

Experimentelle Untersuchungen über die Adhäsion zwischen Boden und festen Werkstoffen

Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim

Das gegenseitige Haften zwischen Körpern verschiedener stofflicher Zusammensetzung wird Adhäsion genannt. Untersuchungen über Wesen und Ursache der Adhäsionserscheinungen haben in der Wissenschaft verhältnismäßig spät Beachtung und Interesse gefunden. Genaue theoretische Aussagen lassen sich in quantitativer Hinsicht bis jetzt über die Adhäsionskräfte zwischen zwei Stoffen nicht machen. Es konnte nachgewiesen werden [1], daß zahlreiche molekulare Eigenschaften bei der Berührung von festen und flüssigen Stoffen mit den Adhäsionskräften im Zusammenhang stehen. Auf Grund theoretischer Überlegungen ist anzunehmen, daß die Adhäsionskräfte zwischen zwei Stoffen weitgehend von deren Molekülaufbau abhängig sind. Neuere Untersuchungen [2] zeigen aber, daß zum Verständnis der Adhäsion die Vorstellungen über die molekularen Kräfte allein nicht ausreichen, sondern daß noch andere Einflußgrößen wie Ionenbelag und elektrokinetische Erscheinungen besonders dann zu berücksichtigen sind, wenn eine Adhäsion zwischen festen Werkstoffen und Boden auftritt.

Bei Bauteilen von landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten tritt die Adhäsion häufig auf. Beispiele dafür sind an anderer Stelle ausführlich dargestellt [3 . . . 5]. Da die Adhäsion das Betriebsverhalten der Maschinen und Geräte nachteilig beeinflusst, ist sie unerwünscht und sollte vermieden werden. Für den Konstrukteur von Landmaschinen ist es wichtig, die Größenordnungen der Einflußfaktoren auf die Adhäsion zu kennen, um die Neigung des Bodenhaftens zu verringern oder zu beseitigen. Wegen der meßtechnischen Schwierigkeiten liegen auf diesem Gebiet aber nur wenig brauchbare Angaben vor [6 . . . 13].

Ein Beitrag hierzu wurde im Rahmen einer experimentellen Untersuchung der Adhäsion zwischen Boden und festen Stoffen geleistet¹⁾.

1. Messungen mit der Adhäsionswaage

Das bei den experimentellen Untersuchungen benutzte Meßgerät ist bereits eingehend beschrieben worden [5]. Zum Messen der Adhäsion wurde das Prinzip benutzt, eine Prüfplatte gegen den Versuchsboden zu pressen und anschließend die Kraft zu bestimmen, die zum Abheben der am Boden festgeklebten Platte erforderlich ist. Als Maß für die Adhäsion wurde die gemessene Adhäsionskraft auf ein cm² Prüffläche bezogen. Es ist:

$$\text{Spezifische Adhäsionskraft} = \frac{\text{Adhäsionskraft}}{\text{Fläche der Prüfplatte}}$$

In den später folgenden Diagrammen ist die spezifische Adhäsionskraft in Abhängigkeit von den untersuchten Einflußfaktoren aufgetragen.

Für die Versuche wurden folgende Bodenarten gewählt:

- a) Lias- α -Verwitterungsboden mit Lößbeimengung aus der Gemarkung Stuttgart-Hohenheim,
- b) Stubensandsteinverwitterungsboden aus der Gemarkung Waldenbuch.

Die Versuchsböden wurden als Feinerde abgesiebt, um eine Verfälschung der Meßergebnisse durch Steine oder größere Pflanzenreste zu verhindern.

Eine Schlämmanalyse nach KÖHN mit Natriumpyrophosphatvorbehandlung ergab die Korngrößenzusammensetzung der Feinerden in Tafel 1.

¹⁾ Die im Institut für Landtechnik der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim (Dir.: Prof. Dr.-Ing. G. SEGLER) durchgeführten Untersuchungen wurden in dankenswerter Weise vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen unterstützt

²⁾ Die angegebenen Prozentzahlen Feuchtigkeit beziehen sich dabei jeweils auf die Trockensubstanz und nicht auf die Gesamtsbstanz des Bodens

Nach der Einteilung der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft handelt es sich bei dem Lößlehm um einen tonigen Lehm und bei dem Stubensandsteinboden um einen feinsandigen Lehm.

Die bei diesen Untersuchungen verwendeten Proben wurden sowohl aus krümeligem Boden als auch aus einer Bodenpaste hergestellt. Ausgangsmaterial für beide Probenarten war lufttrockene Feinerde, die durch Wasserzugabe auf die für den entsprechenden Versuch benötigte Feuchtigkeit²⁾ gebracht wurde. Die Probe aus der Bodenpaste wurde nach der Methode von FOUNTAINE [11] hergestellt. Bei der krümeligen Probe wurde der Ring, der auf einer geschliffenen Glasplatte lag, zunächst etwa bis zur Hälfte mit Bodenpaste etwa gleicher Feuchte gefüllt. Dadurch konnten die darauf gefüllten Krümel nicht nach unten aus dem Ring fallen. Ring und Probe wurden dann auf die Druckplatte gesetzt und leicht gegen die Prüfplatte angedrückt. Jetzt erst wurde der Ring abgestreift. Dieses hatte den Vorteil, daß der lose Boden nach dem Abstreifen des Ringes nicht mehr zwischen Druck- und Prüfplatte herausfallen konnte.

Von der Belastungswaage wurden Anpreßkräfte bis zu 25 kp übertragen. Diese reichen für eine sinnvolle Abrundung der Versuche nicht aus. Um höhere Anpreßkräfte zu erreichen, wurde die Prüfplatte zwischen den Druckflächen einer Zerreißmaschine gegen die Bodenprobe gepreßt. Mit dieser Versuchstechnik konnten Anpreßkräfte bis zu 3000 kp aufgebracht werden. Bei allen Versuchen mußte streng darauf geachtet werden, daß die Trennung jeweils zwischen Prüfplatte und Bodenprobe stattfand. Nach zahlreichen Vorversuchen stellte sich heraus, daß diese Bedingung dann erfüllt wurde, wenn die Probe auf einer geschliffenen Glasplatte präpariert und dann die der Glasplatte zugekehrte Seite auf die hochglanzverchromte Druckplatte gebracht worden war.

