

## Entwicklung eines Gerätes zum Messen der Bodenadhäsion

Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim

Die Adhäsion von Boden oder pflanzlichen Fasern an Maschinenteilen ist eine weit verbreitete Erscheinung, die nicht selten das Betriebsverhalten von Maschinen nachteilig beeinflusst. Sie macht sich bei zahlreichen Maschinen bemerkbar, beispielsweise bei Bodenbearbeitungswerkzeugen, Rädern von Landmaschinen und Schleppern, an Dreschwerkzeugen, Wurzel-Erntemaschinen und Fördergeräten [1]. Es ist allgemein bekannt, daß die Adhäsionserscheinung durch die Eigenschaften der beteiligten Stoffe wie Bodenart, Bodenzustand und Oberflächenbeschaffenheit des festen Werkstoffes sowie die Größe der Anpreßkraft beeinflusst wird. Obwohl dieses Gebiet für den Maschinenkonstrukteur von erheblicher Bedeutung ist, kennt man die Größenordnung der einzelnen Einflußfaktoren kaum. Diese Tatsache ist teilweise auf die meßtechnischen Schwierigkeiten bei der Erforschung der Adhäsion zurückzuführen. Ein Beitrag hierzu wurde durch Entwicklung eines neuen Meßgerätes im Rahmen einer Untersuchung der Adhäsion zwischen Boden und festen Werkstoffen geleistet<sup>1)</sup>.

Unter Adhäsion verstehen wir bekanntlich das gegenseitige Haften zwischen Körpern verschiedener stofflicher Zusammensetzung. Haften Körperhaufwerke gleicher stofflicher Zusammensetzung aneinander, dann wird von Kohäsion gesprochen. Als Kohärenz wird in der Landwirtschaft das gegenseitige Haften von Bodenteilchen bezeichnet. Dabei handelt es sich weder um reine Kohäsion noch um reine Adhäsion, da an dieser Erscheinung sowohl Körper gleicher als auch verschiedener stofflicher Zusammen-

setzung wie beispielsweise Mineral- oder Pflanzenstoffe beteiligt sein können. Eine Folge der Kohärenz ist die Bildung von Bodenkrümeln. Die Adhäsion und Kohäsion treten oftmals zusammen auf, wenn beispielsweise ein Wassertropfen an einer festen Oberfläche haftet. An der Grenzfläche wirken zwischen den verschiedenen Molekülen Adhäsionskräfte, während im Wassertropfen die Wassermoleküle durch Kohäsionskräfte zusammengehalten werden.

Die Adhäsion zwischen Boden und einem festen Körper beispielsweise aus Stahl, Kunststoff oder Holz kann in verschiedener Weise sich bemerkbar machen. Das ist besonders dann zu beachten, wenn es gilt, die Adhäsion durch Überwinden der Adhäsionskraft aufzuheben. Dabei kann die Adhäsionskraft in verschiedener Richtung zur Berührungsfläche wirksam werden, in Normalrichtung, in tangentialer Richtung translatorisch oder drehend. Im letzteren Fall ist ein Kraftmoment zu überwinden.

Bei der Adhäsion ist im allgemeinen eine Anpreßkraft vorausgegangen. Die Größe des vorher ausgeübten Druckes beeinflusst die zum Trennen erforderliche Adhäsionskraft. Die tangential Adhäsion hat gewisse Ähnlichkeit mit der Ruhereibung. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß die tangential Adhäsion im Gegensatz zur Ruhereibung von der Normalkraft unabhängig ist. Für die Ruhereibung und die zu ihrer Überwindung erforderliche Reibungskraft  $P_R$  gilt bekanntlich:

$$P_R = \mu_R \cdot P_N$$

Darin bedeuten  $P_N$  die wirkende Normalkraft und  $\mu_R$  die Reibungszahl (nach DIN 50281). Die für die Adhäsion gültigen Beziehungen werden weiter unten behandelt.

Das im Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim, entwickelte Adhäsionsmeßgerät ist zum Messen der Adhäsionskraft zwischen Boden und einem festen Werkstoff vorgesehen. Es soll dazu dienen, den Einfluß der Bodenart und des Bodenzustandes, sowie die Art und Oberflächenbeschaffenheit des festen Werkstoffes und seinen Einfluß auf die Größe der Adhäsionskraft zu messen.

