

Als Manuskript gedruckt.

Wissenschaftliche Beilage zu Nr. 2, Jahrg. 5 des „Deutschen Kulturpioniers“,
Nachrichten aus der Deutschen Kolonialschule Wikenhausen—Wilhelmshof.

Kaffeeböden von Finca Covadonga (Mexiko).

von Professor Dr. M. Fesca und Dr. R. Ganne*).

Von Herrn P. Furbach, Besitzer und Leiter der Kaffeepflanzung Finca Covadonga der Herren Furbach & Dieze in Mexiko, wurde uns eine Anzahl Böden dieser Pflanzung zur Begutachtung eingesandt, welche im Laboratorium der Deutschen Kolonialschule von uns untersucht wurden.

Nach den Mitteilungen des Herrn F. liegt die Pflanzung auf stark gebrochenem Terrain in etwa 1000 bis 1500 m Meereshöhe, womit ja die obere Höhengrenze des Kaffeebau erreicht ist; das Klima ist immerhin als ein im allgemeinen dem Anbau des arabischen Kaffeebaumes recht günstiges zu bezeichnen. Nach den Angaben des Herrn F. betragen die Temperaturmittel Morgens und Abends etwa 19 °C, Mittags 27.5 °C und Nachts 12.5 °C, danach berechnet sich das Tagesmittel auf 19.5 °C**). Während des Jahres 1903 fielen 435,5 cm, 1904 fielen 388,32 cm Regen, welche sich der Hauptmasse nach auf fast acht Monate verteilen; es setzt der Regen dann täglich zwischen 10 bis 12 Uhr Vormittags ein, zuweilen regnet es auch während der Nacht. Die trockenere Jahreszeit dauert demnach etwa vier Monate; es ist sowohl die Regenmenge wie die Verteilung des Regens dem Kaffeebau recht günstig. Ungünstig sind freilich die daselbst häufig auftretenden Nebel, welche sich in den Hochtälern festsetzen, besonders dadurch, daß sie die Entwicklung parasitischer Pilze fördern, wie sich das auch in Covadonga gezeigt hat. Fällen der Schattenbäume und Entwässerung des Bodens sind zur Bekämpfung der Pilzkrankheiten richtige Mittel, die man dort auch in Anwendung brachte; auch zeitweises Bespritzen der Bäume mit bordelaiser Brühe dürfte sich event. empfehlen. Dichte Beschattung ist unter den vorliegenden klimatischen Verhältnissen wohl durchweg zu vermeiden; ob in einzelnen Parzellen die Kaffeebäume ohne jeden Schatten zu ziehen sind, ist durch Versuche festzustellen.

Der Boden der Pflanzung ist vulkanischen Ursprungs; im Oktober 1902 wurden demselben außerdem dem Vulkane Sa. Maria entstammende vulkanische Aschen und Sande von bimssteinartigem Charakter in ziemlich erheblicher Menge zugeführt, wodurch jedenfalls die Oberkrume nicht unwesentlich verändert wurde.

*) Die ausführliche Veröffentlichung dieser Bodenuntersuchungen in einer Fachzeitschrift ist beabsichtigt.

**) Ein Temperaturmittel von 19 bis 21 °C mit nicht zu großer Amplitude ist für Gedeihen des arabischen Kaffeebaums das günstigste.

In den tiefer eingeschnittenen Hochtälern ist der Boden tiefkrumig und bis zu etwa 1 m Tiefe humusreich, der Boden der Gänge ist umso flachkrumiger und humusärmer, je steiler dieselben sind, und je mehr insolgedessen die feineren Teile der Auswaschung unterliegen. Häufig finden sich daselbst schon in 1 Fuß Tiefe Lehmsteine, von den Eingeborenen „Tescal“ genannt, von solcher Härte, daß sie sich behauen lassen, und zum Bau von Kanälen und Mauern Verwendung finden. Derartige Verkittungen loser Bodenmassen zu festem Gestein gehören in vielen Ortschaften der Tropen sowie der Subtropen nicht gerade zu den Seltenheiten.

Zur Untersuchung wurden uns von fünf Stellen entnommene Bodenproben der Oberkrume und des Untergrundes eingesandt. Die Proben waren nach Märcker's Vorschrift genommen, die Oberkrumen bis zu 1 Fuß Tiefe, die Untergrunde von 1 bis 2 Fuß Tiefe. Zur Beurteilung des Bodenwertes für eine Kaffeepflanzung ist die Untersuchung des Bodens mindestens bis zu dieser Tiefe dringend geboten, da der ausgewachsene arabische Kaffeebaum eine Pfahlwurzel bis zu 1 m Länge bildet, und daher die Wurzelverbreitung bis zu 0.75 m Tiefe noch eine recht bedeutende ist.

Wir haben die untersuchten Bodenproben den Stellen der Probenahme entsprechend mit den Nummern I bis V, die Oberkrumen mit a, die Untergrunde mit b bezeichnet.

Die Parzellen, denen die Proben entnommen sind, sind seit etwa 15 Jahren mit Kaffee bepflanzt, auf der Probe III entsprechenden Parzelle wurde zwei Jahre als Zwischenkultur zwischen den Baumreihen Mais gebaut. Auf sämtlichen Parzellen, mit Ausnahme der Probe I entsprechenden, ist nach Klärung des Bodens das Holz verbrannt.

Die Erträge sind da, wo der Boden tiefkrumig ist, im ganzen recht befriedigende; einzelne Parzellen, besonders die flachkrumigen lassen jedoch zu wünschen übrig. Durch die Aschenregen sind, wie dies nicht anders zu erwarten war, die Pflanzungen geschädigt; sowohl Kaffeebäume wie Schattenbäume haben gelitten, und auch der Boden zeigte zunächst eine Verschlechterung. Ursache dieser schädigenden Wirkung ist namentlich der Gehalt der Aschen an schwefliger Säure, überhaupt Mineralsäuren und Schwefelwasserstoff. Die Bäume leiden dadurch erheblich und gehen sogar vielfach zu grunde; jedenfalls bedürfen sie einige Zeit, um sich zu erholen; auch die Beseitigung der schädlichen Stoffe aus dem Boden durch chemische Bindung, Oxydation, Auswaschung zc. erfordert längere Zeit, mindestens ein bis zwei Jahre. In den Böden von Covadonga sind die schädlichen Stoffe übrigens bereits beseitigt; sämtliche Bodenproben zeigten keine saure Reaktion.

