigung der plastischen Verformung geben Wind und Schothorst (38) den Druck zweier Klauenpaare mit 4,0 kg/cm² an. Der unterstellte Flächendruck von 4,0 kg/cm² ist somit keinesfalls zu hoch angesetzt. Tatsächlich dürfte er eher bei 5,0 kg/cm² liegen. In Ruhestellung der Kuh vermindert sich der Flächendruck entsprechend der doppelten Berührungsfläche auf 1,5 kg/cm². Bei sehr trockenem Boden wird hier auch das Moment der Bodenverformung entfallen.

Die Gesamtbelastung des Bodens resultiert aus der aufgetriebenen Kuhzahl, der während der Gesamtauftriebszeit betretenen Fläche und dem Flächendruck je Trittfläche. Die insgesamt belastete Fläche ist wiederum von der Gesamtschrittzahl abhängig. Nach Voisin (36) legt eine Kuh in 24 Std. ungefähr 4 km zurück. Diese Angabe besitzt aber nur eine beschränkte Aussagekraft, da Angaben über die zugeteilte Flächenration und die Koppelform fehlen. So ist der zurückgelegte Weg auf einer langen und schmalen Koppel größer als auf einer mehr quadratischen Koppel, da die Tiere die Gewohnheit haben, nach dem Austrieb erst die ganze zugeteilte Fläche abzuschreiten. Sears (zit. bei Klapp 11) gibt an, daß durch den Rindertritt eine Weide jährlich wiederholt mit 21 kg/6,5 cm² belastet wird.

Wird unterstellt, daß jede Kuh im vorliegenden Falle während der reinen Grasezeit täglich 1 km zurücklegt und auf den laufenden Meter 6 Klauenabdrücke entfallen, so ergibt sich hieraus nur ein Teil der Flächenbelastung. Zusätzlich muß noch die Belastung, die aus dem Gang zum Melkstall und dem Gang zur Tränke resultiert, berücksichtigt werden. Je Kuh und Weidetag errechnet sich die gesamte betretene Fläche aus der Anzahl der Klauenabdrücke, der Klauenfläche und dem zurückgelegten Weg. Somit ist:

```
Betretene Fläche F_{Kuh \ u. \ Tag} = 6 \times 100 \times 1000 \ (cm^2)
= 600 \ 000 \ cm^2
= 60 \ m^2
```

Für Koppel 13 und das Jahr 1967 ist bei 80 Kühen und 8 Weidetagen:

Gesamt betretene Fläche 
$$F_{Gesamt} = 80 \times 8 \times 60 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$= 38 400 \text{ m}^2$$

Bei einer Koppelgröße von 15 000 m² wurde somit durch die reine Grasezeit der Boden 2,7mal mit etwa 4,0 kg/cm² belastet.

Zu dieser Belastung kommt noch die Belastung, die aus den Überquerungen resultiert. Wie bereits angeführt, bedingen diese Überquerungen die unterschiedliche Trittbelastung der Koppel, da die Koppelportionen in gleichen Zeiteinheiten abgeweidet werden. Für die Überquerungen ist daher nicht die gesamte Koppelfläche Bezugsgröße, sondern der jeweils täglich zugeteilte Koppelteil, also ein Drittel der Fläche oder 5000 m².

Da eine Kuh bei diesen Überquerungen weiter ausschreitet als beim Grasen, vermindern sich die Klauenabdrücke je zurückgelegten Meter von 6 auf etwa 4,5. Hieraus ergibt sich:

Betretene Fläche 
$$F_{Kuh\ u.\ Oberquerung}$$
 =  $4.5 \times 100 \times 80\ (cm^2)$  =  $36\ 000\ cm^2$  =  $3.6\ m^2$ 

Für 64 Überquerungen mit 80 Kühen der Meßstelle "Eingang" ist:

$$F_{\text{Uberquerung gesamt}} = 3.6 \times 80 \times 64 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$= 18432 \qquad \qquad m^2$$

Somit wurde durch das Überqueren die Fläche um die Meßstelle am Koppeleingang 3,7mal (18 432 m²: 5000 m²) mit etwa 4,0 kg/cm² belastet. Analog zu den Werten von Tab. 38 verringert sich die Belastung für die Meßstelle "Unten" auf 2,5mal 4,0 kg/cm² und für die Meßstelle "Mitte" auf 1,2mal 4,0 kg/cm². Die Nachbeweidung mit dem Jungvieh bleibt in diesem Zusammenhang unberücksichtigt, da es über die gesamte Koppel weidet. Zudem dürfte die von ihm bewirkte Drucklast in einer zu vernachlässigenden Größenordnung bleiben.