Für die Ausbildung des Meßgerätes war maßgebend, daß sowohl die Bodenproben als auch die Proben des festen Werkstoffes sich auswechseln lassen. Ferner sollte die Möglichkeit bestehen, mit Werkstoffplatten verschiedener Größe, Form und Oberflächenbeschaffenheit bei verschiedenen Temperaturen zu arbeiten. Die Temperaturen sollten in einem bestimmten Bereich einstellbar sein, um die Versuchsbedingungen auch von dieser Seite her zu beeinflussen.

Aus den oben genannten Gründen wurde zum Messen das Prinzip zugrunde gelegt, eine Platte gegen den Boden zu pressen und anschließend wieder abzuheben. Die gemessene Kraft, die erforderlich ist, um die Platte vom Boden zu lösen, ist die Adhäsionskraft. Zunächst handelt es sich um die Adhäsionskraft in Normalrichtung. In gleicher Weise sollte auch die tangential Adhäsionskraft gemessen werden können. Durch Umrechnen der Adhäsionskraft auf die Flächeneinheit der Plattengröße ergibt sich die spezifische Adhäsionskraft:

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

Zwischen spezifischer Adhäsionskraft  $A$  und Anpreßdruck  $P$  läßt sich dann die allgemeine Beziehung aufstellen:

$$A = \nu \cdot P^n \text{ [kp/cm}^2\text{]}$$

Darin bedeuten  $\nu$  einen Proportionalitätsfaktor und  $n$  einen Exponenten. Die Abhängigkeit dieser Größen untereinander und der

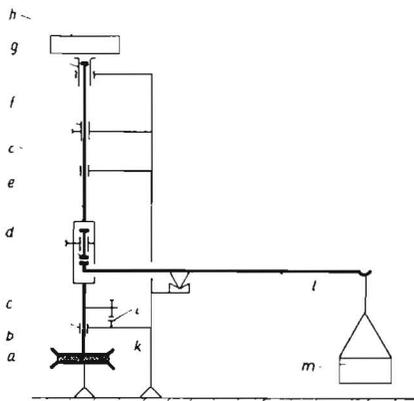


Bild 1: Aufbau des Adhäsionsmeßgerätes von Fountaine [4]

- |                                     |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| (a) Druckplatte                     | (g) Stellmutter |
| (b) Prüfplatte                      | (h) Gewichte    |
| (c) Kugellager                      | (i) Anschlag    |
| (d) verstellbare Schneide der Waage | (k) Bodenprobe  |
| (e) Druckstempel                    | (l) Waagebalken |
| (f) Klemme                          | (m) Wassergefäß |

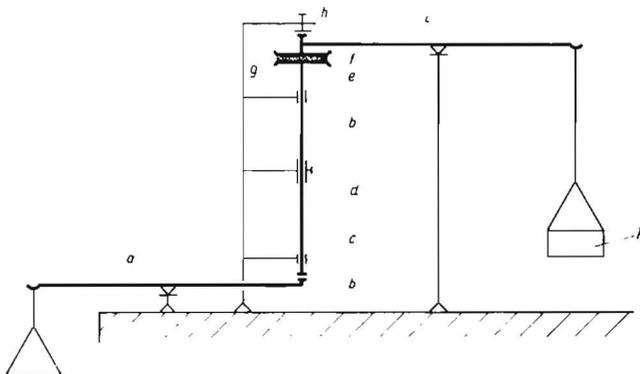


Bild 2: Adhäsionsmeßgerät entwickelt im Institut für Landtechnik Stuttgart-Hohenheim

- |                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| (a) Belastungswaage     | (f) Prüfplatte    |
| (b) verstellbares Lager | (g) Bodenprobe    |
| (c) Druckstempel        | (h) Gegenschraube |
| (d) Klemme              | (i) Meßwaage      |
| (e) Druckplatte         | (k) Wassergefäß   |

<sup>1)</sup> Die im Institut für Landtechnik der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim durchgeführten Untersuchungen wurden in dankenswerter Weise vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen unterstützt. Über das Ergebnis der Messungen wurde an anderer Stelle ausführlicher berichtet [2].