Der Kulturwert des Bodens ist abhängig: 1. von seiner stofflichen Zusammensetzung, namentlich seinem Gehalte an Pflanzennährstoffen; 2. von seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften, besonders seinem Absorptionsvermögen für Pflanzennährstoffe und seinem Verhalten gegen Wasser und Luft. Außerdem kommt noch

die Lage und die Lagerung des Bodens in Betracht, von denen ja auch seine Eigenschaften wie sein Nährstoffgehalt mehr oder weniger abhängen.

Von diesen leitenden Gesichtspunkten ausgehend sind die Untersuchungen der eingesandten Bodenproben im wesentlichen nach den von Fesca bei der geologischen Reichsanstalt in Tokio (Japan) angewandten Methoden von Nanne ausgeführt. Es wurden die in heißer konzentrierter Salzsäure löslichen Stoffe, einschließlich der im Rückstande durch Kochen mit Soda löslichen Kieselsäure, ferner der Gesamtstickstoff, der Humus, das hygroskopische und chemisch gebundene Wasser bestimmt, mit einer 2½ prozentigen Lösung von neutralem Ammoniumphosphat das Absorptionsvermögen der Böden für Phosphorsäure und Stickstoff, aus welchem sich ja das für Kali annähernd berechnen läßt, und die Wasserkapazität und Durchlüftung der Böden durch direkte Versuche ermittelt.

Zu den Untersuchungen wurden die durch ein Sieb von 2 mm Lochweite geschlagenen Böden im lufttrocknen Zustande verwandt. Größere Gemengteile waren in den so gewonnenen „Feinerden“ nur in geringen Mengen enthalten; es enthalten die Böden %:

	I		II		III		IV		V	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Mineralkörner:										
über 5 mm	—	—	—	—	0.20	0.10	2.50	—	—	—
über 3 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
über 2 mm	0.02	0.02	—	0.09	0.10	4.50	3.20	1.80	3.70	1.10
Summa	0.02	0.02	—	0.09	0.30	4.60	5.70	1.80	3.70	1.10

Die für „Feinboden“ ermittelten Resultate können demnach ohne nennenswerte Fehler ohne weiteres auf Gesamtboden bezogen werden.

Der Nährstoffgehalt.

Den Nährstoffgehalt des Bodens ergänzen und bereichern wir durch Düngung, welche auch in den tropischen Pflanzungen in keinem Falle gänzlich unterlassen werden sollte, zumal durch rationelle Düngung zugleich günstige physikalische Bodeneigenschaften erhalten, ungünstige verbessert werden können.

Ist ein Boden arm an einem oder mehreren Pflanzennährstoffen, so muß, um befriedigende Erträge zu erzielen, der Mangel durch hinreichende Zufuhr des, resp. der fehlenden Nährstoffe in Form von schnell wirkenden, konzentrierten Düngemitteln beseitigt werden; wir bezeichnen diese Art der Düngung als „Produktionsdüngung.“

Enthält der Boden einen hinreichenden Vorrat von Nährstoffen so ist Produktionsdüngung mit konzentrierten Düngemitteln jedenfalls

überflüssig und kann sogar schädlich wirken. Jedoch sollte man dann in jedem Falle möglichst rechtzeitig „Ersatzdüngung“ geben, indem man die mit den Ernten, dem Laubfalle, dem Baumschnitte zc. dem Boden entzogenen Nährstoffe durch Zufuhr von langsam wirkenden, organischen Düngern (Stallmist, Fäkalien, Gründünger, Kompost zc.) ergänzt. Durch derartige Düngemittel werden nicht nur die Nährstoffe den Pflanzen in den ihnen am besten bekömmlichen Formen zugeführt, sondern es wird auch durch Humusbereicherung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens vorteilhaft eingewirkt. Die Unterlassung rechtzeitiger Ersatzdüngung läßt sich daher, wenn sich erst üble Folgen geltend machen, nur sehr schwer, wenn überhaupt, durch Produktionsdüngung gut machen. Besonders im feuchtwarmen Tropenklima ist die Anwendung größerer Mengen konzentrierter Kalisalze, Neskalk, Mergel zc. meist von schädlicher Wirkung, weniger bedenklich ist die Anwendung von Phosphaten.

Es fragt sich nun, welche Nährstoffmengen muß denn ein Boden enthalten, um als arm resp. reich bezeichnet zu werden? Auf Grund der bis dahin vorliegenden Untersuchungen können wir annehmen, daß ein Boden, welcher weniger als 0.1 % Stickstoff oder 0.1 % eines mineralischen Nährstoffes in salzsäurelöslicher Form enthält, als arm an diesem Nährstoffe zu bezeichnen ist; es ist dann Produktionsdüngung geboten. Enthält der Boden aber 0.1 % oder selbst etwas mehr, so kann deshalb die reichliche Zufuhr des betreffenden Nährstoffes doch empfehlenswert sein, besonders soweit es sich um salzsäurelösliche Mineralstoffe handelt, da sich dieselben bezüglich ihrer Aufnahmefähigkeit durch die Pflanzen nicht hinreichend gleichwertig verhalten, wir aber leider keine bessere Methode zur Bestimmung der aufnahmefähigen Nährstoffe besitzen. Werden durch die chemische Analyse derartige „Grenzwerte“ für alle oder einzelne Nährstoffe ermittelt, so kann dieselbe nur als Fingerzeig dienen; und es ist dann durch Düngungsversuche festzustellen, inwieweit die Zufuhr der betreffenden Nährstoffe in konzentrierter Form geboten ist.