Die Tragfähigkeit des Bodens ist vom Feuchtegehalt des Bodens und dem Gehalt an organischer Substanz abhängig. Andererseits weisen Böden mit einem hohen mittleren Wassergehalt auch ein hohes Gesamtporenvolumen auf. Einer Bodenverdichtung sind dann enge Grenzen gesetzt, wenn kaum wasserfreie Poren vorhanden sind, die allein eine Verdichtung zulassen. So gibt Wind (37) an, daß humose Grünlandböden mit 85% Gesamtporenvolumen sehr locker sind, mit 75% Poren aber bereits sehr dicht.

#### 5. Diskussion

Die Untersuchungen des Einflusses unterschiedlichen Drucks auf Bodendichte und Bodenfeuchte sollten Aufschluß geben, in welchem Umfang diese bodenphysikalischen Größen variabel und damit beeinflußbar sind, um gegebenenfalls durch gezielte Maßnahmen Wachstumsverlauf und Zusammensetzung der Narbe günstig, d. h. im Sinne eines Mehrertrages nach Menge und Güte, beeinflussen zu können.

Es zeigte sich, daß Befahren mit einem schweren Schlepper einen nachhaltigen Einfluß auf die Dichte ausübt, während selbst wiederholtes Walzen mit einer glatten Wiesenwalze keine meßbaren Dichteveränderungen hervorrief. Der Tritt des Weidetieres wiederum führte zu einer Verdichtung im Vergleich zu einer unbeweideten Fläche.

Um Bodenunterschiede ausschalten zu können, wurden die Dichte- und Feuchtemessungen über zwei Jahre in situ an gleichen Stellen mit radioaktiven Strahlen und dazu gehörenden Empfangsgeräten durchgeführt. Hierbei trat eine Fülle von Einzelproblemen auf, die sich jedoch im wesentlichen auf Fragen der Meßmethodik, der Meßgenauigkeit und der Bewertung des Druckes konzentrieren.

# 5.1 Meßmethodik und Meßgenauigkeit

Die Anwendung radiometrischer Meßmethoden in Versuchen, die auf bewirtschafteten Flächen, also nicht in einem Labor oder auf einem Versuchsfeld durchgeführt werden, erfordert bestimmte Voraussetzungen, die in Versuchen mit konventionellen Methoden von geringer Bedeutung sind. So muß während der gesamten Meßperiode Zufahrt mit einem PKW an allen Meßstellen möglich sein, um die Messungen stets in gleicher Position des Zählgerätes durchführen zu können.

Das Zählgerät war bei allen Messungen auf einer Gummiplatte im Kofferraum abgestellt, um es vor Feuchtigkeit und direkter Sonneneinstrahlung zu schützen. Wird das Zählgerät auf dem Boden abgestellt, so treten selbst bei trockener

Witterung Kriechströme auf, die die Anzeige um 1—3 Skalenteile absinken lassen, während bei direkter Sonneneinstrahlung die Anzeige im selben Umfange erhöht wird. Eine Abweichung von 3 Skalenteilen der Feuchteanzeige bedeutet bei einem tatsächlichen Feuchtegehalt von 40% einen Fehler von .5%, bei einem Feuchtegehalt von 25% aber bereits einen Fehler von 10%.

Die temperaturbedingten Schwankungen der Anzeige können erheblich sein. So schwankte die Anzeige der Feuchtesonde bei der Eichkontrolle je nach Höhe der Temperatur von 46 bis 55 Skt. Im Mittel ergaben 2° C Abweichungen von einer mittleren Temperatur von 15° C eine Abweichung der Eichanzeige (51 Skt.) um 1 Skt. Je nach Standort und Bodenfeuchte war dies eine Abweichung von 0,5—1,0 Vol.% Bodenfeuchte.