Die Versuche wurden in einer Klimakammer durchgeführt, in der die Temperatur während der Versuchsdauer konstant gehalten werden konnte. Sie betrug 18° C. Um eine Austrocknung des bei den Versuchen verwendeten Bodens weitgehendst auszuschalten, wurde dieser bis zum Gebrauch in Plastikbeuteln luftdicht aufbewahrt. FOUNTAINE [11] hatte bei seinen Untersuchungen festgestellt, daß die Anpreßdauer einen Einfluß auf die Größe der Adhäsionskräfte hat. Deshalb wurde bei allen Versuchen eine einheitliche Anpreßzeit von einer Minute eingehalten.

Jeder Versuch wurde mit mehreren Wiederholungen (vier bis sechs) durchgeführt.

1.1. Einfluß des Anpreßdruckes

Der Einfluß des Anpreßdruckes auf die spezifische Adhäsionskraft zwischen einer hochglanzverchromten Stahlplatte und Stubensandsteinboden ist in Bild 1 dargestellt. Der Boden wurde dabei in Krümel- und Pastenstruktur verwendet. Bei den Versuchen wurde der Anpreßdruck solange gesteigert, bis der Boden zwischen Prüf- und Druckplatte ausgequetscht wurde.

Tafel 1: Korngrößenzusammensetzung von den beiden Versuchsböden

Korngröße [mm]	Stubensandsteinboden [%]	Lößlehm [%]
2,0 — 0,2	25,7	1,5
0,2 — 0,02	40,5	37,7
0,02 — 0,002	20,2	40,2
feiner als 0,002	13,6	20,6

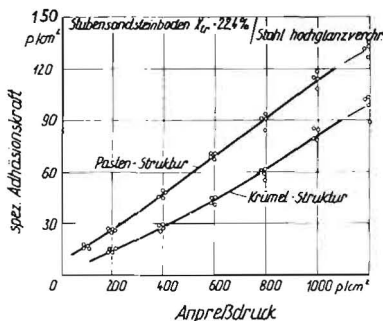


Bild 1: Spezifische Adhäsionskraft in Abhängigkeit vom Anpreßdruck

Nach Bild 1 tritt bei einem Anpreßdruck von etwa 1050 p/cm² der Fall ein, daß die Adhäsionskräfte zwischen Platte und Boden größer werden als die Kohäsionskräfte im Boden selbst. Für diesen Fall entsteht beim Abheben der Prüfplatte ein Bruch in der Bodenprobe, und Boden bleibt an der Platte haften. Für den Bereich Adhäsion > Kohäsion sind die Kurven in Bild 1 gestrichelt gezogen. Dieser Bereich bleibt für die vorliegende Arbeit uninteressant, da für die Vergleichsversuche die Adhäsionskräfte nicht gemessen werden können.

Die spezifischen Adhäsionskräfte nehmen mit dem Anpreßdruck fast proportional zu, und zwar sind sie für krümeligen Boden geringer als für Boden in Pastenstruktur.

Bei krümeligem Boden entsteht bei geringem Druck nur an wenigen Stellen Berührung zwischen den Krümeln und der Meßfläche der Prüfplatte. Mit zunehmendem Anpreßdruck wird die Berührungsfläche infolge Verformung der Krümel größer. Unter der Annahme, daß die Adhäsionskraft je Flächeneinheit tatsächlicher Berührungsfläche bei einem bestimmten Boden gleich groß ist, nimmt mit größer werdender tatsächlicher Berührungsfläche auch die spezifische Adhäsionskraft zu. Nach dieser Annahme muß auch beim Anpreßdruck Null die Adhäsionskraft Null werden, was die zahlreichen Messungen auch bestätigten.

Auch die lineare Abhängigkeit der beiden Größen wäre mit dieser Theorie zu deuten, die jedoch nur für den Bereich Adhäsion < Ko-

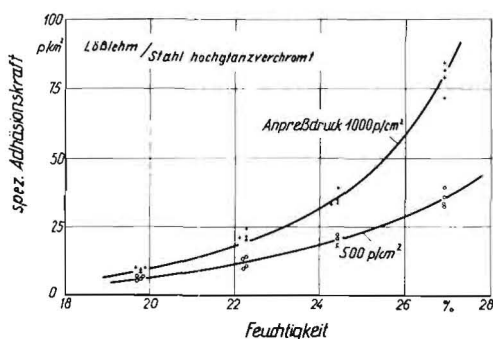


Bild 2: Spezifische Adhäsionskraft in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit

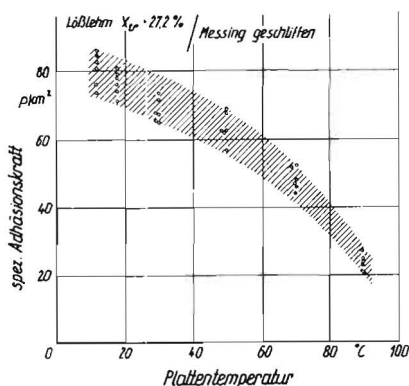


Bild 3: Spezifische Adhäsionskraft in Abhängigkeit von der Platten-temperatur (Boden in Pastenstruktur; Anpreßdruck 600 p/cm²)

häsion gilt. Die spezifischen Adhäsionskräfte müssen dann auch bei gleicher Fläche gleich sein. Für den krümeligen Boden konnte mit zwei verschiedenen großen Prüfplatten gezeigt werden, daß die spezifischen Adhäsionskräfte bei gleichem Anpreßdruck von der Größe der Prüfplatte unabhängig sind. Diese Aussage gilt nur für die verwendete Feuchtigkeit, wenn der Boden in einem plastischen Zustand ist.

Bei der Bodenpaste entsteht durch das Glattstreichen der Probe möglicherweise an der Probenoberfläche ein dünner Wasserfilm, der im Moment der Berührung zwischen Prüfplatte und Probe zu einer teilweisen Berührung der Prüfplatte und damit zur Entstehung von Adhäsionskräften zwischen Bodenprobe und Prüfplatte führen kann. Die Berührung ist schon bei extrem kleinen Anpreßdrücken denkbar, was auch durch das Verhalten der Kurven in der Umgebung des Nullpunktes bestätigt wird. Es ist wahrscheinlich, daß die tatsächliche Berührungsfläche zwischen Prüfplatte und Bodenprobe bei gleichem Anpreßdruck bei der Probe aus der Bodenpaste wegen der glatten Probenoberfläche immer größer ist als bei der krümeligen Probe. Für die Proben aus Lößlehm ergaben sich ähnliche Tendenzen.

