

I. Physik des Bodens.

*Mittheilungen aus dem agrikulturphysikalischen Laboratorium und Versuchsfelde
der technischen Hochschule in München.*

LV. Untersuchungen über die Adhäsion und die Reibung der Bodenarten an Holz und Eisen.

von Dr. Johann Schachbasian aus Tifis (Kaukasus).

Für die Bearbeitbarkeit der der landwirthschaftlichen Kultur unterworfenen Bodenarten sind verschiedene Umstände maßgebend. Als solche kommen hauptsächlich die Kohäszenz, das Volumgewicht der Böden, sowie die Adhäsion und Reibung derselben an den Ackerwerkzeugen in Betracht. Ueber erstere beiden Eigenschaften liegen ausführlichere Untersuchungen von *H. Puchner*¹⁾ und *E. Wolny*²⁾ vor, während die Adhäsion des Erdreichs an Holz und Eisen bisher nur eine oberflächliche Bearbeitung erfahren hat, und die Reibung der Ackererde an den Werkzeugen überhaupt nicht bestimmt wurde. Es schien mir daher angezeigt, durch das Experiment die Momente näher festzustellen, welche bei Beurtheilung der beiden zuletzt erwähnten Eigenschaften besonders berücksichtigt werden müssen.

I. Die Adhäsion der Bodenarten an Holz und Eisen.

Die Adhäsion macht sich in der Weise geltend, daß sich die Erde mit einer größeren oder geringeren Kraft an die hölzernen und eisernen Bestandtheile der Ackergeräthe anlegt. Man kann daher für dieselbe

¹⁾ Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XII. 1889. S. 195—241.

²⁾ Ebenda. Bd. VIII. 1885. S. 349—367.

dadurch einen ziffermäßigen Ausdruck finden, daß man das Gewicht bestimmt, welches nothwendig ist, um Platten aus den betreffenden Materialien, welche an den Boden angedrückt sind und an demselben haften, loszureißen. Derartige Versuche wurden zuerst von *G. Schübler*¹⁾ ausgeführt, in welchen die Böden in nassem Zustande verwendet wurden. Die Gewichte, bei welchen das Abreißen der Platten erfolgte, wurden pro 100 □ cm Fläche wie folgt bestimmt:

	Eisen. gr.	Holz. gr.
Grauer reiner Thon . . .	914,67	989,33
Klayartiger Thon . . .	582,70	640,35
Feine Kalkerde . . .	484,50	528,54
Gypserde	362,52	399,79
Lehmartiger Thon . . .	359,14	386,24
Humus	298,15	318,48
Lettenartiger Thon . . .	267,66	301,54
Gartenerde	216,84	254,10
Bittererde	196,51	240,50
Ackererde	196,51	216,83
Schiefriger Mergel . . .	166,01	186,34
Kalksand	138,91	149,07
Quarzsand	128,74	145,68.

G. Schübler zieht aus diesen Zahlen folgende Schlüsse: „Die Adhäsion an einer Fläche von Holz zeigte sich bei allen Erden größer als an Eisen, ohne Zweifel, weil Holz auch im bearbeiteten Zustand der feuchten Erde mehr Berührungspunkte darbietet, als das Eisen; es könnte diesem zu widersprechen scheinen, daß bei nasser Witterung das Erdreich öfter mit hölzernen als eisernen Instrumenten, namentlich mit Eggen zu bearbeiten ist; der Grund dieser Erscheinung ist jedoch nicht in der geringen Adhäsion des Erdreichs zum Holz, sondern oft darin zu suchen daß bei nasser Witterung eiserne Instrumente durch ihr größeres Gewicht tiefer in das Erdreich einsinken, als von Holz gefertigte.“

Weiterhin führte *F. Haberlandt*²⁾ verschiedene Versuche über den-

¹⁾ *G. Schübler*. Grundsätze der Agrikulturchemie. Leipzig 1838. II. Theil, S. 76.

²⁾ *F. Haberlandt*. Der allgemeine landwirtschaftliche Pflanzenbau. Wien. 1879. S. 393.

selben Gegenstand aus, wobei er hauptsächlich Graniterde und Thonboden benützte. Die Versuchsmaterialien besaßen folgende Zusammensetzung:

	Größere Theile. Abschlämbbare Humusgehalt.		
	%	Theile.	%
Thonboden . . .	67,49	32,51	5,48
Graniterde . . .	83,38	16,62	2,59.

Für die Graniterde betrug die Adhäsion:

	für Holz, für Eisen pro □ Dezimeter
Für festgedrückte feuchte Erde, sortirt durch Sieb Nr. 12	54 gr 39 gr
„ „ „ „ „ „ „ „ Nr. 50	317 „ 243 „
„ festgestampfte Erde	749 „ 583 „.

Somit beträgt die Adhäsion bei Eisen um nahezu 20 bis 30 Prozent weniger als für Holz.

Die Abhängigkeit der Adhäsion vom Boden und seinem Wassergehalte, sowie von der Belastung erhellt aus folgenden Zahlen:

Wassergehalt. %	Bei 1 kg Belastung.		Bei 5 kg Belastung.	
	Eisen.	Holz.	Eisen.	Holz.
48,79	632,7 gr	868,8 gr	959,35 gr	1365,62 gr
46,13	843,6 „	1049,8 „	1265,40 „	1773,80 „
42,73	703,0 „	832,6 „	984,20 „	1158,40 „
36,17	306,2 „	651,6 „	801,42 „	955,68 „
31,13	126,5 „	159,3 „	492,10 „	525,42 „

Bei Sand betragen die Gewichte nur den vierten oder fünften Theil, bei Moorerde nur die Hälfte oder ein Drittel der vorstehenden Werthe.

Aus den mitgetheilten Zahlen ergibt sich, daß die Adhäsion des Bodens für Holz stets größer war, als für Eisen, daß dieselbe mit der Belastung zunahm, und daß sie um so größer ausfiel, je größer der Wassergehalt des Bodens war. Letzteres war jedoch nur bis zu einer bestimmten Grenze der Fall; denn bei dem höchsten Wassergehalte nahm die Adhäsion wieder ab.

Wenngleich die Untersuchungen der beiden genannten Forscher manche schätzenswerthen Fingerzeige für die Beurtheilung der in Rede

stehenden Eigenschaft der Bodenarten geliefert haben, so können dieselben doch keineswegs Anspruch auf vollständige Erschöpfung des Gegenstandes erheben, besonders aus dem Grunde, als die Zahl der Versuche eine durchaus ungenügende war, und die Versuchsmaterialien, mangels Feststellung ihrer näheren mechanischen Zusammensetzung, den Einfluß der einzelnen Hauptbodengemengtheile nicht genügend erkennen lassen. Um den in letzteren Richtungen zu stellenden Anforderungen möglichst zu genügen, habe ich in meinen im Nachfolgenden beschriebenen Untersuchungen die Bodenkonstituenten im thunlichst reinen Zustande und deren in einem bestimmten Verhältniß hergestellte Gemische verwendet.

Der Thon kam in Form von Kaolin, bezogen von der Königl. Porzellanmanufaktur in Nymphenburg bei München, in Benützung. Der Quarzsand stammte aus der Nürnberger Gegend und war theils durch Zerstampfen in einem eisernen Mörser in ein feines Pulver, theils durch Siebe in verschiedene Kornsortimente zerlegt worden. Der Humus war durch Pulvern aus Torf aus dem Aiblinger Moor in Oberbayern hergestellt worden. Die Reinigung dieser Versuchsmaterialien erfolgte durch öfteres Auskochen mit verdünnter Salzsäure und Auswaschen mit destillirtem Wasser. Der Torf wurde außerdem durch wiederholtes Auskochen und Ausstüßen mit Alkohol und Aether seiner harzigen Bestandtheile beraubt. Neben diesen Materialien wurde noch ein Lehm Boden (Ziegellehm von Berg am Laim bei München) in pulverförmigem und in krümligem Zustande in Anwendung gebracht.