Die bei 105 ° C getrockneten Böden enthielten die folgenden Mengen an wichtigen Pflanzennährstoffen in Prozenten:

	I	II	III	IV	V
Die Oberkrume (a).					
Stickstoff	0.712	0.673	0.654	0.587	0.362
Kali	0.175	0.173	0.194	0.168	0.179
Kalk	0.772	0.729	0.137	0.130	0.042
Magnesia	0.475	0.833	0.057	0.113	0.046
Phosphorsäure	0.199	0.171	0.166	0.084	0.060
Der Untergrund (b).					
Stickstoff	0.549	0.209	0.367	0.306	0.184
Kali	0.154	0.177	0.114	0.180	0.155
Kalk	0.385	0.388	0.112	0.099	0.048
Magnesia	0.066	0.152	0.143	0.133	0.061
Phosphorsäure	0.109	0.088	0.053	0.108	0.015

Über das Nährstoffbedürfnis der vorliegenden Böden ist auf Grund unserer Analysen folgendes zu schließen:

1) Stickstoff ist in allen Böden in hinreichender, meist in reichlicher Menge vorhanden; die Zufuhr von Stickstoff in Form von Ammoniak oder Salpetersäure ist nicht nur nutzlos sondern kann leicht in der Weise schädigend wirken, daß dadurch die Reife der Samen verzögert und die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen Krankheiten vermindert wird. Durch Erfsatzdüngung mit organischen Düngern ist jedoch der durch Ernten, Baumschnitt und Laubfall dem Boden entzogene Stickstoff ständig zu ergänzen.

2) Kali ist, wenn auch nicht in überreichen, so doch in hinreichenden Mengen vorhanden; die Anwendung konzentrierter Kalisalze empfiehlt sich nicht, jedoch ist durch Zufuhr organischer Dünger nicht nur voller Kaliertrag zu leisten, sondern möglichst eine allmähliche Bereicherung des Kaligehaltes des Bodens anzustreben; event. kann bei Kompostbereitung etwas Holzasche verwandt werden, welche etwa 10 % Kali, 30 % Kalk und 3,5 % Phosphorsäure enthält.

3) Kalk ist in den Böden I und II reichlich, im Boden III und der Oberkrume IV a in hinreichender Menge enthalten, nur im Untergrunde IV b und im Boden V ist der Kalkgehalt etwas niedrig. Im allgemeinen hat man mit starken Kalkungen und Mergelungen in den Tropen ungünstige Erfahrungen gemacht. In dem trüben Klima der gemäßigten Zone wird durch Kalkung die Aufschließung der Bodennährstoffe vorteilhaft gesteigert, dagegen ist die ausschließende Wirkung des Tropenklimas an sich schon so bedeutend, daß eine weitere Steigerung derselben meist nachteilig wirkt, die Bodenerschöpfung fördert etc. Der Kalk kommt daher nur hinsichtlich seiner direkten Wirkung als Pflanzennährstoff in Betracht, im vorliegenden Falle also nur für den Untergrund IV b und den Boden V, und es dürfte für diesen Zweck die zeitweise, jedoch nicht jährliche Zufuhr von 50 bis 100 kg Kalk pro ha genügen. Die Anwendung gleicher, aber keineswegs größerer Kalkmengen auf hinreichend kalkreichem Boden ist nur dann angezeigt, wenn sich freie Säure im Boden findet, was durch Prüfung mit blauem Lackmuspapier festzustellen ist. Der Kalkgehalt des Bodens kann auch durch Beigabe von Holzasche zum Kompost gesteigert werden, Holzasche, allein angewandt, bindet auch event. vorhandene Bodensäure. Selbstredend wird dem Boden mit den verschiedensten Düngemitteln, ihrem Kalkgehalte entsprechend, auch Kalk zugeführt.

4) Magnesia enthalten die meisten Pflanzen in den vegetativen Organen in geringerer, in den Samen in größerer Menge als Kalk. Das Gleiche ist auch beim Kaffeebaum der Fall, das Kalkbedürfnis desselben ist nach Daxert etwa dreimal so groß wie das Magnesia- bedürfnis, wie das wohl annähernd für die meisten Pflanzen zutreffen mag. In der Neuzeit hat man darauf hingewiesen, daß das richtige Verhältnis des Kalkgehaltes des Bodens zum Magnesiagehalte desselben von Wichtigkeit sei. Böw schließt aus seinen in

Japan angestellten Versuchen, daß für Cerealien das günstigste Verhältnis etwa 1 Kalk: 1 Magnesia, für Gewächse, welche relativ mehr Blattfläche in der gegebenen Zeit entwickeln, 2 bis 3 Kalk: 1 Magnesia sei; in diesbezüglich ungünstig zusammengesetzten Böden hat er durch entsprechende Kalk- resp. Magnesiazufuhr die Erträge bedeutend gesteigert. Mit dem Kaffeebaum sind freilich Versuche in der Richtung noch nicht angestellt, immerhin sind Löw's Versuche auch für den Kaffeebau beachtenswert.

Es verhalten sich nun in unseren Böden die Magnesiagehalte zu den Kalkgehalten wie 1:

I		II		III		IV		V	
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1.52	5.83	0.875	2.55	2.40	0.783	1.150	0.744	0.913	0.786

Einen zu hohen Kalkgehalt im Vergleich zum Magnesiagehalte enthielte demnach nur der Untergrund I b; in dem Untergrunde II b und der Oberkrume III a wäre weitere Kalkanreicherung ohne gleichzeitige Magnesiazufuhr zu vermeiden; Einen Magnesiaüberschuß haben die Böden II a, III b, IV b, V a, und V b, für welche demnach eine mäßige Kalkzufuhr geboten erscheint; in Ia beträgt der Kalkgehalt das 1,5fache des Magnesiagehaltes, in IV a das 1.15fache; es würde diesen Böden demnach eine mäßige Kalkzufuhr nicht schaden. Das Gesagte gilt natürlich nur unter der Annahme, daß die Resultate der von Löw angestellten Versuche auch für den Kaffeebau Gültigkeit haben, was noch nicht erwiesen, aber immerhin der Prüfung wert ist.