1.2. Einfluß der Bodenfeuchte

Bild 2 zeigt für zwei verschiedene Anpreßdrücke den Einfluß der Bodenfeuchte zwischen Lößlehm in Krümelstruktur und hochglanzverchromtem Stahl. Die Bodenfeuchte ist zwischen 19,8% und 27,0% variiert worden. Bei geringeren Werten scheinen die Gesetzmäßigkeiten für plastische Böden keine Gültigkeit mehr zu haben. Die spezifischen Adhäsionskräfte nehmen im untersuchten Bereich überproportional mit der Feuchte zu (das gleiche gilt auch für den untersuchten Staubensandsteinboden und für verschiedene Anpreßdrücke). Die Ursache dürfte darin begründet sein, daß mit zunehmender Bodenfeuchte die Verformbarkeit größer wird.

Bei gleichem Anpreßdruck wird damit die tatsächliche Berührungsfläche um so größer, je feuchter der Boden ist. Die poröse Berührung bedeutet wiederum höhere spezifische Adhäsionskräfte. Darüber hinaus werden mit zunehmender Bodenfeuchte zwischen Bodenteilchen und Prüfplatte mehr Wassermensiken ausgebildet, wodurch ebenfalls die spezifischen Adhäsionskräfte zunehmen.

Zwar stehen diese Ergebnisse im Widerspruch mit den Messungen von HABERLANDT [6]. Die Versuchstechnik ist zu ungenau beschrieben, um die Ergebnisse HABERLANDTs einer Kritik zu unterziehen. Vermutlich hat HABERLANDT im Bereich hoher Bodenfeuchten die Kohäsionskräfte und nicht die Adhäsionskräfte mit seinem Instrument gemessen.

1.3. Einfluß der Prüfplattentemperatur

Diese Versuchsreihe wurde mit einer geschliffenen Messing-Prüfplatte durchgeführt, in die ein elektrisches Heizelement eingebaut war. Die Prüfplatte wurde vor dem Versuch auf die Versuchstemperatur aufgeheizt, die dann während des Versuchs durch dauerndes Nachheizen beibehalten wurde. Die Temperatur konnte zwischen 10° und 90° C eingestellt werden. Über 90° C trocknete der Boden teilweise an der Platte an, so daß dadurch die Meßwerte verfälscht wurden.

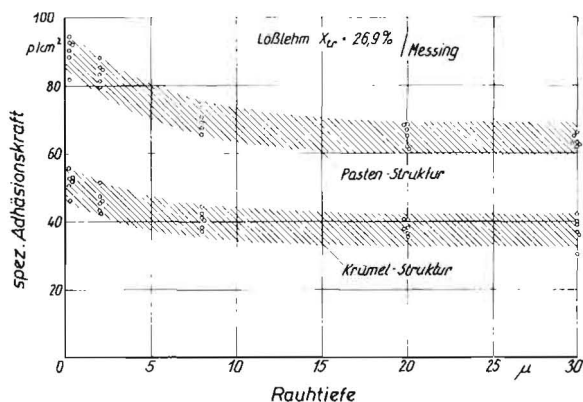


Bild 4: Spezifische Adhäsionskraft in Abhängigkeit von der Plattenrauh-tiefe (Anpreßdruck 600 p/cm²)

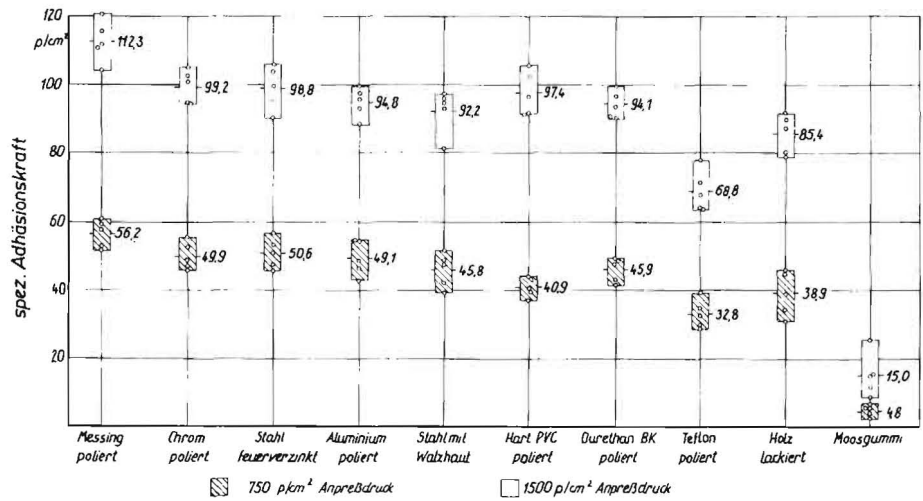


Bild 5: Spezifische Adhäsionskraft von Stubensandsteinboden bei verschiedenen Werkstoffen
(Feuchtigkeit 22,1%; Krümelstruktur)

Im Bild 3 sind die spezifischen Adhäsionskräfte für Lößlehm in Pastenstruktur in Abhängigkeit von der Plattentemperatur für gleichen Anpreßdruck aufgetragen. Mit zunehmender Temperatur nimmt die spezifische Adhäsionskraft ab. Der Boden wird an der Grenzfläche der Boden-Prüfplatte trockener, und mit abnehmender Feuchte nehmen die spezifischen Adhäsionskräfte ab. Bei der Krümelstruktur ist die Abnahme nicht so stark.