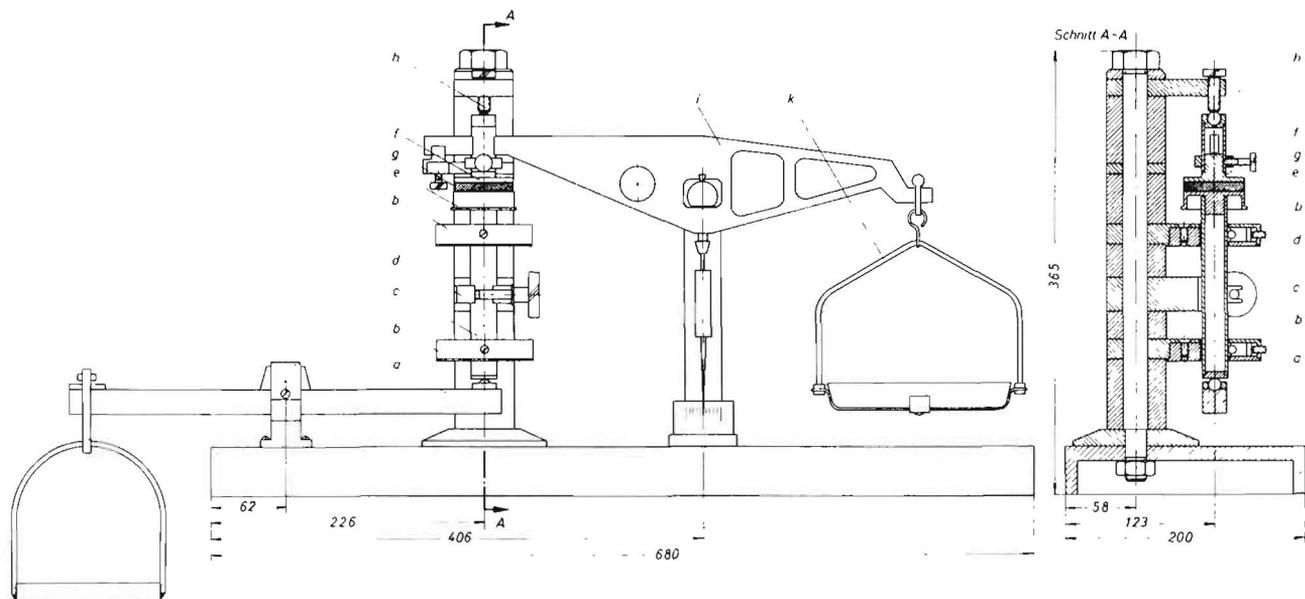


Bild 3: Konstruktiver Aufbau des Adhäsionsmeßgerätes

Einfluß der untersuchten Stoffe sollten mit Hilfe des Meßgerätes ermittelt werden.

Die Meßtechnik auf dem Gebiet der Bodenadhäsion ist noch sehr jung, obwohl eine umfangreiche und grundlegende Arbeit von SCHACHBASIAN [3] bereits lange Zeit zurückliegt. Erst FOUNTAINE [4] entwickelte im National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe/Bed., ein besonderes Meßgerät (Bild 1). Es beruht auf dem Prinzip, Anpreßkraft und Adhäsionskraft mit dem gleichen Instrument zu messen. Die Anpreßkraft wird durch Auflegen von Gewichten erzeugt und die Adhäsionskraft durch eine Balkenwaage gemessen. Die Bodenprobe befindet sich im unteren Teil des Meßgerätes. Das Gewicht des Druckstempels läßt sich mit der Waage nicht austarieren, so daß niedrige Bereiche der Anpreßkraft nicht erfaßt werden können. Bei den Messungen wird die auf der Druckplatte (a) liegende Bodenprobe (k) vom Druckstempel (e) gegen die runde Prüfpfanne (b) von 50 mm Durchmesser gepreßt. Der in zwei Kugellagern (c) geführte Druckstempel kann durch die Klemmschraube (f) arretiert werden, nachdem die Anpressung beziehungsweise Vorbelastung durch Auflegen des Gewichtes (h) erfolgt ist. Durch Betätigen der Stellmutter (g) ist es möglich, die Vorbelastung gleichmäßig und langsam aufzubringen, bis das Gewicht ganz aufsitzt. Mit Hilfe des Anschlages (i) lassen sich die Deformation der Bodenprobe und die Zeit der Vorbelastung begrenzen. Der Waagebalken (l) kann mittels der höhenverstellbaren Schneide (d) in die waagerechte Lage gebracht werden. Die Gewichtsbelastung des Waagebalkens (l) zum Messen der Adhäsionskraft erfolgt durch Zulaufenlassen von Wasser in den Wasserbehälter (m) mit einer Zuflußmenge von 350 cm<sup>3</sup>/min. Mit Hilfe dieses Gerätes hat FOUN-