Es würden dann für eine versuchsweise Kalkung mit höchstens 100 kg Kalk oder einer entsprechenden Menge Holzasche p. ha besonders die Böden IV und V in Frage kommen. Die Zufuhr von Magnesia, welche nach unseren Analysen nur der Untergrund I b erfordert, ist freilich wohl in exotischen Ländern zumeist schwer zu beschaffen, wenn nicht Magnesit in der Nähe zu haben ist; die Anwendung von Staßfurter Salzen (Kainit, Carnallit oder schwefelsaure Kali-Magnesia) dürften die hohen Transportkosten häufig ausschließen. Auf magnesiaarmen Böden sollte man anstatt Kalk Dolomit anwenden, falls solcher zur Disposition steht. Mit Holzasche führt man dem Boden auf 30 Teile Kalk nur 5 Teile Magnesia zu.

5) Phosphorsäure ist in den meisten unserer Böden in hinreichender, wenn auch nicht überreicher Menge vorhanden. Etwas niedrig ist der Phosphorsäuregehalt im Untergrunde II b, und noch niedriger im Untergrunde III b; auch in der Oberkrume IV a ist derselbe etwas niedrig, und recht niedrig ist er im Boden V. Für diese Böden dürfte sich eine Phosphorsäuredüngung, etwa bis zu 7 g Phosphorsäure pro Baum und Jahr empfehlen. Mit den Phosphaten führt man dem Boden zugleich Kalk und zumeist auch etwas Magnesia zu, und zwar mit den Superphosphaten pro 100 kg Phosphorsäure 38.3 kg Kalk, mit den Dicalciumphosphaten (präcipitierter phosphorsaurer Kalk) pro 100 kg citratlöslicher

Phosphorsäure 78.8 kg Kalk, und mit dem schwerer löslichen Tricalciumphosphat pro 100 kg Phosphorsäure 118.3 kg Kalk. Das Thomasphosphat enthält im Mittel 17.5 % Phosphorsäure, 48.3 % Kalk, 4.9 % Magnesia, pro 100 Phosphorsäure also 276 Kalk und 28 Magnesia, das rohe Knochenmehl etwa 21.0 % Phosphorsäure, 31.3 % Kalk, 1.0 Magnesia, pro 100 Phosphorsäure demnach 149 Kalk und 4.8 Magnesia. Vielleicht bewährt sich auch die Düngung mit 2 Doppelzentner Holzasche p. ha, wodurch dem Boden 7 kg Phosphorsäure, 20 kg Kali, 60 kg Kalk und 10 kg Magnesia zugeführt werden. Die Holzasche ist am besten mit Laub, Kaffeefruchtschalen, überhaupt organischen Materialien und Boden zu kompostieren.

Es ist demnach für Stickstoff und Kali auf allen von uns untersuchten Böden Ersatzdüngung genügend. Die zum Ersatz der entzogenen Nährstoffe erforderlichen Mengen sind nicht sehr bedeutend, wenn es sich nur um die in den Samen (Bohnen) enthaltenen Mengen handelt. In 100 Gewichtsteilen sind enthalten:

Pergamentkaffee: 1.47 Stickstoff, 1.349 Kali, 0.139 Kalk, 0.219 Magnesia, 0.260 Phosphorsäure.

Marktkaffee: 2.00 Stickstoff, 1.788 Kali, 0.147 Kalk, 0.300 Magnesia, 0.402 Phosphorsäure.

Guter, mäßig verrotteter Stallmist enthält pro kg: 5 g Stickstoff, 6.3 g Kali, 7.0 g Kalk, 1.8 g Magnesia, 2.6 g Phosphorsäure.

Es genügt demnach $\frac{1}{2}$ kg guter Stallmist vollständig zum Ersatz der von 100 g Marktkaffee entzogenen Nährstoffe; allerdings nur unter der Voraussetzung, daß die Fruchtschalen, der Laubfall, und der Abfall beim Baumschnitt dem Boden wieder einverleibt werden. Die Fruchtschalen machen etwa 40 %, der gewonnene Marktkaffee im Mittel etwa 20 % vom Gewichte der Frucht aus; 25 bis 30 % und mehr sind Fruchtfleisch, Pergamenthäutchen zc., welche bei der Aufbereitung der Ernte verloren gehen. Der Laubfall dürfte im Mittel mindestens 100 g halbtrockne Blätter betragen. Nach John Hughes enthalten %:

	Stickstoff,	Kali,	Kalk,	Magnesia,	Phosphorsäure,
Fruchtschalen:	0.33	0.874	0.184	0.037	0.084
halbtrockne Blätter:	2.672	2.078	1.689	0.919	0.352

Verluste an Abfällen lassen sich nicht ganz vermeiden; schon deswegen sollte der Ersatz der mit den verkauften Ernteprodukten entzogenen Nährstoffe ein reichlicher sein. Zu reichliche Stickstoffzufuhr sollte man jedoch um so mehr vermeiden, je reicher der Boden an Stickstoff ist, und je mehr Leguminosen man als Schattenbäume gepflanzt hat, da ja die Leguminosen, jedoch nicht die anderen Familien angehörigen Schattenbäume, durch ihre Symbiose mit Bakterien, welche sich an ihren Wurzeln bilden, freien Stickstoff aus der Luft in gebundene Form überführen, und so den Boden an Stickstoff bereichern.

Gebundener Stickstoff gelangt auch aus der Luft mit dem Regen in den Boden, allerdings in wechselnden Mengen, im Mittel etwa 10 bis 12 kg p. ha und Jahr. Auch machen es neuere Untersuchungen wahrscheinlich, daß sich im Boden wohl stets stickstoffammelnde Bakterien finden, und zwar in umso größerer Zahl, je humusreicher der Boden ist. Durch Zufuhr von humusbildendem Materiale, also von organischen Düngern, wird demnach der Boden noch mehr an Stickstoff bereichert als dem Gehalte dieser Dünger an Stickstoff entspricht.

Der Humusgehalt.