1.4. Einfluß der Oberflächenrauigkeit

Bei der Untersuchung des Rauigkeitseinflusses wurde je eine Versuchsreihe mit Prüfplatten aus V2A-Stahl und Messing durchgeführt. Die Oberflächenprofile wurden mit dem LEITZ-FORSTER-Gerät aufgenommen. Als Maß für die Rauigkeit wurde die Rauhtiefe gewählt. Eine Prüfplatte war poliert (Rauhtiefe etwa Null), die vier anderen auf verschiedene Arten geschliffen. Bild 4 zeigt den Einfluß der Rauhtiefe auf die spezifische Adhäsionskraft bei gleichem Anpreßdruck für Pasten- und Krümelstruktur. Bei allen Versuchen war unverkennbar, daß mit abnehmender Rauhtiefe die spezifischen Adhäsionskräfte zunehmen. Sie sind für die polierte Platte am größten. Bei der polierten Fläche wird eine besonders innige Berührung zwischen Prüfplatte und Bodenprobe gewährleistet. Je rauer die Oberfläche ist, desto mehr winzige Luftbläschen werden an der Grenzfläche vorhanden sein. Diese wirken beim Anpressen als Luftkissen. Dadurch wird die tatsächliche Berührungsfläche zwischen Boden und Prüfplatte mit zunehmender Rauigkeit kleiner, und die spezifischen Adhäsionskräfte nehmen ebenfalls ab. Ab einer Rauhtiefe von 20 µ bleiben nach den Messungen die spezifischen Adhäsionskräfte konstant.

1.5. Einfluß des Werkstoffs

Aufgabe dieser Versuchsreihe war es, anhand einiger Werkstoffe zu klären, inwieweit eine geeignete Auswahl von Werkstoffen die Adhäsionsneigung vermindern kann. Die Prüfflächen der einzelnen Werkstoffe waren poliert mit Ausnahme der drei Prüfplatten Stahl mit Walzhaut, Stahl feuerverzinkt und Moosgummi, bei denen eine polierte Oberfläche naturgemäß nicht möglich ist.

In Bild 5 sind die spezifischen Adhäsionskräfte von Stubensandsteinboden in Krümelstruktur gegen verschiedene Werkstoffe bei zwei Anpreßdrücken aufgetragen. Bei den Metallen wurde für

Tafel 2: Verhältniszahlen zwischen den Meßflächen und den spezifischen Adhäsionskräften verschiedener Prüfplattenformen und einer ebenen Prüfplatte

Prüfplattenform	F_F/F_e	A_F/A_e	
		p = 400 p/cm²	p = 800 p/cm²
Kugelkalotte	1,034	1,22	1,18
konvex kegelige Platte . . .	1,014	1,16	1,11
ebene Platte	1,000	1,00	1,00
konkav kegelige Platte . . .	1,014	0,94	0,94

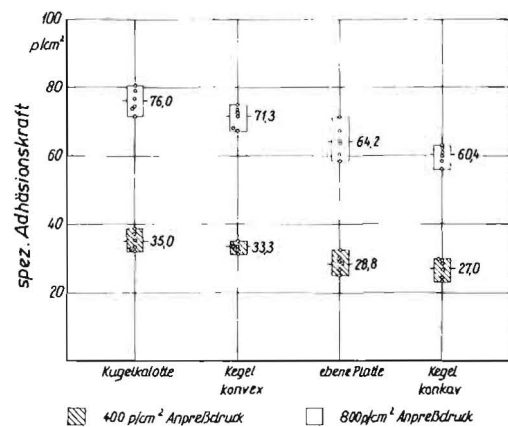


Bild 6: Spezifische Adhäsionskraft von Stubensandsteinboden bei verschiedenen Prüfplattenformen
(Feuchtigkeit 22,9%; Krümelstruktur)
(hochglanzverchromter Stahl)

Messing die höchste und für Stahl mit Walzhaut die niedrigste Adhäsionsneigung festgestellt. Allerdings muß beachtet werden, daß es sich bei der Walzhaut nicht um eine Metallschicht, sondern um mehr oder weniger stark verunreinigte Oxyde handelt. Gegenüber den Metallen und anderen Kunststoffen zeigt der Kunststoff Teflon (Polytetrafluoräthylen) die kleinsten Adhäsionskräfte.

Die mit einem Nitrolack gestrichene Holzplatte zeigt ähnliche Werte. Eine Sonderstellung nimmt der verwendete Moosgummi ein, der eine sehr elastische Schaumgummiart darstellt. Die geringe Adhäsionsneigung dürfte in seinen elastischen Eigenschaften begründet sein. Der Moosgummi paßt sich beim Anpressen den Unebenheiten der krümeligen Bodenprobe an. Nach Entlastung bilden sich die verschieden stark ausgebildeten Verformungen zurück, und dabei reißen die meisten Adhäsionsbrücken zwischen Boden und Gummi. Für die verschiedenen Böden zeigten sich bei den verschiedenen untersuchten Bedingungen die gleichen Tendenzen, wie sie in Bild 5 dargestellt sind.

1.6. Einfluß der Prüfplattenform

Der Einfluß der Prüfplattenform auf die spezifische Adhäsionskraft zwischen hochglanzverchromtem Stahl und Stubensandsteinboden in Krümelstruktur ist in Bild 6 für zwei verschiedene Anpreßdrücke aufgetragen. Die vier untersuchten Prüfplattenformen sind bereits [5] beschrieben. Alle vier Prüfplatten haben einen Durchmesser von 50,4 mm. Die spezifischen Adhäsionskräfte zwischen Boden und Prüfplatte nehmen in der Reihenfolge der aufgezählten Prüfplattenformen Kugelkalotte, konvex kegelige Platte, ebene Platte und konkav kegelige Platte ab.

In Tafel 2 sind die Verhältniszahlen F_F/F_e beziehungsweise A_F/A_e zwischen Meßfläche F_F beziehungsweise spezifische Adhäsionskraft A_F der einzelnen Prüfplattenformen und der Meßfläche F_e beziehungsweise spezifische Adhäsionskraft A_e der ebenen Platte dargestellt. Der Einfluß der Prüfplattenform kann nicht auf die

verschiedene Größe der Meßflächen der einzelnen Prüfplattenformen zurückzuführen sein; denn der Quotient A_p/A_r ist bei der Kugelkalotte und der konvex kegelförmigen Platte wesentlich größer als der Quotient F_p/F_r . Bei der konkav kegelförmigen Platte ist der Quotient A_p/A_r sogar kleiner als der Quotient F_p/F_r .

Zwischen der Kugelkalotte beziehungsweise der konvex kegelförmigen Platte und Boden entsteht zuerst in der Mitte der Meßfläche eine Berührung. Die konvexe Wölbung der Meßfläche dieser beiden Prüfplatten wirkt auf die Bodenprobe zerteilend. Dabei entsteht zwischen Meßfläche und Boden nicht nur Adhäsion, sondern auch Reibung.