Der Apparat, dessen ich mich bediente, war folgendermaßen konstruirt. (Fig. 1.) An dem Wagbalken A, welcher in seiner Mitte in einer Schneide beweglich ist, befinden sich an den Enden die beiden Kreissegmente B.

An dem oberen Theil derselben ist je eine Schraube angebracht, von welcher eine Schnur herabhängt, die auf der einen Seite des Wagbalkens ein Gefäß C trägt, auf der anderen Seite eine kreisrunde, einen □ Dezimeter große Platte D aus Buchenholz oder Stahl. Die Verbindung der Schnur mit der Platte ist mittelst eines Universal-Gelenkes hergestellt der Art, daß letztere nach allen Richtungen hin beweglich ist. Der Versuchsboden befindet sich in dem zylindrischen Gefäß E, welches unten mit einem doppelten Boden versehen ist, eine Vorrichtung, welche

ermöglicht, das Erdreich von unten her anzufeuchten. Oben trägt das Gefäß einen Ring F, welcher durch drei Schrauben befestigt werden kann.

Bei Ausführung der Versuche wurde das Gefäß E schichtenweise und unter Feststampfen jeder einzelnen Schichte mit dem betreffenden Materiale bis zum Rande gefüllt, worauf die Oberfläche durch Auflegen

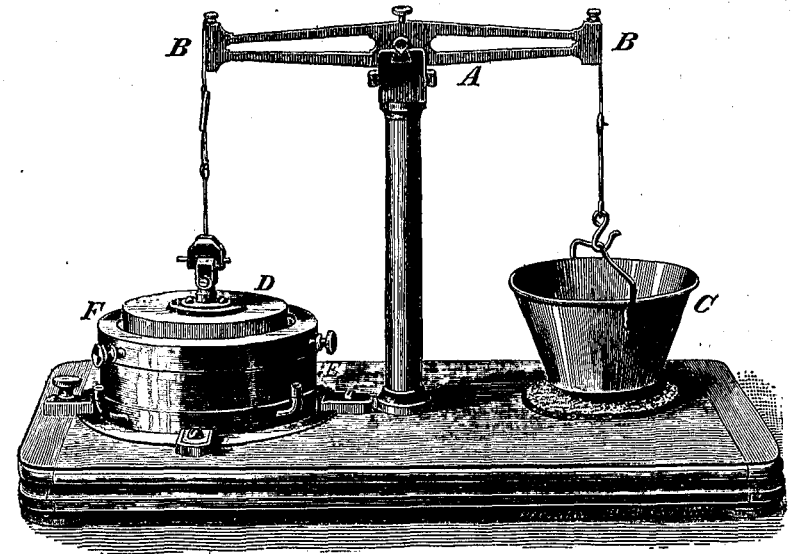


Fig. 1.

einer mit Gewichten belasteten Glasplatte geebnet wurde. Nach dem Abnehmen der Glasplatte wurde der Ring F aufgesetzt und mittelst der oben bezeichneten Schrauben mit dem Gefäß E in feste Verbindung gebracht. Alsdann wurde destillirtes Wasser in den durch den Doppelboden gebildeten Hohlraum eingelassen, von wo aus der Boden sich allmählich bis zur Oberfläche kapillar mit Wasser sättigte. Sobald der Boden keine Gewichtszunahme mehr zeigte, wurde eine der Platten auf die Oberfläche gelegt und mittelst eines 5 kg schweren Gewichtes in allen Versuchen genau 10 Minuten belastet. Nach Umfluß dieser Zeit wurde das Gewicht entfernt, und die Platte mittelst der Schnur an dem Wagbalken befestigt, während auf der anderen Seite das Gefäß C durch Einlaufenlassen von Schrot bis zu dem Punkte beschwert wurde, wo die Platte auf der anderen Seite des Wagbalkens sich von dem Erdreich abhob.

Außer im gesättigten Zustande wurden die Böden, soweit dies anging, auch bei einem niedrigeren Wassergehalte untersucht, und zwar in der Weise, daß ich dieselben soweit langsam austrocknen ließ, bis sie 80, resp. 60 % u. s. w. der vom Boden aufgenommenen Maximalwassermenge (100 %) enthielten. Da bei geringerem Feuchtigkeitsgehalte der Boden an der Oberfläche trockener erschien, als in tieferen Schichten, so wurde vor Anstellung der Versuche jedes Mal durch sanftes Aufreißen der obersten Partie und Festdrücken derselben die Gleichmäßigkeit der Verteilung des Wassers herbeizuführen gesucht.

So einfach die Ausführung der Versuche auf den ersten Blick erscheinen mag, so erfordern doch die damit verknüpften Manipulationen eine längere Übung, um einigermaßen übereinstimmende Resultate zu erhalten. Besondere Schwierigkeiten bietet das Auflegen der Platte in der Weise, daß sie in allen ihren Theilen mit dem Boden in innige Berührung tritt; um dies zu erreichen, ist nicht allein die Herstellung einer vollkommen ebenen Oberfläche nothwendig, sondern man muß auch durch eine gewisse drehende Bewegung den allenfallsigen Anschluß derselben an das Erdreich zu bewirken suchen. Ich habe beinahe sechs Wochen dazu gebraucht, um mir die zur Erlangung zuverlässiger Resultate erforderlichen Fertigkeiten anzueignen.

In den folgenden Tabellen sind die pro 100 □ cm Fläche ermittelten Resultate, welche mittelst einer Holz-, einer polirten und einer gerosteten Stahlplatte ermittelt wurden, übersichtlich zusammengestellt worden:

a. Verschiedene Feinheit der Bodentheilchen.

Quarzsand I: 0,010—0,071 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	1857	1784	1668
2	1949	1603	1627
3	1987	1729	1654
4	2066	1751	1663
5	1975	1702	1619
Mittel:	1956,8	1713,8	1653,2

Quarzsand II: 0,071—0,114 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	1690	1242	951
2	1749	1264	1002
3	1674	1281	967
4	1709	1261	987
5	1762	1290	988
Mittel:	1716,8	1267,6	969

Quarzsand III: 0,114—0,171 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	1453	1001	560
2	1424	929	616
3	1468	962	637
4	1479	990	604
5	1427	988	656
Mittel:	1450,2	974	614,6

Quarzsand IV: 0,171—0,250 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	706	577	310
2	730	569	277
3	738	562	258
4	704	582	319
5	757	560	298
Mittel:	727	570	292,4

Quarzsand V: 0,250—0,500 mm } zeigten keine Adhäsion.

" VI: 0,500—1,000 mm }

" VII: 1,000—2,000 mm }

" I—VII: 0,010—2,000 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	241	221	115
2	284	309	96
3	318	219	114
4	273	258	141
5	224	261	88
Mittel:	268	253,6	110,8

Kalksand I: 0,010—0,071 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	1983	1835	1957
2	1943	1766	1822
3	1954	1824	1891
4	1977	1795	1883
5	1964	1787	1864
Mittel:	1964,2	1801,4	1883,4

Kalksand I: 0,010—0,071 mm. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

1	518	279	—
2	588	249	—
3	465	261	—
4	579	270	—
5	471	230	—
Mittel:	514,2	257,8	—

Kalksand II: 0,071—0,114 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	1756	1119	1280
2	1601	1149	1385
3	1661	1194	1348
4	1686	1178	1233
5	1674	1191	1343
Mittel:	1675,6	1166,2	1317,8

Kalksand II: 0,071—0,114 mm. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

1	409	261	—
2	449	243	—
3	440	237	—
4	437	217	—
5	456	238	—
Mittel:	438,2	239,2	—

Kalksand III: 0,114—0,071 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	1298	1010	983
2	1378	959	1010
3	1264	1047	1096
4	1323	961	1113
5	1371	992	1068
Mittel:	1327,8	993,8	1054

Kalksand IV: 0,171—0,250 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	696	691	445
2	726	609	473
3	766	687	490
4	754	690	436
5	739	670	506
Mittel:	736,2	669,4	470

Kalksand I—IV: 0,010—0,250 mm. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	1581	1234	953
2	1634	1172	896
3	1564	1131	982
4	1567	1118	904
5	1594	1210	893
Mittel:	1588	1173	925,6

b. Verschiedene Struktur des Bodens.