TAINE den Einfluß von Boden verschiedener Bodenarten und -zustände ermittelt.

Im Jahre 1959 wurde ein weiteres Adhäsionsmeßgerät auf der Landwirtschaftlichen Ausstellung in Leipzig-Markkleeberg gezeigt, das vom Moskauer Institut der Ingenieure für Geodäsie, Luftaufnahmen und Kartographie-MJJGAIK hergestellt wird [5]. Leider konnte nichts Näheres über dieses Gerät in Erfahrung gebracht werden.

Im Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim, wurde im Jahre 1958 ein Meßgerät entwickelt, das in Bild 2 schematisch erläutert wird. Im Gegensatz zum englischen Gerät wird die Bodenprobe im oberen Teil des Gerätes eingebracht. Das erfolgt so, daß das Eigengewicht der Belastungseinrichtung vollkommen austariert und der Meßbereich auf diese Weise bis auf Null ausgedehnt werden kann. Wie sich bei den späteren Messungen herausstellte, ist dies ein entscheidender Vorteil.

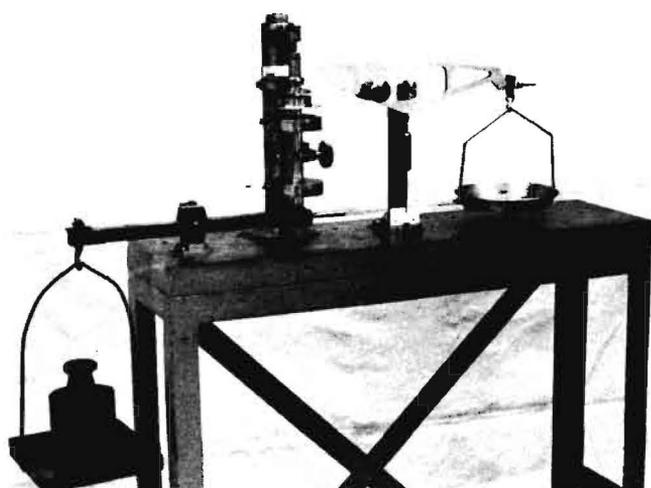


Bild 4: Ansicht des Adhäsionsmeßgerätes

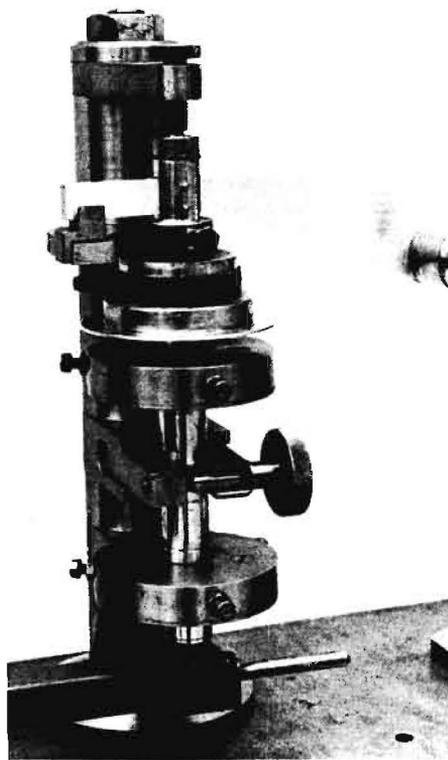


Bild 5: Teilansicht des Adhäsionsmeßgerätes

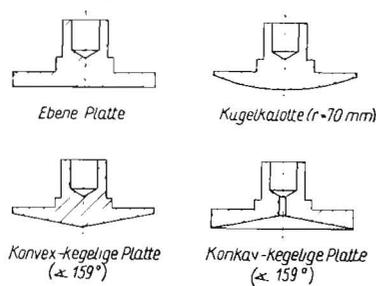


Bild 6: Prüfplatten verschiedener Oberflächenformen

Im einzelnen besteht das Gerät aus einer Aufnahmevorrichtung für die Bodenprobe, einer Belastungs- und einer Wiegevorrichtung. Die Bodenprobe (g) ruht auf der Druckplatte (e), die fest mit dem Druckstempel (c) verbunden ist. Der Druckstempel (c) wird in den Lagern (b) geführt. Auf der Bodenprobe (g) ruht die Prüfplatte (f), die gegen ein Ausweichen nach oben durch eine Gegenschraube (h) festgehalten wird. Durch Aufbringen eines Gewichtes an der Waagschale der Belastungswaage (a) erfolgt das Anpressen von Prüfplatte (f) und Bodenprobe (g). Von der Belastungswaage können Lasten bis zu 25 kp übertragen werden. Das wurde als ausreichend angesehen. Nach Beendigung des Anpressens wird die Gegenschraube (h) gelöst und die Klemme (d) zum Arretieren des Druckstempels (c) betätigt. Danach kann mit dem Lösen der Prüfplatte (f) und dem Messen der Adhäsionskraft begonnen werden. Zu diesem Zweck wird die Meßwaage (e) benutzt und in das Wassergefäß (k) laufend Wasser eingelassen, bis die Prüfplatte sich von der Bodenplatte löst. Danach wird die Wasserzufuhr unterbrochen. Das Gewicht des eingelaufenen Wassers entspricht dann der Adhäsionskraft.