Wir fanden in unseren Böden die folgenden Humusgehalte in %:

I a	12.523	II a	11.283	III a	10.983	IV a	8.094	V a	5.480
b	6.145	b	4.951	b	5.189	b	4.246	b	2.388

Wir bezeichnen einen Boden, welcher 5 bis 10 % Humus enthält als „humos“, einen solchen, welcher 10 bis 15 % Humus enthält, als „humusreich“, einen Boden mit noch höherem Humusgehalte als „humusüberreich“.

Die Steigerung des Humusgehaltes über 15 % hinaus kann wegen zu starken Zurücktretens der Mineralstoffe nachteilig wirken, dagegen ist ein Humusgehalt bis zu 15 % besonders für den Kaffeebaum, welcher einen humusreichen Boden liebt, jedenfalls erwünscht. Eine Steigerung des Humusgehaltes durch organische Dünger ist daher auf sämtlichen von uns untersuchten Böden unbedenklich; als „humusarm“ ist freilich nur der Untergrund V b, vielleicht auch der IV b zu bezeichnen.

Die günstige Wirkung der Humussubstanzen beruht ja außer in der direkten und indirekten Stickstoffbereicherung des Bodens in ihrer bodenausschließenden Tätigkeit; die Basen (Kali, Kalk, Magnesia) werden in Humate und wasserhaltige Silikate übergeführt, und bilden so eine bekömmliche Pflanzennahrung; die wasserunlöslichen Phosphate sind in hohem Grade in Humus Säuren löslich, es wird somit Phosphorsäure aus oberen Bodenschichten tieferen Bodenschichten zugeführt. Durch seine ausschließende Tätigkeit sowie durch sein physikalisches Verhalten lockert der Humus den Boden. Besonders ist noch die direkt wie indirekt günstige Wirkung des Humus auf das Absorptionsvermögen des Bodens für Pflanzennährstoffe hervorzuheben.

Das Absorptionsvermögen.

Unter Absorptionsvermögen des Bodens verstehen wir bekanntlich die Fähigkeit desselben Stoffe, welche demselben in Lösung zugeführt werden, zurückzuhalten, so daß sich diese Stoffe nur durch große Wassermengen oder energischer wirkende Lösungsmittel dem

Boden wieder entziehen lassen. Uns interessiert hier nur das Absorptionsvermögen des Bodens für Pflanzennährstoffe. Nicht alle Nährstoffe werden vom Boden absorbiert; von den Basen sind es nur Kali und Ammoniak, welche in größeren Mengen absorbiert werden, verhältnismäßig sehr gering ist das Absorptionsvermögen für Kalk und Magnesia. Die Absorption beruht der Hauptsache nach darauf, daß das in löslicher Form vorhandene Kali resp. Ammoniak in wasserhaltige Silikate eintritt und dafür entsprechende Äquivalente von Natron, Kalk, Magnesia aus diesen Verbindungen austreten; außerdem werden diese Nährstoffe auch noch, freilich in geringerem Grade, von freier wasserhaltiger Kieselsäure, Tonerde und Humussubstanzen absorbiert. Auf die einzelnen, hierbei vor sich gehenden Prozesse kann hier nicht weiter eingegangen werden; es sei nur hervorgehoben, daß es der Hauptsache nach chemische Prozesse sind, auf denen die Absorption der basischen Nährstoffe beruht. Außer den im Boden kaum vorkommenden kaustischen Alkalien sind es nur die Karbonate der Alkalien, welche in geringen Mengen durch Flächenattraktion, also physikalisch, von einzelnen Bodenbestandteilen zurückgehalten werden, größtenteils beruht auch die Absorption der Karbonate auf chemischen Prozessen, wie das bei den Mineralsalzen der Alkalien ausschließlich der Fall ist.

Die Absorption der Phosphorsäure beruht ausschließlich auf chemischen Prozessen, und zwar sind es beständigere, noch schwerer lösliche Verbindungen, welche die Phosphorsäure mit einzelnen Bodenbestandteilen: dem Kalk, der Magnesia, dem Eisen und der Tonerde eingeht, als die Basen mit den früher genannten Bodenbestandteilen bilden. Die übrigen Säuren, welche noch als Pflanzennährstoffe in Betracht kommen, werden vom Boden entweder überhaupt nicht oder nur in sehr geringen Mengen absorbiert. Die salpetersauren Salze sind sämtlich leicht in Wasser löslich; es wird die Salpetersäure, soweit sie nicht von den Wurzeln aufgenommen wird, tieferen Bodenschichten zugeführt und gelangt schließlich in das Grundwasser. Wir sind demnach in der Lage durch Salpeterdüngung der Oberkrume tieferen Bodenschichten Stickstoff zuzuführen, was für tiefwurzelnde Pflanzen auf stickstoffarmen Boden von Bedeutung ist. Für die vorliegenden stickstoffreichen Böden kommt jedoch Salpeterdüngung nicht in Betracht; da Ammoniak sowohl als auch die organischen Stickstoffverbindungen allmählich nitrifiziert, d. h. in Salpetersäure übergeführt werden, so wird auch durch hinreichende Düngung der Oberkrume mit derartigen Stickstoffverbindungen, wie sie sich in Stalldünger, Kompost und Gründünger finden, den tieferen Bodenschichten Stickstoff in genügender Menge zugeführt.

Auch das Chlor bildet mit den im Boden vorkommenden Basen lösliche Salze nicht, und wird daher auch nicht absorbiert. Es ist jedoch das Chlor als Pflanzennährstoff von nur untergeordneter Bedeutung und der Regel nach bei der Düngung überhaupt nicht zu berücksichtigen.

Die Schwefelsäure endlich bildet mit den meisten Basen lösliche Salze; unlöslich in Wasser ist nur der selten im Boden vorkommende schwefelsaure Baryt (Schwerspath), schwer löslich der schwefelsaure Kalk, der Gyps (ein Teil Gyps in 400 bis 500 Teilen Wasser); die Schwefelsäure wird demnach auch nur wenig vom Boden absorbiert. Schwefelsäure ist freilich als Pflanzennährstoff, besonders zur Bildung der Eiweißkörper unentbehrlich, jedoch genügen hierzu geringe Mengen, und es ist dieselbe daher auch bei der Düngung nicht zu berücksichtigen.