Lehm pulverförmig. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	1334	1284	1485
2	1279	1289	1443
3	1299	1250	1502
4	1343	1237	1413
5	1385	1293	1452
Mittel:	1328	1271,6	1429

Lehm pulverförmig. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	1541	1378	1672
2	1481	1402	1692
3	1473	1298	1615
4	1497	1393	1706
5	1427	1341	1576
Mittel:	1483,8	1362,4	1652,2

Lehm pulverförmig. Rel. Wasserkapazität: 60 %.

1	781	592	896
2	827	582	960
3	734	496	923
4	703	616	982
5	807	501	923
Mittel:	770,4	557,4	936,8

Lehm pulverförmig. Rel. Wasserkapazität: 40 %.

1	461	248	—
2	447	259	—
3	431	287	—
4	423	223	—
5	478	269	—
Mittel:	448	257,2	—

Lehm krümelig. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	136	124	165
2	127	119	154
3	140	138	163
4	117	142	182
5	143	148	185
Mittel:	132,6	134,2	170,8

Lehm krümelig. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	279	220	377
2	237	254	354
3	238	246	352
4	267	232	386
5	224	213	346
Mittel:	248,6	233	363

Lehm krümelig. Rel. Wasserkapazität: 60 %.

1	120	104	140
2	109	99	128
3	114	117	131
4	119	111	127
5	107	95	129
Mittel:	113,8	105,2	131

Lehm krümelig. Rel. Wasserkapazität: 40 %.

1	90	67	—
2	87	58	—
3	101	63	—
4	74	73	—
5	69	49	—
Mittel:	84,2	62	—

c. Verschiedene Böden.

Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	3317	2861	3893
2	3282	2697	3994
3	3370	2797	4013
4	3383	2675	4086
5	3385	2618	4001
Mittel:	3347,4	2729	3997,4

Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	5261	3630	4335
2	5117	3508	4407
3	5301	3409	4271
4	5227	3609	4438
5	5158	3684	4359
Mittel:	5212,8	3568	4362

Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 60 %.

1	3676	2394	1970
2	3711	2369	1960
3	3581	2301	1949
4	3509	2241	1901
5	3641	2300	1990
Mittel:	3623,6	2321	1954

 $\frac{2}{3}$ Vol. Kaolin + $\frac{1}{3}$ Vol. Quarz. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	2377	2112	2810
2	2337	2090	2686
3	2365	2072	2601
4	2397	2152	2823
5	2281	1992	2793
Mittel:	2351,4	2083,6	2742,6

 $\frac{2}{3}$ Vol. Kaolin + $\frac{1}{3}$ Vol. Quarz. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

1	1741	688	1195
2	1683	699	1033
3	1763	687	1093
4	1785	602	1102
5	1893	660	1166
Mittel:	1773	666,2	1117,8

 $\frac{1}{3}$ Vol. Kaolin + $\frac{2}{3}$ Vol. Quarz. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	2204	1821	2150
2	2159	1858	2245
3	2127	1807	2147
4	2139	1881	2026
5	2124	1832	1968
Mittel:	2150,6	1839,8	2107,2

Quarz.

1	1857	1784	1663
2	1949	1603	1627
3	1937	1729	1654
4	2066	1751	1663
5	1975	1702	1619
Mittel:	1956,8	1713,8	1653,2

 $\frac{2}{3}$ Vol. Quarz + $\frac{1}{3}$ Vol. Torf. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	1866	1651	1557
2	1811	1687	1529
3	1885	1621	1589
4	1794	1697	1518
5	1837	1622	1605
Mittel:	1840,6	1655,6	1559,6

 $\frac{1}{3}$ Vol. Quarz + $\frac{2}{3}$ Vol. Torf. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	1686	1549	1445
2	1591	1508	1471
3	1641	1580	1493
4	1691	1527	1408
5	1557	1514	1420
Mittel:	1633,2	1555,6	1449,4

Torf. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	1561	1402	1376
2	1456	1479	1321
3	1482	1392	1386
4	1403	1408	1356
5	1561	1431	1307
Mittel:	1492,6	1422,4	1349,6

 $\frac{2}{3}$ Vol. Torf + $\frac{1}{3}$ Vol. Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	1785	1598	1686
2	1951	1540	1910
3	1987	1647	1893
4	1863	1690	1873
5	1933	1592	1796
Mittel:	1913,8	1613,4	1831,6

 $\frac{2}{3}$ Vol. Torf + $\frac{1}{3}$ Vol. Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

1	104	91	—
2	120	58	—
3	117	87	—
4	127	69	—
5	115	72	—
Mittel:	116,6	75,4	—

 $\frac{1}{3}$ Vol. Torf + $\frac{2}{3}$ Vol. Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	1974	1707	2420
2	2016	1837	2203
3	2051	1807	2366
4	2177	1869	2344
5	2124	1758	2302
Mittel:	2068,4	1759,6	2327

 $\frac{1}{3}$ Vol. Torf + $\frac{2}{3}$ Vol. Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz
1	2256	2185	2527
2	2248	2116	2487
3	2218	2097	2571
4	2281	2056	2551
5	2271	2141	2507
Mittel:	2254,8	2119	2528,6

 $\frac{1}{3}$ Vol. Torf + $\frac{2}{3}$ Vol. Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 60 %.

1	271	291	—
2	260	333	—
3	239	324	—
4	246	305	—
5	283	348	—
Mittel:	259,8	320,2	—

d. Thon mit Kali-Kalkzusatz.

Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 100 %.

1	3317	2861	3893
2	3282	2697	3994
3	3370	2797	4013
4	3383	2675	4086
5	3385	2618	4001
Mittel:	3347,4	2729	3997,4

Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 80 %.

1	5261	3630	4335
2	5117	3508	4407
3	5301	3409	4271
4	5227	3609	4438
5	5158	3684	4359
Mittel:	5212,8	3568	4362

Kaolin. Rel. Wasserkapazität: 60%.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	3676	2394	1970
2	3711	2369	1960
3	3581	2301	1949
4	3509	2241	1901
5	3641	2300	1990
Mittel:	3623,6	2321	1954

Kaolin + 1% Kalihydrat. Rel. Wasserkapazität: 100%.

1	3946	3224	4645
2	4001	3270	4608
3	4034	3322	4558
4	3983	3198	4583
5	3966	3336	4676
Mittel:	3986	3280	4614,6

Kaolin + 1% Kalihydrat. Rel. Wasserkapazität: 80%.

1	5776	3794	5085
2	5636	3890	5271
3	5995	3950	5154
4	5889	3891	5207
5	5309	3990	5221
Mittel:	5821	3903	5187,6

Kaolin + 1% Aetzkalk. Rel. Wasserkapazität: 100%.

1	3341	2854	4158
2	3379	2719	4179
3	3441	2809	4209
4	3467	2830	4226
5	3389	2789	4118
Mittel:	3403,4	2800,2	4178

Kaolin + 1% Aetzkalk. Rel. Wasserkapazität: 80%.

Versuch.	Adhäsion in gr.		
	Stahl polirt.	Stahl gerostet.	Holz.
1	5341	3879	4495
2	5286	3709	4407
3	5257	3851	4509
4	5386	3748	4358
5	5129	3684	4390
Mittel:	5279,8	3774,2	4431,8

Kaolin + 1% Aetzkalk. Rel. Wasserkapazität: 60%.

1	4226	2619	2404
2	4156	2700	2447
3	4186	2657	2456
4	4126	2697	2500
5	4207	2541	2403
Mittel:	4180,2	2642,8	2442

Zusammenstellung der Resultate.

Quarzsand.

100% Wasserkapazität.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	I-VII.
Stahl, polirt	1956,8	1716,8	1450,2	727,0	0	0	0	268
" gerostet	1713,8	1267,6	974,0	570,0	0	0	0	253,6
Holz	1653,2	969,0	614,6	292,4	0	0	0	170,8

von der
Adhäsion
bep. in gr.