## Stand und Rückstand der Forschung

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, hat auf Grund einer Umfrage das Buch „Stand und Rückstand der Forschung in Deutschland in den Naturwissenschaften und den Ingenieurwissenschaften“ herausgegeben. Über den Sektor „Maschinenbau und Verfahrenstechnik“ wird folgendes geschrieben:

„Aus den Äußerungen der Gutachter ergibt sich eine recht günstige Beurteilung aller derjenigen Teilgebiete des Maschinenwesens, die man zu den klassischen Fächern des Maschinenbaus und den dazugehörigen Grundlagenwissenschaften zählen kann. Hier liegt die deutsche Forschung durchaus auf gleicher Höhe mit dem Ausland, auf Einzelgebieten in der Spitzengruppe. Insbesondere sind als günstig beurteilte Teilgebiete genannt: Maschinenelemente, Kolbenmaschinen aller Art, Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren, Fördertechnik, konventionelle Wärme- und Kältetechnik.“

Als bedenklich und zum Teil als besorgniserregend wird der Rückstand auf solchen Gebieten des Maschinenbaus und der Verfahrenstechnik bezeichnet, wo es sich um Forschung, Untersuchung und Entwicklung der letzten Jahrzehnte handelt (auch in den oben genannten Gebieten), zum Beispiel um die Auswertung von jüngeren mathematischen, physikalischen und chemischen Erkenntnissen in der Konstruktion, die Bearbeitung hochfester Werkstoffe, die physikalisch-chemischen Abtragsverfahren, die Hochgeschwindigkeitsverfahren und die Beschichtungstechnik in der Fertigung. Auch die Steuerungs- und Regelungstechnik sind hier zu nennen (wenn es auch Spitzenleistungen in der praktischen Regelungstechnik zu verzeichnen gibt). Ganz allgemein werden — nahezu selbstverständlich — die sehr große Mittel erfordernden Gebiete der Flugtechnik und Raumfahrtforschung, der Raketentechnik und der Kernreakorteknik als förderungsbedürftig aufgeführt. Das gleiche gilt für die modernen Verfahren der Energieumwandlung.“

In Bild 3 wird der konstruktive Aufbau des Adhäsionsmeßgerätes gezeigt. Bild 4 gibt eine Gesamtansicht und Bild 5 eine Teilansicht wieder. Um die Prüfplatte auf eine bestimmte Temperatur bringen zu können und den Einfluß der Temperatur der Prüfplatte auf die Adhäsionskraft zu ermitteln, wurde eine besondere Ausführung mit elektrischem Heizelement entwickelt. Ebenso können auswechselbare Prüfplatten verschiedener Form verwendet werden (Bild 6). Das Gerät hat sich sowohl zum Messen der normalen als auch der tangentialen Adhäsionskraft bewährt.