Es konnte weiter die angelegte Hochspannung nicht kontrolliert werden, da kein Voltmeter eingebaut ist. Kontrollmessungen mit einem geeichten Voltmeter ergaben Schwankungen der Hochspannung von  $\pm$  10 V. Besonders bei der Feuchtesonde mit ihrem schmalen Plateau ist aber eine laufende Spannungskontrolle notwendig, um die angelegte Arbeitsspannung exakt einhalten zu können.

Die Meßanzeige der Sonde erfolgt durch ein Ratemeter. Im Gegensatz zur digitalen Anzeige wird über ein Ratemeter eine integrierende Anzeige über eine bestimmte Zeiteinheit vorgenommen. Durch eine Kombination von Widerstand und Kapazität wird eine Durchschnittsrate gemessen, die einen ständigen Ausschlag in bestimmter Höhe auf der Anzeigeskala bedingt. Meßwerte von Ratemetern sind aber in höherem Maße von Instabilitäten der Elektronik abhängig als digitale Meßgeräte, da bei Ratemetern das Meßergebnis nicht nur von der Anzahl der eine bestimmte Energieschwelle passierenden Impulse abhängig ist, sondern auch von der Impulsform. Die Streuung der Energiewerte der mittels (γ, n)-Prozeß durch die γ-Strahlung des Americiums aus dem Beryllium ausgelösten Neutronen ist beträchtlich. Sie beträgt nach Finkelnburg (6) 24 bis 830 keV. Durch einen eingebauten Diskriminator ist die Energieschwelle so festgelegt, daß nur die energiereichen Neutronenimpulse hindurchgehen, nicht jedoch die energieärmeren γ-Impulse des Americiums, die eine Energie von 30 und 60 keV aufweisen.

Die Abbremsung oder Moderierung schneller Neutronen ist von der Bremswirkung der Atomkerne und von ihrem Einfangsquerschnitt abhängig. Der Absorptionsquerschnitt der Kerne der einzelnen am Bodenaufbau beteiligten Atome muß um so mehr berücksichtigt werden, je mehr ihr Querschnitt vom Einfangsquerschnitt der Wasserstoffkerne abweicht. Für die wichtigsten am Bodauaufbau beteiligten Elemente haben Andrieux et al. (1) die Absorptionsquerschnitte gemessen.

Ist in einem Boden ein hoher Anteil von Elementen vorhanden, deren Kerne einen höheren Einfangsquerschnitt für thermische Neutronen aufweisen als Wasserstoffkerne — z. B. Mn, Cl und B —, so wird eine geringere Feuchte als tatsächlich vorhanden angezeigt, da ein Teil der gebremsten Neutronen vor Erreichen des Szintillationskristalles absorbiert wird. So haben Untersuchungen von Holmes und Jenkinson (8) ergeben, daß 100 ppm Bor die Eichkurve um 10% drücken. Den gleichen Effekt würden auch 0,0074 g Chlor/g Boden ausüben. Der Einfluß von Bor und Chlor auf die Meßanzeige kann aber bei den Untersuchungen

der vorliegenden Standorte aus zwei Gründen vernachlässigt werden: Einmal übersteigt der tatsächliche Borgehalt an keiner Meßstelle 1 ppm und auch der Chlorgehalt bleibt weit unter dem angegebenen Wert. Zum anderen wurde für jeden Versuchsort eine eigene Eichkurve erstellt, um derartige Einflüsse auszuschalten.

Neutronen reagieren nicht nur mit dem Wasserstoff des freien und des gebundenen Wassers, sondern auch mit dem Wasserstoff, der in der organischen Substanz enthalten ist. Mit ansteigendem Gehalt an organischer Substanz kommt es also zu einer zunehmenden Meßabweichung, wie auch Süss, Zehender und Schurmann (29) feststellten.