Kalksand.

	I. Wasser- kap. 100%.	I. Wasser- kap. 80%.	II. Wasser- kap. 100%.	II. Wasser- kap. 80%.	III. Wasser- kap. 100%.	IV. Wasser- kap. 100%.	I-IV. Wasser- kap. 100%.
Stahl, polirt	1964,2	514,2	1675,6	438,2	1327,8	736,2	1588,0
" gerostet	1801,4	257,8	1166,2	239,2	993,8	669,4	1173,0
Holz	1883,4	0	1317,8	0	1054,0	470,0	925,6

Lehm, pulverförmig und krümelig.

	100% Wasserkapazität.		80% Wasserkapazität.		60% Wasserkapazität.		40% Wasserkapazität.	
	pulv.	krüm.	pulv.	krüm.	pulv.	krüm.	pulv.	krüm.
Stahl, polirt . . .	1328,0	132,6	1433,8	248,6	770,4	113,8	448,0	84,2
„ gerostet . . .	1271,6	134,2	1362,4	233,0	557,4	105,2	257,2	62,0
Holz	1429,0	170,8	1652,2	363,0	936,8	131,0	0	0

Verschiedene Böden.

100% Wasserkapazität.

	Kaolin.	$\frac{2}{3}$ v. Kaolin. $\frac{1}{3}$ v. Quarz.		$\frac{1}{3}$ v. Kaolin. $\frac{2}{3}$ v. Quarz.		Quarz.		$\frac{2}{3}$ v. Quarz. $\frac{1}{3}$ v. Torf.		$\frac{1}{3}$ v. Quarz. $\frac{2}{3}$ v. Torf.		Torf.		$\frac{2}{3}$ v. Torf. $\frac{1}{3}$ v. Kaolin.		$\frac{1}{3}$ v. Torf. $\frac{2}{3}$ v. Kaolin.	
Stahl, polirt	3347,4	2351,4	2150,6	1956,8	1840,6	1633,2	1492,6	1913,8	2068,4								
„ gerostet	2729,0	2083,6	1839,8	1713,8	1655,6	1555,6	1422,4	1613,4	1759,6								
Holz	3997,0	2742,6	2107,2	1653,2	1559,6	1449,4	1349,6	1831,6	2327,0								

80% Wasserkapazität.

Stahl, polirt	5212,8	1773,0	0	0	0	0	0	116,6	2254,8
„ gerostet	3568,0	662,2	0	0	0	0	0	75,4	2119,0
Holz	4362,0	1117,8	0	0	0	0	0	0	2528,6

60% Wasserkapazität.

Stahl, polirt	3623,6	0	0	0	0	0	0	0	259,8
„ gerostet	2321,0	0	0	0	0	0	0	0	320,2
Holz	1954,0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kaolin mit Kali- und Kalkzusatz.

	100% Wasserkapazität.			80% Wasserkapazität.			60% Wasserkapazität.		
	Kaolin rein.	Kaolin + Kalhydrat.	Kaolin + Aetz-kalk.	Kaolin rein.	Kaolin + Kalhydrat.	Kaolin + Aetz-kalk.	Kaolin rein.	Kaolin + Kalhydrat.	Kaolin + Aetz-kalk.
Stahl, polirt	3347,4	3986,0	3403,4	5212,8	5821,0	5279,8	3623,6	0	4180,2
„ gerostet	2729,0	3280,0	2800,2	3568,0	3903,0	3774,2	2321,0	0	2642,8
Holz	3997,4	4614,6	4178,0	4362,0	5187,6	4431,8	1954,0	0	2442,0

Die mitgetheilten Zahlen vermitteln folgende Thatsachen:

1. Bei den sandigen Bodenarten (Kalk und Quarzsand) ist die Adhäsion derselben an Holz und Eisen um so größer, je feiner die Bodentheilechen sind. Das Gemisch verschiedener Kornsortimente steht in dieser Beziehung zwischen den Extremen.
2. Die Adhäsion der Ackererde an den Werkzeugen ist im pulverförmigen Zustande derselben beträchtlich größer als im krümeligen.
3. Von den verschiedenen Hauptbodengemengtheilen besitzt der Thon die größte Adhäsion an Holz und Eisen, der Humus die geringste, während der Quarz unter sonst gleichen Verhältnissen d. h. bei annähernd gleicher Größe der Bodenpartikel zwischen jenen beiden Bodenarten steht, sich im Uebrigen aber dem Torf ähnlich verhält. Hieraus folgt, daß das Anhaften des Bodens an den Ackerwerkzeugen um so stärker ist, je größer der Thongehalt, und um so schwächer, je größer die in dem Erdreich vorkommenden Quarz- und Humusmengen sind.
4. Der Einfluß des Wassers auf die Adhäsion unter den in Rede stehenden Bedingungen ist je nach der Beschaffenheit des Erdreichs ein verschiedener. Bei den sandigen Bodenarten nimmt die bezeichnete Kraft bis zur vollen Sättigung derselben zu. Bei den thonreichen Böden ist die Adhäsion an Holz und Eisen bei einem gewissen Wassergehalt am größten (80% Wasserkapazität), während dieselbe bei höherem oder niedrigerem Wassergehalt stetig abnimmt. Der Humus scheint sich in Bezug auf die Wirkungen der Feuchtigkeit dem Quarz analog zu verhalten.
5. Die Zufuhr von Aetzkalk zum Thon ist ohne bemerkbaren Einfluß auf die Adhäsion dieser Bodenart an den Ackerwerkzeugen. Dagegen scheint die Beimengung von Alkalien ein festeres Anhaften des Thons an den in Rede stehenden Materialien zu bewirken.

6. Die Adhäsion des Erdreiches an Holz ist bei allen thonreichen Böden größer, bei allen quarz- und humusreichen Böden dagegen geringer als jene an Stahl.

Das Anhaften der Ackererde an gerostetem Stahl ist fast durchgängig niedriger als an polirtem Stahl und bei den thonreichen Böden auch geringer als jenes an Holz. Nur bei den quarzreichen Böden stellen sich die Werthe für die Adhäsion an gerostetem Stahl höher als an Holz.

Zur Erklärung der durch vorstehende Untersuchungen ermittelten Thatsachen ist zunächst der Umstand heranzuziehen, daß, abgesehen von Nebenumständen, die Adhäsion des Bodens an den Ackerwerkzeugen nothwendigerweise um so größer sein muß, je inniger die Berührung zwischen beiden Theilen ist. Aus diesem Grunde werden die Werthe für das Anhaften der Erde an Holz und Eisen um so höher ausfallen müssen, je feinkörniger der Boden ist und bei dem Thon, welcher aus den kleinsten Elementen zusammengesetzt ist, den höchsten Betrag erreichen. Das Verhalten letzterer Bodenart unter den hier vorliegenden Verhältnissen wird jedoch nicht allein auf die Größe der Bodenpartikel zurückzuführen sein, sondern auch der Plastizität, welche auf der kolloidalen Beschaffenheit eines Theils der Thonsubstanz beruht, zuzuschreiben sein.

Die bedeutende Abnahme der Adhäsion durch die Krümelung des Bodens ist ohne Zweifel darauf zurückzuführen, daß die Flächen an den Werkzeugen der Ackerinstrumente in diesem Zustande in eine weit weniger innige Berührung mit dem Boden treten als bei pulverförmiger Beschaffenheit, bei welcher die Bodenpartikel an den betreffenden Flächen in deren ganzer Ausdehnung anhaften.