Der Reibungsvorgang bewirkt eine Glättung des Bodens, und die tatsächliche Berührungsfläche zwischen Boden und diesen beiden Prüfplatten ist größer als zwischen Boden und der ebenen Platte. Je größer die tatsächliche Berührungsfläche ist, desto größer sind die spezifischen Adhäsionskräfte. Zwischen konkav kegelförmiger Platte und Boden entsteht zuerst am Rand der Meßfläche Berührung. Es ist möglich, daß durch die konkave Wölbung der Meßfläche trotz der Bohrung Luft zwischen Prüfplatte und Boden

eingeschlossen wird. Diese Luft wirkt als Luftkissen, so daß die tatsächliche Berührungsfläche kleiner als bei der ebenen Platte ist. Entsprechend ist die spezifische Adhäsionskraft zwischen konkav kegelförmiger Platte und Boden kleiner als zwischen ebener Platte und Boden.

2. Adhäsionsuntersuchungen an Druckrollen in der Bodenrinne

Die Laborversuche sollten durch Vergleichsmessungen in einer Bodenrinne an Druckrollen erweitert werden, wie sie beispielsweise bei Drillmaschinen Verwendung finden. Beim Abrollen bleibt an den Laufflächen der Druckrollen oft Boden haften. Dieses Verkleben ist eine echte Adhäsionserscheinung. Die Versuchsanlage bestand aus einer Bodenrinne von 18,0 m Länge, 0,7 m Breite und 0,5 m Tiefe, die mit dem bei den Laborversuchen verwendeten Lias- α -Verwitterungsboden gefüllt war. Die Geschwindigkeit des Meßwagens, der von einer Seilwinde hin und her bewegt wurde, konnte zwischen 0,35 und 1,58 m/s stufenlos eingestellt werden. Die Druckrollen waren so am Versuchswagen angebracht, daß sie sich den Bodenunebenheiten anpassen konnten. Die Belastung der Rollen konnte verschieden groß gewählt werden. Bei jeder Fahrt konnten mehrere Druckrollen nebeneinander laufen.

Die Länge der gesamten Meßstrecke betrug 12,0 m, die in sechs Teilstrecken von $s = 2,0$ m Länge aufgeteilt war. Beim Abrollen wurde Boden aus der Fahrspur herausgerissen, der an der Rolle haftete. Dadurch entstanden Fehlstellen in der Spur. Die Breite der Fehlstellen war in den meisten Fällen etwa gleich der Rollenbreite. Als Maß für die Adhäsionsneigung zwischen Druckrolle und Boden wurde eine Adhäsionszahl definiert, die sich durch die Division der Gesamtlänge l der Fehlstellen je Teilstrecke und der Teilstreckenlänge s ergibt. Zur Beurteilung des Adhäsionsverhaltens wurde diese Adhäsionszahl jeweils für verschiedene Einflußfaktoren in Abhängigkeit vom Rollweg aufgetragen. Einzelheiten der Versuchseinrichtungen sind in [3] dargestellt.

2.1. Ergebnisse der Untersuchungen in der Bodenrinne

Bild 7 zeigt den Einfluß des Auflagegewichtes für eine Druckrolle, auf die ein 2 mm starker Gummi (60³) aufgeklebt war. Das Auflagegewicht, das die Rollen auf die Bodenoberfläche drückt, ergibt sich aus dem Gewicht der Rolle, der Aufhängung und der zusätzlichen Belastung.

Bei gleichem Rollweg wird die Adhäsionszahl mit zunehmendem Auflagegewicht größer. Eine Vergrößerung des Auflagegewichtes bedeutet eine Vergrößerung des Anpreßdruckes und nach den Laborversuchen auch eine Vergrößerung der Adhäsionskraft. Nach Abrollen von etwa 10 m nähert sich das Kurvenband asymptotisch einem Grenzwert.

Bild 8 zeigt den Einfluß der Rollgeschwindigkeit einer Druckrolle aus Gußeisen mit geschlichteter Lauffläche. Bei gleichem Rollweg nimmt die Adhäsionszahl mit der Rollgeschwindigkeit zu. Wahrscheinlich ist das stärkere Verkleben auf den unruhigen Lauf bei höherer Geschwindigkeit zurückzuführen. Infolge des Springens bei Bodenunebenheiten treten örtlich höhere Anpreßdrücke auf.

³) Die Zahl 60 gibt die Härte nach SHORE an

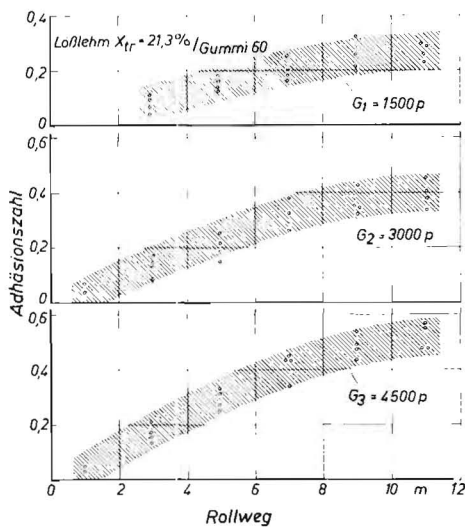


Bild 7: Adhäsionszahl in Abhängigkeit vom Rollweg bei verschiedenen Auflagegewichten (Lößlehm in Krümelstruktur; Rollgeschwindigkeit 0,35 m/s; Rollendurchmesser 200 mm)

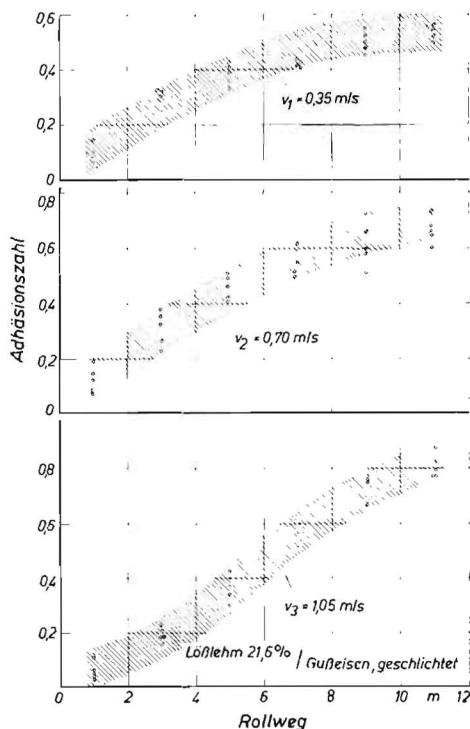


Bild 8: Adhäsionszahl in Abhängigkeit vom Rollweg bei verschiedener Rollgeschwindigkeit (Lößlehm in Krümelstruktur; Auflagegewicht 5600 p; Rollendurchmesser 200 mm)