Wissen wir nun auch, daß wasserhaltige Silikate, freie wasserhaltige Kieselsäure, Kalk, Magnesia, Eisen, Tonerde wie auch die Humussubstanzen das Absorptionsvermögen des Bodens für Pflanzennährstoffe bedingen, so gestattet doch der Gehalt des Bodens an diesen Verbindungen soweit wir denselben durch die Analyse ermitteln können, einen hinreichend genauen Schluß auf das Absorptionsvermögen des Bodens nicht. Läßt auch ein hoher Gehalt an diesen Stoffen auf ein hohes Absorptionsvermögen, ein niedriger Gehalt auf ein geringes Absorptionsvermögen schließen, so kann doch ein Boden, welcher dem analytischen Befunde nach ein höheres Absorptionsvermögen besitzen sollte als ein anderer, das Gegenteil zeigen. Es hat dies seinen Grund darin, daß die die Absorption bewirkenden Prozesse recht komplizierter Natur sind, und die durch die Analyse abgetrennten Stoffe sich in dieser Hinsicht keineswegs ganz gleichwertig verhalten.

Es wird sich demnach empfehlen, das Absorptionsvermögen des Bodens direkt zu ermitteln. Freilich lassen sich absolute Werte der Absorptionsgröße nicht feststellen; weil dieselbe je nach der Verbindung, in welcher der zu absorbierende Nährstoff zugeführt wird, je nach der Konzentration der Lösung u. verschieden ist, können nur relative Werte gefunden werden. Im allgemeinen ist die Absorption am größten, wenn die Basen als Carbonate oder als Phosphate zugeführt werden, da von dem phosphorsauren Kali resp. Ammoniak beide, Base und Säure absorbiert werden; von der Basis der übrigen Mineralsalze wird in allgemeinen mehr absorbiert, wenn die ausgetauschte Basis mit der freigewordenen Säure des Alkalisalzes ein unlösliches Salz bildet, als wenn sie mit derselben ein lösliches Salz bildet. Es kann jedoch auf diese Fragen hier nicht weiter eingegangen werden.

Wir haben zur Ermittlung des Absorptionsvermögens unsere Böden mit dem doppelten Volumen einer 2 $\frac{1}{2}$ prozentigen Lösung von neutralem Ammoniumphosphat 24 Stunden bei Zimmertemperatur im geschlossenen Kolben digeriert, und aus dem durch Analyse ermittelten Verlust der ursprünglichen Lösung nach der Digestion an Stickstoff und Phosphorsäure die Absorptionscoefficienten*)

*) Als „Absorptionscoefficienten“ bezeichnen wir die Menge in mg, welche von 100 g lufttrockenem Boden absorbiert werden. Die von uns angewandte Lösung enthielt 4.475 g Stickstoff und 15.368 g Phosphorsäure p. l.

berechnet. Die Anwendung von Ammoniumphosphat hat den Vorzug, daß sich die Absorptionsgröße für Ammoniakstickstoff und Phosphorsäure gleichzeitig ermitteln läßt; da nun festgestellt ist, daß die Absorption von Ammoniak und Kali, wenn auch nicht genau, so doch recht annähernd den Äquivalentverhältnissen entsprechend erfolgt, so läßt sich aus der Ammoniakstickstoffabsorption, welche sich leichter bestimmen läßt als die Kaliabsorption die letztere annähernd berechnen. (28 Ammoniakstickstoff = 94 Kali; also 1 Stickstoff = 3.357 Kali).

Es wurden folgende Absorptionscoefficienten gefunden:

	I		II		III	
	a	b	a	b	a	b
Stickstoff	610.7	632.3	680.8	617.7	642.2	645.8
Kali (berechnet)	2054.5	2127.2	2290.4	2078.3	2160.5	2173.4
Phosphorsäure	2356.6	2412.1	2680.4	2642.4	2598.4	2637.9

	IV		V	
	a	b	a	b
Stickstoff	540.4	508.3	379.0	459.8
Kali (berechnet)	1818.1	1711.8	1275.1	1547.1
Phosphorsäure	1866.6	1945.8	1348.3	1941.2

Das Absorptionsvermögen der tropischen Böden, deren chemische Zersetzung weit mehr vorgeschritten ist als die der Böden der gemäßigten Zone, ist dementsprechend zumeist auch ein weit höheres, das der vorliegenden Böden ist ein sehr hohes; in Böden des subtropischen Japan wurde relativ selten ein Absorptionscoefficient von 200 Stickstoff (entsprechend 678 Kali) und mehr, und von 400 Phosphorsäure oder gar mehr bei gleicher Untersuchungsmethode gefunden.

Man wird demnach den Bäumen die für zwei bis drei Jahre berechnete Düngermenge auf einmal geben können, ohne Verlust an Nährstoffen befürchten zu müssen, wodurch ja an Arbeit bedeutend gespart wird. Eine zweijährliche Düngung dürfte vor der jährlichen sogar den Vorzug verdienen, weil dadurch die Nährstoffzufuhr zu den tieferen Bodenschichten besser bewirkt wird.

Wassercapazität und Durchlüftung.

Von den physikalischen Eigenschaften des Bodens ist sein Verhalten gegen Wasser und Luft von der größten Bedeutung für das Pflanzenwachstum. Die Pflanzen vermögen die Bodennährstoffe nur in sehr verdünnter Lösung durch die Wurzeln aufzunehmen, das überschüssige Wasser verdunstet durch die zahlreichen Spaltöffnungen, mit denen die grünen Pflanzenteile, namentlich die Blätter, versehen sind; im Mittel ist zur Bildung von einem Gewichtsteile trockener Pflanzenmasse die Aufnahme von etwa 300 Gewichtsteilen Wasser erforderlich. Hieraus ergibt sich, daß eine hohe

Wassercapacität, d. h. die Fähigkeit des Bodens, große Mengen des durch Regen ihm zugeführten Wassers capillar festzuhalten, eine umso wertvollere Bodeneigenschaft ist, je längeren Dürreperioden derselbe ausgelegt ist. Andererseits bedarf der Boden auch einen hinreichenden Gehalt an Luft (Sauerstoff) zum normalen Verlauf der Zersetzungsprozesse der Mineralmassen und organischen Substanzen; auch die Pflanzenwurzeln können zu ihrem Atemungsprozeß die Luft nicht entbehren. Daher ist ein hinreichend hoher Luftgehalt des wassergesättigten Bodens eine um so wertvollere Bodeneigenschaft, je größer der Regenfall und je gleichmäßiger die Verteilung desselben auf das ganze Jahr ist.