Für den verschiedenen Einfluß des Wassers, je nach der Beschaffenheit des Bodens, spricht der Umstand, daß die thonreichen Bodenarten im gesättigten Zustande eine breiige und lose Masse bilden und daher eine leichte Verschiebung erfahren, wohingegen bei den sandigen Böden unter den gleichen Verhältnissen das Erdreich eine feste zusammenhängende Masse bildet, der Art, daß die Wirkungen eines höheren Wassergehaltes zum vollen Ausdruck gelangen können. Letztere bestehen darin, daß bei der Berührung zwischen den betreffenden Materialien und dem Boden

außer durch die Einhüllung der Bodenpartikel mit einer dünnen Wasserschichte noch dadurch das Anhaften der Erde befördert wird, daß sich zwischen den Bodentheilen und an denselben adhärende Wasserpartikel befinden, welche sich neben den feuchten Bodentheilen an die Werkzeuge anlegen. Ueberhaupt kann der Boden nur dann an Holz und Eisen haften, wenn derselbe gewisse Feuchtigkeitsmengen enthält, da bei trockener Beschaffenheit desselben, wo die Bodenpartikel der Wasserhülle entbehren und sich zwischen denselben kein Tropfen flüssiges Wasser befindet, überhaupt keine Adhäsion eintreten kann. Der Wassergehalt ist somit das bedingende Moment für die Adhäsion der Ackererde an Holz und Eisen. Es wird daher ganz allgemein gesagt werden können, daß die Kraft, mit welcher der Boden an den Werkzeugen haftet, unter sonst gleichen Umständen um so größer ist, je größer seine Wasserkapazität und umgekehrt.

Die Erhöhung der Adhäsion des Thones an den Werkzeugen durch Zuführung von Alkalien läßt sich aus der durch letztere bewirkten engeren Aneinanderlagerung der Bodentheile, wie solche durch die Untersuchungen von A. Mayer¹⁾ und E. W. Hilgard²⁾ nachgewiesen worden ist, erklären. Nach diesen hätte man außerdem erwarten sollen, daß die Beimischung von Aetzkalk die Adhäsion des Thones an den Holz- und Stahlplatten vermindern würde, weil letztere Substanz der Krümelung thonreicher Bodenarten Vorschub leistet. Daß dies nicht der Fall war, ist dem Umstande zuzuschreiben, daß bei der gewählten und nicht anders zu treffenden Versuchsanordnung, nämlich durch das Zusammenpressen des Bodens, die Krümelbildung verhindert wurde.

Die Thatsache, daß der Boden im Allgemeinen an Holz in stärkerem Maße adhärte als an Eisen, beruht wahrscheinlich darauf, daß das Erdreich sich in die Vertiefungen auf der Oberfläche der Holzplatte einschleibt und daß dadurch die Berührungsfläche vergrößert wird. In Wirklichkeit mögen die betreffenden Unterschiede noch größer ausfallen als in vorliegenden Untersuchungen, weil die verwendete Holzplatte im Vergleich zu hölzernen in längerem Gebrauch befindlichen Werkzeugen

¹⁾ Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. II. 1879. S. 251—273.

²⁾ Ebenda. Bd. II. 1879. S. 441—454.

eine ziemlich glatte Oberfläche besaß. Wenn die sandigen Böden an Holz weniger adhärten als an polirtem Stahl, so kann dies nur darauf beruhen, daß bei diesen Versuchsmaterialien wegen des größeren Korndurchmessers das Einschieben der Bodenpartikel in die auf der Oberfläche der Holzplatte befindlichen Vertiefungen nicht erfolgen konnte. Die Ursache des eigenthümlichen Verhaltens des gerosteten Stahls ist aller Wahrscheinlichkeit nach in der Rauheit der Oberfläche desselben zu suchen, welche eine Verminderung der Berührungsfläche zwischen Boden und diesem Material bedingte.

In Rücksicht auf die Bedeutung der Adhäsion des Bodens an Holz und Eisen für die Bearbeitbarkeit des Bodens unter natürlichen Verhältnissen lassen die hier mitgetheilten Untersuchungen deutlich erkennen, daß jene Eigenschaft von ungleich geringerem Belang ist als die Eingangs dieser Abhandlung aufgeführten. Wird der Boden bei einem mittleren Wassergehalt bearbeitet, wie dies nach den Untersuchungen von *H. Puchner*¹⁾ über die Kohäsion der Bodenarten im Hinblick auf die Herstellung der günstigsten Struktur des Erdreichs unbedingt nothwendig ist, so ist selbst bei den thonreichen Böden die Adhäsion verhältnißmäßig gering und sie ist bei Erden mit höherem Quarz- und Humusgehalt gleich Null.

Man gelangt auf solche Weise zu der Ueberzeugung, daß die Kohäsion und vielleicht auch die Reibung in bezeichneter Richtung sich von maßgebendstem Einfluß erweisen. Ueber letztere Verhältnisse sollen die Darlegungen des nächsten Abschnittes nähere Auskunft geben.

II. Die Reibung der Bodenarten an Holz und Eisen.

Bei Ausführung der Versuche über die Reibung der Bodenarten an Holz und Eisen boten sich insofern besondere technische Schwierigkeiten, als bei dem Fortgleiten der Platten über die Oberfläche des Erdreiches ungemein leicht Anhäufungen vor denselben sich bildeten, durch welche entweder die Bewegung eine ungleichförmige oder vollständig aufgehoben wurde. Aus diesem Grunde mußte überhaupt von der Bestimmung des Reibungskoeffizienten der Ruhe Abstand genommen werden. Derselbe wird bekanntlich am einfachsten in der Weise festgestellt, daß man auf einer schiefen Ebene, aus der betreffenden Bodenart hergestellt, eine Holz- oder Metallplatte herabgleiten läßt und den

¹⁾ Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. XII. 1889. S. 195—241.

Winkel mißt, den die schiefe Ebene mit der Horizontalen bei Beginn der Bewegung bildet. Der Reibungskoeffizient ist dann gleich der Tangente des Reibungswinkels. Solche Versuche ließen sich indessen nicht ausführen wegen des geschilderten Verhaltens der Böden. Ich mußte mich daher begnügen, den Reibungskoeffizienten der Bewegung zu eruiren. Da dieser in praktischer Hinsicht betreffs Beurtheilung der Bearbeitbarkeit der Ackererde von maßgebendstem Belang ist, so dürfte die durch Unterlassung der Bestimmungen in ersterer Richtung bedingte Unvollständigkeit vorliegender Untersuchungen von untergeordnetem Belang sein.

Der Apparat (siehe Tafel II), dessen ich mich bei Bestimmung des Reibungskoeffizienten der Bewegung bediente, war folgendermaßen konstruirt. Auf einem auf Füßen ruhenden, aus Holz gefertigten starken Gestell befindet sich ein Zinkkasten A mit durchlöcherter Boden von einem Meter Länge, 11,5 cm Breite und 2 cm Tiefe. Derselbe ist vollständig horizontal gestellt und mit der betreffenden Bodenart, bei 1 cm Höhe der Mächtigkeit, gefüllt.

Bei Ausführung der Versuche wird an dem einen Ende des Zinkkastens ein Holz- oder aus polirtem resp. gerostetem Stahl gefertigter Schlitten B auf die mittelst eines Brettes vollständig geebnete Bodenoberfläche gestellt. Die Schlitten von 100 □ cm Größe und von quadratischer Gestalt sind an der nach der Fortbewegungsrichtung gelegenen Seite aufgebogen, um das Zusammenschieben des Erdreiches zu verhindern, und in der Mitte mit zwei senkrecht stehenden Metallstäben versehen. An letzteren sind mittelst lose umliegender Metallringe zwei Schnüre befestigt, welche über die beiden Führungsrollen C gelegt sind und an ihren Enden die Metallschalen D, welche von gleichem Gewicht sind, tragen. Zur Feststellung des Reibungskoeffizienten wird die dem Schlitten gegenüber befindliche Metallschale so lange mit Schrot belastet, bis erstere in Bewegung kommt und sich über die Bodenoberfläche gleichmäßig fortbewegt. Der Weg beträgt in allen Versuchen 0,9 m; die Zeit wird mittelst einer Sekundenuhr gemessen.

Da die Reibung von dem Druck senkrecht gegen die Unterlage abhängig ist, wurde behufs Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten in allen Versuchen den Platten das gleiche Gewicht (614 gr) gegeben.