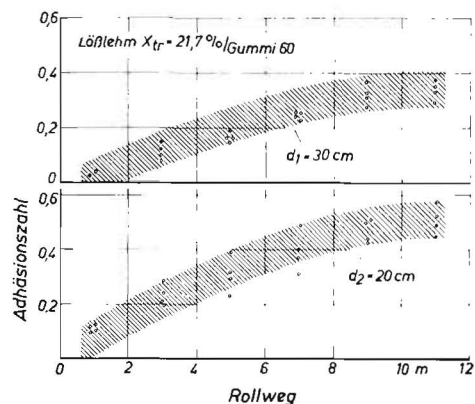


Bild 9: Adhäsionszahl in Abhängigkeit vom Rollweg bei verschiedenen Rollendurchmessern (Lößlehm in Krümelstruktur; Rollgeschwindigkeit 0,35 m/s; Auflagegewicht 5500 p)

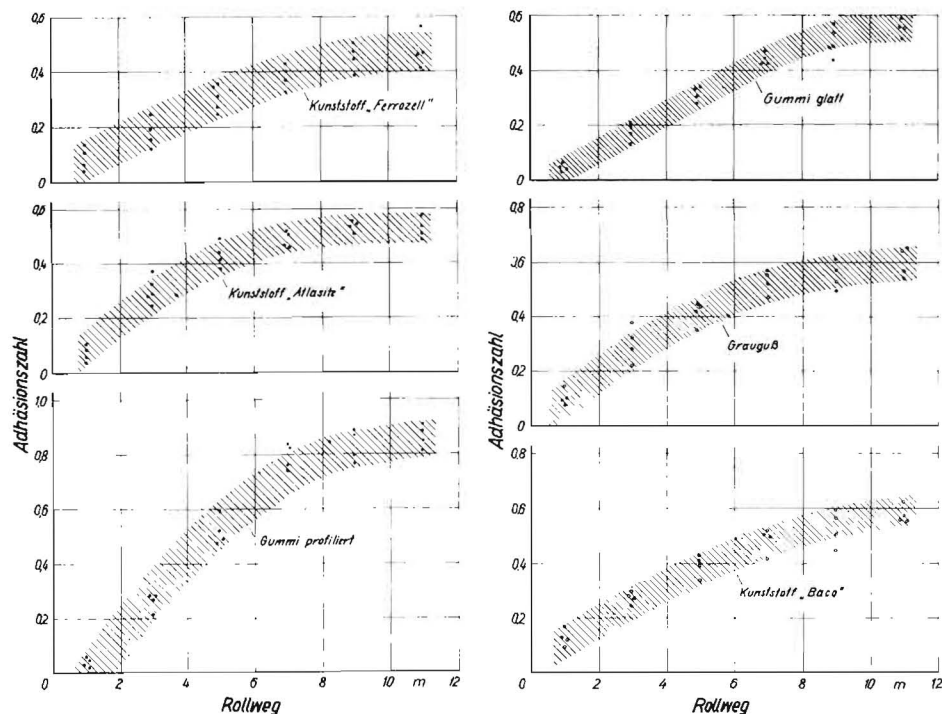


Bild 10: Adhäsionszahl in Abhängigkeit vom Rollweg bei verschiedenen Werkstoffen

(Lößlehm in Krümelstruktur; Feuchtigkeit 21,0%; Rollgeschwindigkeit 0,35 m/s; Auflagegewicht 5000 p; Rollendurchmesser 200 mm)

In Bild 9 ist der Einfluß des Rollendurchmessers für zwei Rollen mit $d_1 = 30$ cm und $d_2 = 20$ cm Durchmesser aufgetragen. Auf beiden Rollen war wiederum ein 2 mm starker Gummi 60 aufgeklebt. Die Adhäsionszahl ist bei der größeren Rolle geringer. Die Aufstandsfläche der Rolle nimmt mit größer werdendem Rollendurchmesser zu. Entsprechend nimmt der Anpreßdruck bei gleichem Auflagegewicht ab, so daß die Adhäsionsneigung geringer ist.

In Bild 10 sind die Adhäsionszahlen für sechs verschiedene Werkstoffe dargestellt. Die Unterschiede im Adhäsionsverhalten sind verhältnismäßig gering, wie auch die Laborversuche gezeigt haben. Der profilierte Gummi (SHOREHärte 65) zeigt eine größere Adhäsionsneigung als glatter Gummi (SHOREHärte 65), was auf die Profilierung der Lauffläche zurückzuführen sein dürfte. In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Einfluß der Gummielastizität untersucht. Die Druckrollen wurden beklebt mit einer 2 cm und 5 cm starken Schicht von Gummi 60, Gummi 40 und Moosgummi, dessen SHOREHärte nicht definiert ist. Dabei zeigte sich, daß bei Gummi 40 und Moosgummi im Gegensatz zu Gummi 60 überhaupt keine Adhäsion auftritt.

Die geringe Adhäsionsneigung von Gummi 40 und Moosgummi ist auf deren große Elastizität zurückzuführen. In jüngster Zeit finden Druckrollen aus elastischem Gummi zur Verminderung der Adhäsionserscheinungen in der Praxis bereits Verwendung.

3. Konstruktive Maßnahmen zur Verringerung der Adhäsionsneigung

Bei der Konstruktion von adhäsionsgefährdeten Bauteilen sollten folgende Punkte beachtet werden:

3.1. Schaffung von strömungsbegünstigten Formen

Bei der Bewegung von Körpern im Boden gelten ähnliche Gesetze wie für die Luft- und Wasserströmung [14]. Beispielsweise bei Bodenbearbeitungsgeräten sollte der Normaldruck überall so groß sein, daß durch die Relativbewegung des Bodens eine Selbstreinigung des Bauteils erreicht wird. Bei allen mit Boden und anderen haftfähigen Stoffen in Berührung kommenden Bauteilen sind unnötige Ecken und Winkel zu vermeiden und nach Möglichkeit nur glatte und runde Formen zu verwenden.