In Verbindung mit dem Einfluß des Wasserstoffes der organischen Substanz auf die Zählrate besteht eine weitere Fehlerquelle darin, daß der Kohlenstoff einen weit geringeren Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen besitzt als der Wasserstoff. Während der Einfangquerschnitt von Wasserstoff 0,33 barn beträgt, hat der Kohlenstoff einen Einfangquerschnitt von nur 0,003 barn, d.h. größere Anteile von C im Boden täuschen einen höheren Wassergehalt als tatsächlich vorhanden vor. Eine genaue Quantifizierung des C-Gehaltes der org. Substanz ist aber schwierig und nur für den Einzelfall möglich, da der C-Gehalt je nach Aufbau der org. Substanz-stark schwankt. So beträgt beispielsweise nach Веск (2) der Zelluloseanteil in jungen Pflanzen etwa 15%, in älteren Pflanzen bis zu 40% und in verholzten Pflanzenteilen 50% und mehr. Nach Fiedler und Reissig (5) hat Zellulose einen Kohlenstoffanteil von 44,4%, Lignin sogar von 61-66%, während die Bodenhuminstoffe, wie Braun- und Grauhuminsäuren, 50-62% C aufweisen. Damit sinkt mit hohem C-Gehalt und geringem Feuchtegehalt des Bodens die Meßgenauigkeit stark ab. Auf den untersuchten Standorten mit einem Gehalt von 1,7—4,8% org. Substanz ist die Meßabweichung jedoch gering und liegt innerhalb der normalen Streuung von  $\pm$  0,5 Skt. gleich  $\pm$  0,4 bis  $\pm$  0,7 Vol. $^{9}$ / $_{0}$ .

Eingehende Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Elemente hat Olgaard (19) angestellt. Nach ihm müßte streng genommen für jede einzelne Meßtiefe eines Versuchsstandortes eine Eichlinie erstellt werden, um alle unterschiedlichen Einflußfaktoren auf die Neutronenmoderation ausgleichen zu können.

Van Eimern und Lawrynowicz (33) erstellten für ihre gammaskopischen Wasserhaushaltsuntersuchungen für jede Meßtiefe eine Eichgerade. Mit dieser Methode werden aber im Gegensatz zur Neutronenmoderation Wassergehaltsänderungen mittels Gammastrahlung gemessen. Änderungen der Impulsrate entsprechen Änderungen der Bodenfeuchte, da sich die Dichte eines beruhigten Bodens nur noch durch Zu- oder Abnahme des Wassergehaltes ändert. Diese Methode kann jedoch nicht mehr eingesetzt werden, wenn mit künstlich erzeugten Dichteänderungen zugleich auch Feuchteänderungen gemessen werden sollen.

#### 5.2 Auflösungsvermögen der Meßsonden

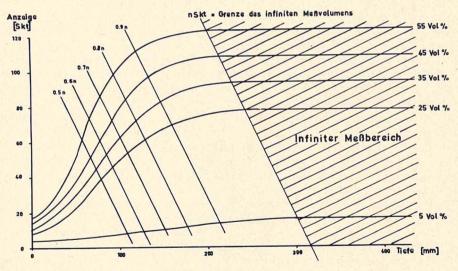
Durch eine Verringerung des Abstandes zwischen Neutronendonator und Detektor könnte das durchstrahlte Meßvolumen stark verkleinert werden, wie Perrier und Johnston (21) festgestellt haben. Aus strahlenschutztechnischen

Gründen kann aber eine derartige technische Abänderung der Sonde in der Praxis nicht vorgenommen werden.

Trotz des hohen Auflösungsvermögens der Feuchtesonde ist die Möglichkeit vorhanden, auch im Bereich 8—20 cm unter der Grasnarbe Feuchtemessungen durchzuführen, wie Darst. 13 zeigt. Hier ist für einige Wassergehalte die Zunahme der Anzeige in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe der Sonde in den Boden aufgetragen. Es handelt sich allerdings nicht um einen Versuchsstandort des Forschungsvorhabens, sondern um eine Ableitung der von der Herstellerfirma gelieferten Eichkurve. Die Gesetzmäßigkeit der Ableitung ist aber auch für die Versuchsstandorte repräsentativ und reproduzierbar. Aus dieser Darstellung geht hervor, daß die Zählrate für jeden Feuchtegehalt mit zunehmender Profiltiefe bis zu einem bestimmten Wert ansteigt und dann in gleichbleibender Höhe verläuft. Dieser Grenzwert beträgt beispielsweise 5 Vol.% bei 300 mm Eintauchtiefe und 55 Vol.% bei 200 mm Eintauchtiefe, d. h. von diesem Punkte ab treten an der Oberfläche keine Neutronen mehr aus. Die Feuchtefeststellung erfolgt also im infiniten Meßbereich, dessen Minimaltiefe in Darst. 13 mit der Geraden n Skt abgegrenzt ist.