## Zusammenfassung

Es wird ein neues Gerät zum Messen der Adhäsionskraft von Boden und festem Werkstoff beschrieben. Es besteht aus einer Probenaufnahmevorrichtung, einer Belastungswaage und einer Meßwaage. Gegenüber früheren Meßgeräten hat es den Vorteil der genaueren Messungen, da das Eigengewicht der Prüfplatte austariert werden kann. Auf diese Weise läßt sich der Anpreßdruck beliebig klein wählen. Mit Hilfe der durchgeführten Messungen konnte ein allgemeines gültiges Gesetz für die Adhäsion zwischen Boden und festen Werkstoffen bestätigt werden.

## Schrifttum

- [1] SEGLER, G. und F. WIENKE: Dreschverluste und Leistungsbedarf des Mähreschers beim Verarbeiten von Getreide mit Grüngutbesatz. Landtechnische Forschung 11 (1961), S. 141—144
- [2] RIEK, H. G.: Untersuchungen über die Adhäsion zwischen Boden und festen Werkstoffen. Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim, Bd. 18, Stuttgart 1963
- [3] SCHACHBASIAN, J.: Untersuchungen über die Adhäsion und die Reibung der Bodenarten an Holz und Eisen. In: Forschungen auf dem Gebiete d. Agr.-Phys., Bd. 13, Heidelberg 1890, S. 193—225
- [4] FOUNTAINE, E. R.: Investigations into the Mechanism of Soil Adhesion. Journ. Soil Sci. 5 (1954), S. 251—263
- [5] Sonderdruck des „Moskauer Instituts der Ingenieure für Geodäsie, Luftaufnahmen und Kartographie-MJGAIK“; erschienen im Verlag „Funk der Revolution-Moskau“ unter Nr. 1817

## Résumé

Georg Segler and Hans Günter Riek: „Development of an Implement for Measuring the Soil Adhesion.“

A new implement for measuring the adhesive power of soil and solid material is described. It consists of a sample-pick-up device, load balance and measuring balance. Compared with former measuring apparatuses, its measurements are more exact as the weight of the test plate can be tared. In this way the contact pressure can be chosen as low as ones like. By means of the measurements made a generally valid law for the adhesion between soil and solid materials could be corroborated.

Georg Segler et Hans Günter Riek: «Etude d'un appareil destiné à la mesure de l'adhérence du sol.»

On décrit un nouvel appareil destiné à la mesure de la force d'adhésion du sol et des matériaux solides. Il consiste en un dispositif de logement des échantillons, une balance pesant la charge et une balance de mesure. Par rapport aux anciens appareils de mesure, il offre l'avantage de mesures plus précises, étant donné que le poids propre de la plaque d'essai peut être déduit. C'est pourquoi on peut choisir une pression d'appui aussi faible que l'on veut. Grâce aux mesures effectuées on a pu confirmer une loi générale sur l'adhésion entre le sol et les matériaux solides.

Georg Segler y Hans Günter Riek: «Construcción de un aparato para medir la adhesión a la tierra.»

Se describe un aparato nuevo para medir la fuerza de adhesión a la tierra de materiales sólidos que se compone de un recipiente para el material, una balanza de carga y otra para la medición. En comparación con otros dispositivos conocidos el nuevo aparato ofrece la ventaja de mayor precisión, porque se puede eliminar el peso propio de la plancha como tara, pudiendo así trabajarse con presiones de adhesión pequeñísimas. Las mediciones efectuadas confirmaron la ley de aplicación general de adhesión entre tierra y materiales sólidos.