3.2. Vermeidung von Formen mit Neigung zur Brückenbildung

Dabei soll unter Brückenbildung die Adhäsion zwischen zwei Flächen verstanden werden. Die Adhäsionsneigung wird noch vergrößert, wenn die Adhäsionskräfte gleichzeitig an zwei benachbarten Flächen wirken können.

3.3. Vermeidung hoher Anpreßdrücke

Diese wünschenswerte Forderung ist allerdings technisch oft schwierig zu verwirklichen, wie beispielsweise der Anpreßdruck bei Ackerschlepperreifen nicht beliebig verändert werden kann.

3.4. Verwendung von Werkstoffen mit geringer Adhäsion

Die Verwendung geeigneter Werkstoffe gibt dem Konstrukteur eine Möglichkeit, die Adhäsionsgefährdung von Bauteilen herabzusetzen oder mit dem Werkstoff Moosgummi sogar zu verhindern. Mehrere konstruktive Beispiele aus der Praxis zur Herabsetzung der Adhäsionsneigung sind in [3] gezeigt.

Zusammenfassung

In den Untersuchungen sollten die verschiedenen Einflußfaktoren auf die Adhäsion zwischen Boden und festen Werkstoffen geklärt werden. Mit einer dafür entwickelten Adhäsionswaage wurden Messungen über den Einfluß der Bodenart, der Bodenstruktur, der Bodenfeuchtigkeit, des Anpreßdruckes, der Temperatur, des Werkstoffes, der Rauigkeit und der Werkstoffform auf die Adhäsion gemacht. Hierbei zeigte sich, daß die spezifischen Adhäsionskräfte (Adhäsionskräfte auf die Flächeneinheit bezogen) direkt von der tatsächlichen Berührungsfläche abhängig sind.

Vergleichsversuche mit Druckrollen in einer Bodenrinne bestätigten die Laborversuche. Das Verkleben von Druckrollen mit Boden hängt von dem Anpreßdruck, der Rollgeschwindigkeit, dem Rollendurchmesser und dem Werkstoff ab.

Zum Schluß werden einige Maßnahmen aufgezeigt, mit denen eine Herabsetzung der Verklebungsneigung erreicht werden kann. Sie sollen den Konstrukteur veranlassen, dem Adhäsionsproblem mehr Beachtung zu schenken.

Schrifttum

- [1] HAINES, W. B.: A Note on the Cohesion Developed by Capillary Forces in an Ideal Soil. *J. Agr. Sci.* 15 (1925), S. 529—535
- [2] BACHTIN, P. U. und A. P. WADJUNINA: Die physikalisch-mechanischen Bodeneigenschaften als bestimmender Faktor für die Arbeit landwirtschaftlicher Maschinen. Berlin 1960
- [3] RIEK, H. G.: Untersuchungen über die Adhäsion zwischen Boden und festen Werkstoffen. Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim Band 18. Stuttgart 1963
- [4] SEGLER, G. und F. WIENEKE: Dreschverluste und Leistungsbedarf des Mähdreschers beim Verarbeiten von Getreide mit Grüngutbesatz. *Landtechnische Forschung* 11 (1961), S. 141—144
- [5] SEGLER, G. und H. G. RIEK: Entwicklung eines Gerätes zum Messen der Bodenadhäsion. *Landtechnische Forschung* 14 (1964), S. 150—152
- [6] HABERLANDT, F.: Der allgemeine landwirtschaftliche Pflanzenbau. Wien 1879
- [7] SCHACHBASIAN, I.: Untersuchungen über die Adhäsion und die Reibung der Bodenarten an Holz und Eisen. In: *Forsch.-Gebiete der Agr.-Phys.* Band 13. Heidelberg 1890, S. 193—225
- [8] NICHOLS, M. L.: The Dynamic Properties of Soil; Soil and Metal Friction. *Agr. Eng.* 12 (1931), S. 321—324
- [9] FOUNTAINE, E. R.: *Nat. Inst. Agric. Engng. Techn. Memorandum* No. 96, 1953

- [10] SÖHNKE, W.: Reibung und Kohäsion bei Ackerböden. In: Grundlagen der Landtechnik Heft 5, Düsseldorf 1953, S. 64—80
 [11] FOUNTAINE, E. R.: Investigations in the Mechanism of Soil Adhesion. J. Soil Science 5 (1954), S. 251—263
 [12] BAVER, L. D.: Soil Physics. New York and London 1956
 [13] BATTEL, W.: Über die Haftfähigkeit trockener feinkörniger Stoffe. Chemie-Ing.-Techn. 31 (1959), S. 343—345
 [14] FLEHR, F.: Möglichkeiten einer strömungsbegünstigten Gestaltung landwirtschaftlicher Geräte und Werkzeuge. Landtechnische Forschung 3 (1953), S. 53—56

Résumé

Hans Georg Riek and Wolfgang Vornkahl: "Experimental Examinations on the Adhesion between Soil and Solid Materials."

The examinations were to explain the various factors of influence on the adhesion between soil and solid materials. By means of a specially developed adhesion balance measurements on the effect of the kind of soil, soil structure, soil moisture, bearing pressure, temperature, material, roughness and form of material on the adhesion were made. It was shown that the specific adhesive power (adhesive power related to the unit of area) depends directly on the actual area of contact.

Comparative experiments with pressure rolls in a soil furrow confirm these laboratory trials. The gluing of the soil to the pressure rolls depends on the bearing pressure, roll speed, roll diameter and material.

In conclusion some measures are described by which the tendency to gluing can be reduced. They shall cause the designer to pay more attention to the adhesion problem.

Hans Georg Riek et Wolfgang Vornkahl: «Recherches expérimentales sur l'adhérence entre le sol et les matériaux de construction.»

Ces recherches ont eu pour but d'éclaircir les différents facteurs d'influence sur l'adhérence entre le sol et les matériaux de construction.

A l'aide d'une balance d'adhérence étudiée à cet effet, on a entrepris des mesures afin de connaître l'influence sur l'adhérence, du type, de la structure et de l'humidité du sol, de la pression d'appui, de la température, du matériau, de la rugosité de la surface et de la forme du matériau. Ces mesures ont montré que les forces d'adhérence spécifiques (forces d'adhérence rapportées à l'unité de surface) dépendent directement de la surface de contact effective.