Parallel zur Geraden n Skt verlaufen weitere Gerade, die jeweils anzeigen, in welcher Profiltiefe für die einzelnen Wassergehalte n Skt Anzeige erreicht wird.

So bedeutet beispielsweise eine Anzeige von 50 Skt bei 100 mm Eintauchtiefe der Sonde einen Wassergehalt von 25 Vol.% und eine Anzeige von 80 Skt einen Wassergehalt von 45 Vol.%. Ein derartiges Diagramm kann jedoch nur für Feuchtemessungen unter Laborbedingungen oder in Modellversuchen eingesetzt werden. Für Messungen unter Praxisbedingungen ist es unbrauchbar, da hier im oberflächennahen Bereich keine konstante Eintauchtiefe der Sonde gegeben ist,



Darst. 13: Feuchteanzeige in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe der Meßsonde

sondern die Bodenoberfläche durch den Tiertritt Vertiefungen und Erhöhungen aufweist.

MAERTENS, MORIZET und STUDER (17) kamen während ihrer Untersuchungen über die Einflußsphären von Neutronensonden ebenfalls zu der Feststellung, daß im oberflächennahen Bereich (0—20 cm) die Streuung der Anzeige sehr hoch ist. Erst ab einer Meßtiefe von 20 cm bleibt der Zählfehler unter 1% des absoluten Meßwertes.

### 5.3 Druckwirkung von Schlepper, Walze und Kuhtritt

Der für den Schlepperreifen errechnete Flächendruck von 4,4 kg/cm² liegt nicht zu hoch, da Kuffer (13) angibt, daß der Druck unter Schlepperreifen etwa dem Druck eines 2,5 m hohen Betonblockes äquivalent ist. Dies entspricht bei einem Raumgewicht des normalen Betons von 2,2—2,3 g/cm³ einem Flächendruck von 5,5—5,6 kg/cm². Ferner ist zu berücksichtigen, daß unter Praxisverhältnissen eine Druckbelastung nie allein aus dem Befahren mit dem Schlepper resultiert, sondern daß durch Erntemaschinen — wie Feldhäcksler oder Lader — und Erntewagen eine zusätzliche Belastung erfolgt. Diese zusätzliche Belastung darf nicht unterschätzt werden, da die Reifen dieser Maschinen und Geräte im allgemeinen klein dimensioniert sind. Gerade für Flächen, die allein durch intensive Schnittnutzung bewirtschaftet werden, kommt diesem Umstand eine erhebliche Bedeutung zu.

Den Einfluß schwerer Erntemaschinen auf die Narbenzusammensetzung von Mähweiden haben in jüngster Zeit Volgtländer und Vollrath (35) untersucht. Sie stellten fest, daß nach dem Übergang von der Mähweide zur Vierschnittnutzung sich die Mähweidenarbe in Richtung einer Weidenarbe veränderte, da der Bodendruck der schweren Erntemaschinen und Grünfutterfuhren offenbar stärker war als der Tritt der Weidetiere bei der Mähweidenutzung.

Lieth (16) hat in einem anschaulichen Schema dargestellt, wie der Tritt als ökologischer Faktor auf vielen Wegen auf die Pflanzen wirkt. Nach Kuntze (14) muß mit steigender Intensität der Weidenutzung den Bodeneigenschaften, die die Trittfestigkeit der Narbe bedingen, große Bedeutung beigemessen werden. Neben der Bodenfeuchte haben der Humusgehalt und die Humusform Einfluß auf die Dichte und die Trittfestigkeit. So hat saurer Rohhumus mit wenig zersetzten, abgestorbenen Pflanzenresten zwar ungünstige chemische Eigenschaften, dagegen einen günstigen physikalischen Einfluß auf die Tragfähigkeit. Trotz des hohen Wassergehaltes und des damit verbundenen geringen Bodensubstanzgehaltes ist die Narbe am Eingang der Koppel 13 noch widerstandsfähig und trittfest. Hier bilden (Tab. 15) Agropyron repens, Alopecurus geniculatus, Agrostis stolonifera und Poa trivialis einen dichten Wurzelfilz, der nur in Zeiten stärkerer Vernässung von den Weidetieren durchgetreten wird.