Die Bodenarten wurden sowohl im trockenen als im feuchten Zustande verwendet und zwar in folgender Weise. Die mit dem Boden

gleichmäßig gefüllten Gefäße (A) wurden auf eine Wasseroberfläche gestellt, bis der Boden kapillar mit Wasser gesättigt war.

In diesem Feuchtigkeitszustande ließen sich die Versuche nicht ausführen, weil der Boden bei dem Hingleiten der Schlitten die mannigfachsten Veränderungen erfuhr. Es wurden daher die Gefäße, nachdem sie von der Wasseroberfläche entfernt worden waren, zum Abtrocknen des Bodens aufgestellt. Während der Abtrocknung wurden die bei einigen Bodenarten auftretenden Risse mit Hilfe einer Glasplatte beseitigt und dabei für eine vollständige Ebnung der Oberfläche Sorge getragen. Sobald ein mittlerer Feuchtigkeitszustand eingetreten war, wurden die Reibungsversuche vorgenommen. Alsdann wurden die Gefäße zu weiterer Abtrocknung des Erdreiches aufgestellt, bis die Oberfläche vollständig trocken war, worauf eine neue Reihe von Versuchen zur Ausführung gebracht wurde.

Die Koeffizienten für die Reibung der Bewegung lassen sich mit Hilfe der Zeit t berechnen, welche der Schlitten braucht, um den Weg s zu durchlaufen. Bezeichnet man die unter vorliegenden Verhältnissen entstehende gleichförmige Beschleunigung der Bewegung mit c , so ist der zurückgelegte Weg:

$$1) s = \frac{1}{2} ct^2.$$

Die bewegende Kraft ist gleich dem Gewichte P , welches zum Fortziehen des Schlittens nothwendig ist, vermindert um die Reibung des horizontal fortgezogenen Gewichts G des Schlittens. Die Reibung selbst, welche bekanntlich dem Gewichte proportional ist, ist $= \varphi \cdot G$. Demnach ist die bewegende Kraft $= P - \varphi \cdot G$. Die bewegte Masse ist gleich $\frac{P + G}{g}$, worin g die Acceleration der Schwere (9,81 M.)

bedeutet. Nun ist stets Beschleunigung gleich $\frac{\text{Kraft}}{\text{Masse}}$ und demnach

$$2) c = \frac{P - \varphi G}{\left(\frac{P + G}{g}\right)}$$

Aus 1 und 2 folgt:

$$\frac{2s}{t^2} = c = \frac{(P - \varphi G) \cdot g}{P + G}$$

$$\frac{(P + G) \cdot 2s}{gt^2} = P - \varphi \cdot G$$

$$\text{Also } \varphi = \frac{P}{G} - \frac{P + G}{G} \cdot \frac{2s}{gt^2}.$$

Nach dieser Formel wurden die in der nachstehenden Tabelle übersichtlich zusammengestellten Reibungskoeffizienten¹⁾ berechnet.

a. Verschiedene Feinheit der Bodentheilchen.

Quarzsand I: 0,010—0,071 mm.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.				Trocken.			
	P. gr	t.	Reibungs- koeffizient		P. gr	t.	Reibungs- koeffizient	
			einzel.	Mittel.			einzel.	Mittel.
Stahl, polirt	560	2	0,826	0,825	277	2	0,386	0,383
	529	3	0,824		251	3	0,380	
Stahl, gerostet	538	2	0,792	0,793	386	2	0,546	0,548
	510	3	0,794		357	3	0,550	
Holz	550	2	0,810	0,812	408	2	0,590	0,586
	523	3	0,814		378	3	0,582	

Quarzsand II: 0,071—0,114 mm.

Stahl, polirt	346	2	0,493	0,4950	295	2	0,414	0,4125
	324	3	0,497		269	3	0,411	
Stahl, gerostet	465	2	0,678	0,6745	420	2	0,609	0,6065
	443	3	0,671		391	3	0,604	
Holz	505	2	0,762	0,7550	438	2	0,637	0,6340
	487	3	0,758		410	3	0,631	

Quarzsand III: 0,114—0,171 mm.

Stahl, polirt	340	2	0,484	0,4840	301	2	0,423	0,4220
	316	3	0,484		283	3	0,421	
Stahl, gerostet	460	2	0,671	0,6715	432	2	0,627	0,6240
	434	3	0,672		402	3	0,621	
Holz	480	2	0,701	0,7005	447	2	0,651	0,6450
	451	3	0,700		419	3	0,649	

Quarzsand IV: 0,171—0,250 mm.

Stahl, polirt	316	2	0,445	0,4445	310	2	0,437	0,4335
	291	3	0,444		282	3	0,430	
Stahl, gerostet	435	2	0,633	0,6350	434	2	0,630	0,6290
	402	4	0,637		406	3	0,628	
Holz	432	3	0,669	0,6710	458	2	0,667	0,6655
	425	4	0,673		423	3	0,664	

¹⁾ Bei den Kornsortimenten V—VII des Quarzsandes ließen sich die Versuche im trockenen Zustande wegen Zusammenhäufens des Materials vor dem Schlitten nicht ausführen.

Quarzsand V: 0,250—0,500 mm.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.				Trocken.			
	P.	t.	Reibungs- koeffizient		P.	t.	Reibungs- koeffizient	
			einzel.	Mittel.			einzel.	Mittel.
gr				gr				
Stahl, polirt	257	2	0,354	0,3540	—	—	—	—
	240	3	0,354		—	—	—	—
Stahl, gerostet	407	2	0,598	0,5965	—	—	—	—
	385	3	0,595		—	—	—	—
Holz	493	2	0,603	0,6020	—	—	—	—
	380	4	0,601		—	—	—	—

Quarzsand VI: 0,500—1,000 mm.

Stahl, polirt	246	2	0,349	0,3475	—	—	—	—
	230	3	0,346		—	—	—	—
Stahl, gerostet	361	2	0,532	0,5320	—	—	—	—
	340	3	0,532		—	—	—	—
Holz	396	2	0,561	0,5650	—	—	—	—
	366	4	0,569		—	—	—	—

Quarzsand VII: 1,000—2,000 mm.

Stahl, polirt	230	2	0,328	0,3295	—	—	—	—
	220	3	0,331		—	—	—	—
Stahl, gerostet	377	2	0,450	0,4447	—	—	—	—
	345	4	0,444		—	—	—	—
Holz	361	3	0,556	0,5575	—	—	—	—
	394	4	0,559		—	—	—	—

Quarzsand I—VII: 0,010—2,000.

Stahl, polirt	365	2	0,523	0,5260	317	2	0,446	0,4445
	344	3	0,529		290	3	0,443	
Stahl, gerostet	380	2	0,558	0,5585	330	2	0,468	0,4710
	348	4	0,559		310	3	0,474	
Holz	392	3	0,606	0,6035	365	2	0,523	0,5205
	380	4	0,601		337	3	0,518	

Kalksand I: 0,010—0,071 mm.

Stahl, polirt	504	2	0,739	0,7395	255	2	0,347	0,3495
	476	3	0,740		233	3	0,352	
Stahl, gerostet	530	2	0,778	0,7765	314	2	0,444	0,4425
	498	3	0,775		289	3	0,441	
Holz	550	2	0,810	0,8100	314	3	0,481	0,4800
	520	3	0,810		304	4	0,479	

Kalksand II: 0,071—0,114 mm.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.				Trocken.			
	P.	t.	Reibungs- koeffizient		P.	t.	Reibungs- koeffizient	
			einzel.	Mittel.			einzel.	Mittel.
gr				gr				
Stahl, polirt	481	2	0,703	0,7040	264	3	0,401	0,3990
	454	3	0,705		253	4	0,397	
Stahl, gerostet	500	2	0,731	0,7305	340	3	0,522	0,5230
	470	3	0,730		332	4	0,524	
Holz	536	2	0,782	0,7830	351	3	0,540	0,5420
	505	3	0,784		345	4	0,544	

Kalksand III: 0,114—0,171.