Des essais comparatifs au moyen de rouleaux de pression déplacés dans une rigole de terre ont confirmé les résultats des essais de laboratoire. Le degré d'encrassement par la terre des rouleaux de pression dépend de la pression d'appui, de la vitesse de roulement, du diamètre des rouleaux et du matériau.

Enfin les auteurs mentionnent quelques mesures qui permettent d'abaisser la tendance à l'encrassement. Elles doivent attirer l'attention du constructeur sur le problème de l'adhérence.

Hans Georg Riek y Wolfgang Vornkahl: «Investigaciones experimentales de la adhesión entre el terreno y los materiales sólidos.»

Con estas investigaciones se trataba de aclarar los factores que ejercen influencia sobre la adhesión entre el terreno y los materiales de construcción sólidos. Con una balanza construida especialmente para este fin, se midió la influencia que ejercen la clase de terreno, su estructura y humedad, su aspereza y su forma sobre la adhesión, encontrándose que las fuerzas de adhesión específicas (fuerza de adhesión referida a la unidad de superficie) depende directamente de la superficie de contacto efectiva.

Ensayos comparativos efectuados con rodillos de presión en una zanja confirmaron los resultados conseguidos en el laboratorio. La adhesión de la tierra a los rodillos depende de la presión, de la velocidad de marcha, del diámetro de los rodillos y de su material.

Para terminar se indican algunas medidas que sirven para reducir la tendencia de adhesión, para que el constructor preste más atención a este problema.

RUNDSCHAU

Einrichtungen zur Bereitung von Gülle

Im vorliegenden Aufsatz sollen anhand von Patentliteratur Schwemmenmischungsanlagen und damit verbundene Einrichtungen zur Bereitung von Gülle, insbesondere zur Zerstörung von Schwimmdecken, die sich in den Lagerstätten für Gülle bilden, erläutert werden. Damit soll jedoch keine Empfehlung für die Schwemmenmischungsanlage und gegen anders geartete Lagerung und Verteilung des Mistes gegeben werden.

Eine solche Zusammenstellung kann nur einige Beispiele bringen, um den Konstrukteuren solcher Anlagen die Probleme zu zeigen. Auf einen Vergleich mit anderen Entmischungsanlagen muß aus Gründen der Übersicht verzichtet werden.

1. Aufbau einer Schwemmenmischungsanlage

Aufbau und Wirkungsweise einer Schwemmenmischungsanlage lassen sich der österreichischen Patentschrift 216 815 entnehmen (Bild 1). Danach steht das Vieh (1) auf einem Kurzstand (2), an den sich ein Gitterrost (3) anschließt. Dieser Gitterrost (3) deckt die Schwemmrinne (4) ab. Über einen Hauptschieber (5) geht das Dungwassergemisch in eine Dungmischgrube (6) und von dort gegebenenfalls in einen Vorratsbehälter (7). In der Dungmischgrube (6) befindet sich ein Rühr- und Schneidwerk (8) und im Vorratsbehälter sind Rührflügel (9) angebracht. In die Schwemmrinne kann noch die Abflußleitung (10) der Hausabwässer münden. Für das Rühr- und Schneidwerk ist ein Motor (13) vorgesehen und für eine etwaige Verregnung ein Pumpenmotor (14), der durch das Saugrohr (15) aus dem Vorratsbehälter (7) ein Dungwassergemisch ansaugt und es dann durch die zur Beregnungsanlage führende Leitung (16) nach außen drückt. Es kann aber auch durch entsprechende Umstellung an den Schiebern (17), (18) und (19) durch das Saugrohr (20) aus der Dungmischgrube (6) gesaugt werden. Weiter ist es durch Öffnen eines Schiebers (21) möglich, die Gülle aus dem Vorratsbehälter (7) abzusaugen, in Pfeilrichtung (22) nach der Dungmischgrube (6) zu fördern, um sie von dort dann

wieder in Pfeilrichtung (23) nach dem Vorratsbehälter zu bringen. Man kann dadurch eine Zerkleinerung der im Vorratsbehälter vorhandenen Dungmengen erreichen. Es ist auch möglich, aus der Dungmischgrube (6) durch Entnahme von dem in der Höhe des Flüssigkeitsspiegels einstellbaren Saugrohr (20) nach der Schwemmrinne (4) zu fördern, damit eine größere Dungwasserkonzentration stattfindet. Die Schwemmrinne wird dann nicht mit klarem Wasser oder mit Abwässern des Hauses gefüllt, sondern an wählbarer Stelle der Dungmischgrube (6) wird ein dort vorhandenes Dungwassergemisch aufgenommen, um es wieder in die Schwemmrinne zurückzuführen, damit eine entsprechende Erhöhung des Festdunganteiles stattfindet.

Die Wirkungsweise ist im übrigen folgende: Der Hauptschieber (5) wird geschlossen, und durch die Abflußleitung der Hausabwässer wird nach Öffnen eines dortigen Schiebers die Schwemmrinne so weit gefüllt, daß auch die höchst gelegene Stelle der Schwemmrinne, die mit etwa 1,5 bis 2% Gefälle verlegt ist, mit Flüssigkeit bedeckt ist. Das Füllen der Schwemmrinne kann aber auch, wie schon vorher erwähnt, von der Dungmischgrube über Umstellventile erfolgen. Bei genügender Füllung der Schwemmrinne wird der Handsperrschieber geöffnet. Das Dungwassergemisch gelangt dann in die konische Dungmischgrube (6) und wird dort von dem Rühr- und Schneidwerk (8) zerkleinert und durch das Saugrohr (20) bei geöffneten Schiebern (17) und (19) in Pfeilrichtung (23) in den Vorratsbehälter (7) eingebracht. Der Schieber (21) ist dabei geschlossen. Die Entnahme kann aus dem Vorratsbehälter durch das Saugrohr (15) nach Öffnen der Schieber (19) und (18) erfolgen, wenn die Gülle in die Leitung (16) gedrückt werden soll. Es kann aber auch, wie erwähnt, ein Anschluß an das Saugrohr (20) vorgesehen werden, um unmittelbar aus der Dungmischgrube in Güllgefäße abführen zu können. Die Rührflügel (9) verhindern, daß sich eine Mistdecke bildet. Im übrigen kann ja noch während des Rührens bei geöffneten Schiebern (21), (17) und (19) im Kreislauf in Pfeilrichtung (22) und (23) gefördert werden.