Vergleichbare Dichtewerte ergeben sich nur auf gleichen Standorten. Tanner und Mamaril (32) stellten fest, daß die Bodendichte einer 25 Jahre alten Weide im Mittel eine Bodendichte von 1,43 g/cm³ aufwies. Auf angrenzenden, nicht beweideten Flächen lag die Dichte dagegen bei 1,22 g/cm³.

ZÄNKER (39) gelangt bei der Untersuchung des Einflusses verschiedener Nutzungsweisen auf die Struktur eines Dauergrünlandbodens zu der Feststellung,

daß der durch das weidende Tier verursachte Bodendruck, der in verschiedener Intensität auf Weide und Mähweide in drei Jahren ausgeübt wurde, ohne Einfluß auf das Porenvolumen geblieben ist. Im Durchschnitt der drei Jahre stellte Zänker aber auf der Weide im Vergleich zur Wiese eine gesicherte Verringerung des Bodenluftvolumens fest. Die Verringerung betrug für den Bereich 2—20 cm 3,42 Vol.%.

Inwieweit die Ergebnisse dieser Untersuchungen auch auf andere Wiesen- und Weidestandorte übertragen werden können, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten. Untersuchungen über die Dynamik der Bodendichte erfordern die Erfassung weiterer bodenphysikalischer Meßgrößen. So hängen die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens von der Porengrößenverteilung ab, wie Sunkel (30) sowie Schönberg und Lorenz (25) festgestellt haben.

Um die Bodendichte- und Bodenfeuchteverhältnisse eines Standortes tatsächlich beurteilen zu können, ist es also erforderlich, zahlreiche weitere Standortsfaktoren zu erfassen. Nur dadurch wird es möglich, die vielfältigen Beziehungen dieser Faktoren in ihrer gesamten Wirkung zu beurteilen.

### 6. Zusammenfassung

- Die von der Herstellerfirma der Meßsonden erstellten Eichkurven sind nur z. T. für Messungen auf natürlichem Boden einsetzbar. Deshalb ist eine neue Eichung mit konventionellen Methoden notwendig.
- 2. Die Abweichung der Stechzylinderwerte von den Werten der Dichtesonde ist am geringsten, wenn der Kontrollwert als Mittelwert von zwei, mit einem Abstand von 10 cm übereinander liegenden Schichten genommen wird. Sie beträgt für die Meßtiefen 10—30 cm 4% und für die Meßtiefen 30—60 cm < 1%.
- 3. Die laufende Kontrolle der Feuchteeichkurven kann mit hinlänglicher Genauigkeit (s = 1,07 Vol.%) auch an Proben erfolgen, die mit dem "Anderssonbohrer" entnommen wurden, wenn die zur Errechnung der Feuchte in Vol.% notwendigen Feuchtdichtewerte als gleitende Mittel aus den der jeweiligen Meßschicht benachbarten Werten gebildet werden.
- 4. Nach zweimaligem Befahren einer Weideansaat, die nicht beweidet, sondern jährlich 5mal geschnitten wurde, mit einem Schlepper im zeitigen Frühjahr lag der Trockensubstanzertrag des ersten und zweiten Schnittes signifikant unter dem der unbefahrenen Vergleichsfläche. Mit dem dritten Schnitt jedoch ließ sich ein Trend in umgekehrter Richtung erkennen.
- 5. Mehrmaliges Bewalzen einer Zweischnittwiese mit einer schweren Wiesenwalze (6000 kg bei 2,5 m Walzenbreite) konnte die Bodendichte und die Bodenfeuchte nicht meßbar verändern. Der von der Walze ausgeübte Flächendruck betrug 0,96 kg/cm². Nach Abschluß des Versuches konnte keine Änderung der botanischen Bestandszusammensetzung gefunden werden.
- 6. Es ergaben sich deutliche Dichte- und Feuchtedifferenzen zwischen "beweidet" und "nicht beweidet". In der beweideten Koppel erhöhte sich die Feuchtdichte durch das Beweiden um durchschnittlich 0,08 g/cm³ (gleich 50/0).
- 7. Einen großen Einfluß auf Bodendichte und Bodenfeuchte übt der Bodentyp aus. So war am Koppeleingang auf einem Gleyboden die Trockendichte am