Stahl, polirt	470	2	0,636	0,6850	310	2	0,437	0,4350
	441	3	0,634		284	3	0,433	
Stahl, gerostet	490	2	0,718	0,7205	348	3	0,535	0,5360
	450	4	0,723		340	4	0,537	
Holz	500	2	0,730	0,7275	368	3	0,568	0,5675
	458	4	0,725		359	4	0,567	

Kalksand IV: 0,171—0,250 mm.

Stahl, polirt	340	3	0,522	0,5215	318	2	0,449	0,4465
	330	4	0,521		297	3	0,444	
Stahl, gerostet	398	2	0,630	0,6320	355	3	0,545	0,5440
	410	3	0,634		344	4	0,543	
Holz	446	2	0,649	0,6460	398	2	0,574	0,5715
	406	4	0,643		360	4	0,569	

Kalksand I—IV: 0,010—0,250 mm.

Stahl, polirt	440	2	0,639	0,6345	278	2	0,387	0,3835
	407	3	0,630		251	3	0,380	
Stahl, gerostet	478	2	0,690	0,6940	343	2	0,488	0,4850
	450	3	0,696		315	3	0,482	
Holz	488	2	0,714	0,7110	360	2	0,505	0,5075
	456	3	0,708		332	3	0,510	

b. Verschiedene Struktur.

Lehm, pulverförmig.

Stahl, polirt	372	2	0,533	0,5310	450	2	0,469	0,4700
	344	3	0,529		412	3	0,471	
Stahl, gerostet	470	2	0,686	0,6825	342	2	0,487	0,4840
	436	3	0,679		315	3	0,481	
Holz	434	2	0,630	0,6230	355	2	0,507	0,5035
	405	3	0,626		326	3	0,500	

Lehm, krümelig.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.				Trocken.			
	P. gr	t.	Reibungs- koeffizient		P. gr	t.	Reibungs- koeffizient	
			einzel.	Mittel.			einzel.	Mittel.
Stahl, polirt	335	2	0,474	0,4715	260	2	0,359	0,3565
	306	3	0,469		234	3	0,354	
Stahl, gerostet	429	2	0,624	0,6210	400	2	0,577	0,5750
	430	3	0,618		372	3	0,573	
Holz	392	2	0,565	0,5630	455	2	0,663	0,6560
	364	3	0,561		419	3	0,649	

c. Verschiedene Böden.

Kaolin.

Stahl, polirt	311	2	0,437	0,4335	240	2	0,330	0,3320
	282	3	0,430		222	3	0,334	
Stahl, gerostet	340	2	0,433	0,4790	293	2	0,411	0,4085
	312	3	0,475		267	3	0,406	
Holz	370	2	0,530	0,5345	301	2	0,423	0,4195
	350	3	0,539		273	3	0,416	

 $\frac{2}{3}$ Vol. Kaolin + $\frac{1}{3}$ Vol. Torf.

Stahl, polirt	319	2	0,451	0,4495	255	2	0,352	0,3495
	293	3	0,448		230	3	0,347	
Stahl, gerostet	365	2	0,523	0,5190	304	2	0,428	0,4255
	336	3	0,515		278	3	0,423	
Holz	424	2	0,614	0,6125	312	2	0,441	0,4455
	397	3	0,611		294	3	0,450	

 $\frac{1}{3}$ Vol. Kaolin + $\frac{2}{3}$ Vol. Torf.

Stahl, polirt	338	2	0,481	0,4850	273	2	0,379	0,3755
	319	3	0,489		246	3	0,372	
Stahl, gerostet	386	2	0,554	0,5545	311	2	0,439	0,4350
	360	3	0,555		283	3	0,431	
Holz	465	2	0,678	0,6770	330	2	0,468	0,4695
	436	3	0,676		301	3	0,471	

Torf.

Stahl, polirt	450	2	0,655	0,6545	282	2	0,394	0,3930
	422	3	0,654		258	3	0,392	
Stahl, gerostet	391	2	0,563	0,5640	325	2	0,462	0,4605
	364	3	0,565		300	3	0,459	
Holz	360	2	0,515	0,5110	340	2	0,484	0,4810
	330	3	0,507		312	3	0,478	

 $\frac{2}{3}$ Vol. Torf + $\frac{1}{3}$ Vol. Quarz.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.				Trocken.			
	P. gr	t.	Reibungs- Koeffizient		P. gr	t.	Reibungs- Koeffizient	
			einzel.	Mittel.			einzel.	Mittel.
Stahl, polirt	500	2	0,733	0,7305	280	2	0,391	0,3875
	469	3	0,728		254	3	0,384	
Stahl, gerostet	450	2	0,655	0,6530	369	2	0,528	0,5250
	419	3	0,651		340	3	0,522	
Holz	415	2	0,600	0,5975	385	2	0,554	0,5505
	383	3	0,595		355	3	0,547	

 $\frac{1}{3}$ Vol. Torf + $\frac{2}{3}$ Vol. Quarz.

Stahl, polirt	538	2	0,792	0,7930	256	2	0,353	0,3510
	510	3	0,794		231	3	0,349	
Stahl, gerostet	492	2	0,720	0,7175	377	2	0,538	0,5390
	460	3	0,715		351	3	0,540	
Holz	462	2	0,675	0,6750	395	2	0,570	0,5690
	435	3	0,675		369	3	0,568	

Quarz.

Stahl, polirt	560	2	0,826	0,8250	277	2	0,336	0,3380
	529	3	0,824		251	3	0,330	
Stahl, gerostet	538	2	0,792	0,7930	386	2	0,546	0,5480
	510	3	0,794		357	3	0,550	
Holz	550	2	0,810	0,8120	408	2	0,590	0,5860
	523	3	0,814		378	3	0,582	

 $\frac{2}{3}$ Vol. Quarz + $\frac{1}{3}$ Vol. Kaolin.

Stahl, polirt	530	2	0,780	0,7780	262	2	0,364	0,3605
	500	3	0,776		236	3	0,357	
Stahl, gerostet	500	2	0,733	0,7315	352	2	0,503	0,5035
	470	3	0,730		328	3	0,504	
Holz	520	2	0,763	0,7620	371	2	0,532	0,5290
	489	3	0,761		342	3	0,526	

 $\frac{1}{3}$ Vol. Quarz + $\frac{2}{3}$ Vol. Kaolin.

Stahl, polirt	417	2	0,604	0,6025	249	2	0,342	0,3405
	389	3	0,601		225	3	0,339	
Stahl, gerostet	403	2	0,582	0,5830	330	2	0,468	0,4660
	380	3	0,584		303	3	0,464	
Holz	441	2	0,631	0,6325	342	2	0,487	0,4850
	410	3	0,634		315	3	0,483	

Zusammenstellung der Resultate.

Quarzsand.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.							Trocken.					
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	I-VII.	I.	II.	III.	IV.	I-IV.
Stahl, polirt.	0,825	0,4950	0,4840	0,4445	0,3540	0,3475	0,3295	0,5260	0,888	0,4125	0,4220	0,4335	0,4445
Stahl, gerostet	0,793	0,6745	0,6715	0,6350	0,5965	0,5320	0,4447	0,5585	0,548	0,6065	0,6240	0,6290	0,4710
Holz	0,812	0,7750	0,7005	0,6710	0,6020	0,5650	0,5575	0,6035	0,586	0,6340	0,6450	0,6655	0,5203

Kalksand.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.					Trocken.				
	I.	II.	III.	IV.	I-IV.	I.	II.	III.	IV.	I-IV.
Stahl, polirt .	0,7395	0,7040	0,6850	0,5215	0,6345	0,3495	0,3990	0,4350	0,4465	0,3835
Stahl, gerostet	0,7765	0,7305	0,7205	0,6320	0,6940	0,4425	0,5230	0,5360	0,5440	0,4850
Holz	0,8100	0,7830	0,7275	0,6460	0,7110	0,4800	0,5420	0,5675	0,5715	0,5075

Lehm.