Die im Boden sich findenden Hohlräume, die „Bodenporen“, sind von verschiedener Größe; man hat zu unterscheiden zwischen capillaren und nicht capillaren Poren. Die capillaren Poren halten das in den Boden gelangende Wasser fest, sie vermögen auch Grundwasser aus der Tiefe den oberen Bodenschichten zuzuführen; es bedarf längerer Trockenzeiten, ehe der Boden das capillar festgehaltene Wasser durch Verdunstung abgibt. Die größeren, nicht capillaren Poren vermögen Grundwasser nicht zu heben, sie leiten vielmehr das oberirdisch in den Boden gelangende Wasser in die Tiefe und füllen sich mit von der Oberfläche her eindringender Luft. Die Wassercapacität des Bodens wird demnach durch die capillaren, die Durchlässigkeit und Durchlüftung desselben durch die nicht capillaren Poren bedingt.

Wären wir im stande, den Gehalt des Bodens an capillaren und nicht capillaren Poren zu ermitteln, so würde sich hieraus seine Wassercapacität, Durchlässigkeit und Durchlüftung direkt berechnen lassen. Leider ist dies nicht der Fall, wir vermögen nur den Gesamtgehalt des Bodens an Poren zu bestimmen, wir müssen dann durch capillare Sättigung die Wassercapacität, d. h. den Gehalt an capillaren Poren ermitteln; die Differenz zwischen diesen und dem Gesamtporengehalte ergibt die nicht capillaren Poren, also den Luftgehalt des Bodens im wassergesättigten Zustande.

Die Porosität des Kulturbodens ist aber nicht eine absolut constante; der zur Saat resp. zum Bepflanzen frisch gelockerte Boden ist poröser und hat namentlich mehr große, nicht capillare Poren als der nicht gelockerte Boden. Der gelockerte Boden verdichtet sich aber durch seine eigene Schwere, „er setzt sich“ in relativer kurzer Zeit, und die zeitweise Lockerung der oberen Bodenschichten hat in erster Linie den Zweck der besseren Durchlüftung des Bodens. Da der gelockerte Boden weniger an Luftmangel leidet als der gefegte Boden, der Boden sich aber bald verdichtet, so empfiehlt es sich, den gefegten Boden auf seinen Gehalt an Wasser und Luft zu prüfen; es lassen sich auch für gefegten Boden genauere diesbezügliche Werte ermitteln als für lockeren Boden.

Die Porosität des Bodens bestimmt man aus dem spezifischen Gewicht und dem Volumgewichte desselben:

$$\frac{\text{Volumgewicht} \times 100}{\text{specif. Gewicht}} = \text{feste Teile Vol. } \%; 100 - \text{feste}$$

Teile = Poren Vol. %, d. h. cc Poren in 100 cc Boden.

Zur Ermittlung der Wassercapazität und des Luftgehaltes füllt man den Boden in gleicher Dichtigkeit wie bei der Volumgewichtsbestimmung in möglichst weite Glasröhren — wir wenden solche von 5.5 cm Durchmesser und 10 cm Höhe an —, läßt den Boden sich dann capillar voll Wasser saugen und ermittelt die Wassercapazität durch Trocknen desselben bei 105 °C. Durch Subtraktion der Wassercapazität vom Porengehalte erhält man dann den Luftgehalt.

Die Genauigkeit der Ermittlung des Luftgehaltes des Bodens wird freilich dadurch etwas beeinträchtigt, daß der Boden stets quellbare Substanzen (Ton, concretionäre Mineralmassen, Humussubstanzen zc.) enthält, welche durch Wasseraufnahme ihr Volumen etwas vergrößern. Diese Volumenvergrößerung kann zuweilen eine so bedeutende sein, daß die Wassercapazität etwas größer ist als der im lufttrocknen Boden ermittelte Porengehalt, die Rechnung ergibt dann für den Luftgehalt einen negativen Wert (Minuswert). Trotz dieser Ungenauigkeit gestattet jedoch diese Untersuchungsmethode für die Praxis hinreichend genaue Schlüsse zur Beurteilung der Durchlüftung eines Bodens. Wenngleich ein an quellbaren Substanzen so reicher Boden im wassergesättigten Zustande nicht gänzlich luftfrei sein dürfte, so ist doch der Luftgehalt viel zu gering, um Boden und Pflanze hinreichend mit Sauerstoff zu versorgen. In Japan ausgeführte Untersuchungen berechtigen vielmehr zu der Annahme, daß ein Boden, für welchen sich nach dieser Untersuchungsmethode ein Luftgehalt von weniger als 5 % im wassergesättigten Zustande ergibt, an Masse, oder richtiger an Luftmangel leidet.