niedrigsten und der Wassergehalt am höchsten. Im Mittel zweier Jahre wurden in einer Koppel folgende Trockendichten für die Meßtiefe 20 cm gemessen:

am Koppeleingang auf Gleyboden: 1,33 g/cm³ im unteren Koppeldrittel auf Pseudogley: 1,40 g/cm³ in der Koppelmitte auf Stagnogley: 1,44 g/cm³ am oberen Koppelende auf Parabraunerde: 1,52 g/cm³

8. Die Gesamtbelastung der Weidenarbe durch den Tritt der Weidetiere resultiert aus der Belastung während der reinen Grasezeit, die für alle Meßstellen der Koppel gleich ist, und der Belastung, die durch die Koppelüberquerungen beim Auf- und Abtreiben entsteht. Durch die reine Grasezeit wurde der Boden bei jeder Meßstelle 2,7mal mit 4,0 kg/cm² belastet. Durch das Überqueren wurde die Fläche an der Meßstelle "Koppeleingang" zusätzlich 3,7mal, an der Meßstelle "Unten" 2,5mal und an der Meßstelle "Koppelmitte" 1,2mal mit jeweils 4,0 kg/cm² belastet.

Diese Mehrbelastung kam jedoch in den Meßwerten nicht zum Ausdruck. Ihre Wirkung wurde durch den Einfluß des Bodentyps überdeckt.

## Literaturverzeichnis

- 1. Andrieux, C., Buscarlet, L., Guitton, J., et Merite, B. (1962): Mesure en profondeur de la teneur en eau des sols par ralentissement des neutrons rapides. Radioisotopes in Soil-Plant-Nutrition Studies, IAEA Proc., 187—217. Druck Rosenbaum, Wien.
- 2. Beck, Th. (1968): Mikrobiologie des Bodens. BLV München—Basel—Wien.
- 3. Borchert, H. (1961): Ein meth. Beitrag zur Entnahme von Bodenproben in ungestörter Lagerung. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 93, 210—214.
- 4. Brünner, F. (1962): Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden. E. Ulmer, Stuttgart.
- 5. Fiedler, H. J., und Reissig, H. (1964): Lehrbuch der Bodenkunde, Jena.
- Finkelnburg, W. (1964): Einführung in die Atomphysik. Springer Verlag, Berlin.
- 7. Hebestreit, H. (1954): Untersuchungen über die Wasserführung in alten Marschböden. Diss. Kiel.
- 8. Holmes, J. W., and Jenkinson, A. F. (1959): Techniques for using the neutron moisture meter. J. Agr. Eng. Res. 4, 100—109.
- 9. Klapp, E. (1954): Wiesen und Weiden. 2. Aufl., P. Parey, Hamburg.
- 10. (1957): Futterbau und Grünlandnutzung. 6. Aufl., P. Parey, Hamburg.
- 11. (1965): Grünlandvegetation und Standort. P. Parey, Berlin und Hamburg.
- 12. Koch, F. (1934): Untersuchungen über die Wirkung glatter Bodenwalzen. Diss. TH München.
- 13. Kuipers, I. H. (1968): Die Ansprüche der Kulturpflanzen an die physikalischen Bodeneigenschaften aus der Sicht des Pflanzenbauers. Manuskript eines Vortrages vom 18./19. 9. 1968 (Verband der Ingenieur-Agronomen der Schweiz).
- Kuntze, H. (1963): Untersuchungen zur Trittfestigkeit von Weideböden. Kali-Briefe, Fachgeb. 4, Folge 4.
- Lawless, G. P., MacGillivray, N. A., and Nixon, P. R. (1963): Soil moisture interface effects upon readings of neutron moisture probes. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 27, 502—507.
- Lieth, H. (1954): Die Porenvolumina der Grünlandböden und ihre Beziehungen zur Bewirtschaftung und zum Pflanzenbestand. Z. Acker-Pflanzenb. 98, 453—460.