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.		Trocken.	
	pulverförmig.	krümelig.	pulverförmig.	krümelig.
Stahl, polirt	0,5310	0,4715	0,4700	0,3565
Stahl, gerostet	0,6825	0,6210	0,4840	0,5750
Holz	0,6280	0,5630	0,5035	0,6560

Beschaffenheit des Materials.	Feucht.									
	Kaolin.	$\frac{2}{3}$ Kaolin. $\frac{1}{3}$ Torf.	$\frac{1}{2}$ Kaolin. $\frac{1}{2}$ Torf.	Torf.	$\frac{2}{3}$ Torf. $\frac{1}{3}$ Quarz.	$\frac{1}{3}$ Torf. $\frac{2}{3}$ Quarz.	Quarz.	$\frac{2}{3}$ Quarz. $\frac{1}{3}$ Kaolin.	$\frac{1}{3}$ Quarz. $\frac{2}{3}$ Kaolin.	
Stahl, polirt .	0,4335	0,4495	0,4350	0,6545	0,7305	0,7930	0,8250	0,7780	0,6025	
Stahl, gerostet	0,4790	0,5190	0,5545	0,5640	0,6530	0,7175	0,7930	0,7315	0,5830	
Holz	0,5345	0,6125	0,6770	0,5110	0,5975	0,6750	0,8120	0,7620	0,6325	

Trocken.

Stahl, polirt .	0,3320	0,3495	0,3755	0,3930	0,3875	0,3510	0,3880	0,3605	0,3405
Stahl, gerostet	0,4085	0,4255	0,4350	0,4605	0,5250	0,5390	0,5480	0,5035	0,4660
Holz	0,4195	0,4455	0,4695	0,4810	0,5505	0,5690	0,5860	0,5290	0,4850

Aus den mitgetheilten Zahlen ergibt sich:

1. daß der bei der mechanischen Bearbeitung des Bodens an den Ackerwerkzeugen entstehende Reibungswiderstand im feuchten Zustande des Bodens um so größer, im trockenen Zustande um so geringer ist, je feiner die Bodentheilehen bei sonst gleicher Beschaffenheit des Erdreichs sind, und daß derselbe bei einem Gemisch verschiedener Kornsortimente einen zwischen den Extremen stehenden mittleren Werth besitzt;
2. daß die Reibung der Ackererde an Holz und Eisen bei pulverförmiger Beschaffenheit größer ist als im krümeligen Zustande der Ackererde, wenn letztere feucht ist, während bei trockenem Materiale sich diese Verhältnisse umgekehrt gestalten;
3. daß der Reibungskoeffizient unter den vorliegenden Bedingungen bei dem Quarz- resp. Kalksand am größten, bei dem Thon am kleinsten ist, während derselbe bei dem Torf einen im Vergleich zu jenen Hauptbodengemengtheilen mittleren Werth annimmt, und daß daher die Reibung der Ackererde an den Werkzeugen mit dem Gehalt der letzteren an Quarz- und Kalksand zunimmt und in dem Maße eine Verminderung erfährt, als die Menge der thonigen Bestandtheile größer ist, ferner, daß bei Gemischen von Thon und Humus der Reibungswiderstand mit Vermehrung des letzteren Bestandtheils wächst, während derselbe bei Gemischen von Quarz und Humus eine der Menge des letzteren entsprechende Verminderung erleidet;
4. daß bei der Reibung der Ackererde an Holz und Eisen der Koeffizient um so niedriger ist, je geringer der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens;
5. daß bei der Reibung des Bodens an Holz der hierbei entstehende Widerstand größer ist als in dem Falle, wo die Erde über eiserne Flächen hingleitet, und daß die letzteren im gerosteten Zustande einen beträchtlich höheren Reibungskoeffizienten bedingen als bei polirter Oberfläche.

Die Ursachen der in diesen Versuchen hervorgetretenen Gesetzmäßigkeiten dürften sich mangels Kenntniß der näheren Beschaffenheit der Bodenoberfläche nur schwer ausfindig machen lassen. Der Umstand, daß der Reibungskoeffizient bei allen Bodenarten mit dem Feuchtigkeitsgehalt derselben, und zwar meist in einem beträchtlichen Grade, zunahm, dürfte sich nur unter der Annahme erklären lassen, daß neben der von der Beschaffenheit der Oberfläche des Bodens und derjenigen der darüber fortgeführten Platten abhängigen Reibung auch die Wirkungen der Adhäsion sich geltend machen.

Für die Richtigkeit dieser Vermuthung scheinen mir besonders die bei den verschiedenen Kornsortimenten des Quarz- und Kalksandess ermittelten Werthe zu sprechen. Bei diesen Bodenarten war die Reibung im trockenen Zustande derselben um so größer, je gröber die Bodentheilchen waren, während dieselbe bei feuchter Beschaffenheit des Materials mit der Feinheit der Bodenpartikel zunahm. Erstere Gesetzmäßigkeit dürfte sich dadurch erklären lassen, daß die Bodenoberfläche um so rauher ist, je gröber das Korn, weil die Gestalt der Bodenelemente in demselben Sinne um so unregelmäßiger ist und um so mehr von der runden Gestalt abweicht. Wenn nun bei feuchter Beschaffenheit die Werthe für die Reibung in entgegengesetzter Richtung ausfallen, so muß dies insofern überraschen, als man a priori annehmen muß, daß mit steigender Wasserkapazität des Bodens, d. i. bei Zunahme der Feinheit der Bodentheilchen, die Glätte der Oberfläche und damit die Reibung eine stetige Verminderung erfahren werde. Da dies nicht der Fall ist, und im Gegentheil unter solchen Verhältnissen der Reibungswiderstand mit der Feinheit des Kornes wächst, so wird angenommen werden müssen, daß unter vorliegenden Verhältnissen die Adhäsion mitbedingend für die erhaltenen Resultate war. Letzterer Annahme könnte die Thatsache entgegengestellt werden, daß der Thon und die thonreichen Gemische einen höheren, und nicht, wie nachgewiesen, einen niedrigeren Reibungskoeffizienten hätten aufweisen müssen, weil nach den in Abschnitt I mitgetheilten Versuchsergebnissen die Adhäsion an Holz und Eisen viel stärker war als bei dem Sande. Wenn es nun auch wahrscheinlich ist, daß bei höheren als bei den hier angewendeten Feuchtigkeitsmengen die Resultate in dieser Weise ausgefallen wären, so ist dies doch bei mittlerem Feuchtigkeitsgehalt nicht der Fall, und es deutet dieser Um-

stand darauf hin, daß bei dem Thon im mäßig feuchten Zustande der Einfluß der Adhäsion gegenüber gewissen Eigenthümlichkeiten in der Beschaffenheit dieser Bodenart zurücktrat. Zu letzteren ist besonders die fettartige Beschaffenheit fraglichen Hauptbodengemengtheiles zu rechnen, welche, wenn derselbe trocken oder mäßig feucht ist, sich leicht durch das Gefühl bei dem Zerdrücken zwischen den Fingern wahrnehmen läßt, und welche bedingt, daß die Bodenoberfläche nach der Ebnung verhältnißmäßig sehr glatt erscheint.

In Rücksicht auf das Material der über den Boden fortgeführten Platten läßt sich erkennen, daß die Rauheit ihrer Flächen von maßgebendem Einfluß unter sonst gleichen Verhältnissen für den Betrag der Reibung ist. Bei Anwendung von Holz, welches unter den benützten Materialien die rauheste Oberfläche besaß, stellte sich der Reibungskoeffizient am höchsten, dann folgte die gerostete Stahlplatte, während das polirte Metall, also dasjenige mit glattester Oberfläche, die geringste Reibung hervorrief.

Angesichts der bezüglichlichen, meist ziemlich beträchtlichen Unterschiede muß der Ersatz des Holzes durch Eisen bei der Konstruktion der Werkzeuge der Bodenbearbeitungs-Instrumente als ein Fortschritt betrachtet werden und das Poliren der betreffenden Theile und die Erhaltung derselben in diesem Zustande als ein großer Vortheil in praktischer Hinsicht erscheinen.