- 17. Maertens, C., Morizet, J., et Studer, R. (1965): Modalités d'utilisation en agronomie d'un humidimètre a ralentissement de neutrons. Ann. Agron. 16, 5—23.
- 18. Mott, N., und Müller, G. (1967): Versuchsergebnisse mit weißem Straußgras (Agrostis gigantea) in Weideansaaten. Wirtschaftseig. Futter 13, 201—210.
- 19. Olgaard, P. L. (1965): On the theory of the neutronic method for measuring the water content in soil. Risö Report 97, der Danish Atomic Energy Comm. Research.
- Pahl, E. (1969): Warum gibt es im Vorsommer einen Grasberg? Mitt. DLG 84, 460—462.
- 21. Perrier, E. R., and Johnston, W. R. (1962): Distribution of thermal neutrons in a soilwater system. Soil Sci. 93, 104—112.
- 22. Ramsauer, B. (1965): Ein handlicher Volumbohrer. Z. Kulturtech. Flurbereinig. 6, 295—300.
- Roth, D. (1965): Beobachtungen zur Dauer der Freßzeit von Milchkühen auf der Weide. 3. Grünlandsymp. Leipzig, Tier und Weide, 75—84.
- 24. Scheffer, F., und Schachtschabel, P. (1960): Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. 5. Aufl., Enke Verl. Stuttgart.
- 25. Schönberg, W., und Lorenz, P. (1964): Untersuchungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse staunasser Böden als Beitrag zur meliorationskundlichen Standortaufnahme. Z. Landesk. 5, 297—316.
- 26. Simon, U. (1964): Leistungsvergleich mit Futtergräsern in Reinsaat bei Schnittnutzung. Z. Acker-Pflanzenb. 119, 81—98.
- 27. Söhne, W. (1953): Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundl. Landtech. H. 5, 49—63.
- 28. (1955): Die Verdichtbarkeit des Ackerbodens unter Berücksichtigung des Einflusses organischer Bestandteile. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 69, 116—125.
- 29. Süß, A., Zehender, O., und Schurmann, G. (1967): Die Kernstrahlen-Methode zur Messung von Bodenfeuchte und Bodendichte in ihrer Anwendung auf pflanzenbauliche Probleme. Z. Acker-Pflanzenb. 125, 277—296.
- 30. Sunkel, R. (1961): Über die Porosität von Bodenaggregaten. 2. Mitt. Untersuchungsergebnisse. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 93, 221—234.
- 31. Staehler, H., und Steuerer-Finckh, B. (1965): Grünlandwirtschaft und Feldfutterbau. BLV München.
- 32. Tanner, C. B., and Mamaril, C. P. (1959): Pasture soil compaction by animal traffic. Agron. J. 51, 329—331.
- 33. Van Eimern, J., und Lawrynowicz, R. (1968): Erfahrung mit einer Gammasonde (Lysimetersonde) zur Messung des Bodenwasserhaushaltes (Bodenfeuchte). Z. Bewässerungswirtsch. H. 2, 142—159.
- 34. Vidal, H., und Schuch, M. (1965): Ein Universalgerät zur Entnahme ungestörter Bodenproben. Bodenkultur 16, 245—249.
- 35. Voigtländer, G., und Vollrath, H. (1970): Beobachtungen an Dauerquadraten auf Mähweiden unter Mehrschnittnutzung. Das wirtschaftseig. Futter 16, 36—47.
- 36. Voisin, A. (1958): Die Produktivität der Weide. BLV, München-Bonn-Wien.
- 37. Wind, G. P. (1964): Verbetering van de draagkracht van grasland. Stikstof 4, 238—244.
- 38. Wind, G. P., and Schothorst, C. J. (1964): The influence of soil properties on suitability for grazing and of grazing on soil properties. VIII. Intern. Bodenk. Kongreß, Bukarest, Ber. Bd. II, 571—580.
- 39. Zänker, J. (1962): Der Einfluß verschiedener Nutzungsweisen auf die Struktur eines Dauergrünlandbodens. Z. Landeskultur 3, 401—412.