Die Untersuchung der vorliegenden Böden ergab folgende Resultate:

	I		II		III	
	a	b	a	b	a	b
feste Teile	45.29	47.72	44.45	46.38	41.76	44.76
Poren	54.71	52.28	55.55	53.62	58.24	55.24
Wassercapazität Volum %	32.87	35.65	34.92	34.97	35.14	36.37
Luftgehalt Volum %	21.84	16.63	20.63	18.65	23.10	18.87
	IV		V			
	a	b	a	b		
feste Teile	44.24	45.84	43.73	43.03		
Poren	55.76	54.16	56.27	56.97		
Wassercapazität Volum %	36.39	36.14	36.40	44.26		
Luftgehalt Volum %	19.37	18.02	19.87	12.71		

Ein Kubikmeter Boden enthält im wassergesättigten Zustande Liter:

	I		II		III		IV		V	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Wasser	328.7	356.5	349.2	349.7	351.4	363.7	363.9	361.4	364.0	442.6
Luft	218.4	166.3	206.3	186.5	231.0	188.7	193.7	180.2	198.7	127.1

Der Luftgehalt unserer Böden, auch im wassergesättigten Zustande ist demnach ein recht hoher; die Pflanzen werden nicht durch Luftmangel leiden, wenn für den Abfluß des nicht capillar festgehaltenen Wassers durch Gräben Sorge getragen wird; stauende Masse ist allerdings zu beseitigen, weil sich dann durch den Druck auch die nicht capillaren Poren mit Wasser füllen, und das Eindringen der Luft verhindert wird.

Die Wassercapacität der vorliegenden Böden ist freilich nicht als eine besonders hohe, sondern nur als eine mittlere zu bezeichnen; jedoch ist bei der Regenmenge und Regenverteilung in Finca Covadonga ein soweit gehendes Austrocknen des Bodens nicht zu befürchten, daß die Pflanzen an Wassermangel leiden.

Die in unserem Laboratorium an der Luft getrockneten Böden enthielten hygroskopisches Wasser Volumprocente:

	I		II		III		IV		V	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
	14.85	17.45	16.65	18.94	11.77	14.62	8.86	10.85	7.02	8.92

Die Frage, ob diese im vollständig ausgetrockneten Boden enthaltene Wassermenge, welche, wie aus den Zahlen ersichtlich ist, bei den Böden I und II nahezu bis reichlich die Hälfte, beim Boden III a $\frac{1}{3}$, beim Boden III b $\frac{2}{5}$, beim Boden IV $\frac{1}{4}$ und etwas mehr und beim Boden V $\frac{1}{5}$ der Wassercapacität ausmacht, noch der Wasserversorgung der Pflanzen dienen kann, läßt sich nicht bestimmt beantworten. Abgesehen davon, daß das Ausnahmevermögen der einzelnen Pflanzen für das Wasser ein verschiedenes ist, und jedenfalls in erster Linie von der Bewurzelung abhängt, halten die Böden je nach ihrer Zusammensetzung das hygroskopische Wasser in verschiedenem Grade fest. Das in von feinem Sande gebildeten Capillaren befindliche Wasser wird am leichtesten an die Pflanzen abgegeben, schwerer das in quellbaren Substanzen, im Ton und namentlich im Humus befindliche Wasser. A. v. Liebenberg fand z. B. daß Bohnen bereits verwelkten, wenn der Wassergehalt des Bodens betrug: in mittelfeinem Tertiärsande 0.51 %, in Lehm 10.02 %, in Sandmoorboden 12.49 %. Nach anderen Versuchen wurde das Verwelken der Pflanzen besonders in Moorböden bei noch höherem Wassergehalte konstatiert.

Jedenfalls sind als feststehende Tatsachen hinzustellen, daß die Pflanzen dem Boden nie sein hygroskopisches Wasser vollständig zu entziehen vermögen, daß aber andererseits der höhere Wassergehalt

des lufttrocknen Bodens an sich nicht ein Ausdruck für die reichlichere Wasserversorgung der Pflanzen ist; je reicher der Boden an quellbaren Substanzen, bei einem desto höherem Wassergehalte tritt bereits das Welken der Pflanzen ein. Es ist daher sehr wohl möglich, daß in den humusärmeren Böden IV und V die Pflanzen bei längeren Dürreperioden nicht mehr an Wassermangel leiden als in den humusreicheren Böden I und II trotz ihres höheren Gehaltes an hygroskopischem Wasser.

Das Verwelken der Pflanzen ist aber außerdem auch noch von der Höhe der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig; bei höherer Temperatur und trockner Luft ist mehr Bodenfeuchtigkeit erforderlich, um die Pflanzen vor dem Verwelken zu schützen als bei niederer Temperatur und feuchterer Luft. Auch ist „lufttrockner Boden“ kein eng begrenzter Begriff; je nach der Temperatur und Luftfeuchtigkeit, bei welcher er getrocknet ist, muß sein Gehalt an hygroskopischem Wasser ein etwas verschiedener sein, und es ist fraglich, ob die vorliegenden Böden im feuchten tropischen Gebirgsklima von Finca Covadonga überhaupt soweit austrocknen, als sie in unserem Laboratorium ausgetrocknet sind. Die Menge und Verteilung der Niederschläge daselbst läßt auch ein zu weitgehendes Austrocknen des Bodens kaum befürchten.

Gründliche Lockerung der oberen Bodenschichten, wodurch die capillaren Poren zum großen Teile zerstört und nicht capillare Poren geschaffen werden, schützt übrigens das in den tieferen Bodenschichten capillar festgehaltene Wasser vor Verdunstung, da dann nur ein geringer Teil desselben durch capillarehebung an die Bodenoberfläche gelangt.

Um den Boden physikalisch und chemisch in einem möglichst günstigen Zustand zu versetzen, ist das rechtzeitige Ausheben der Pflanzlöcher in hinreichender Tiefe geboten. Dieselben sollten mindestens 60 cm, besser 1 m tief etwa 6 Monate vor dem Pflanzen ausgeworfen werden; wo sich bis zu 2 m Tiefe verhärteter Boden (Tescal) findet, ist, wenn sich derselbe nicht beseitigen läßt, von dem Pflanzen Abstand zu nehmen, da die Bäume einen lockeren, trocknen Boden bis zu 2 m Tiefe verlangen. Die Pflanzlöcher sind dann 3 bis 4 Wochen vor dem Pflanzen zu füllen, damit der Boden Zeit hat, sich zu setzen. Durch Beimengung von Kompost, Asche, event. etwas gröberem Sande, wo solcher zu haben ist, läßt sich die Füllerde chemisch und physikalisch bessern. Bei steilem Gefälle empfiehlt es sich, unter Anpassung an das Terrain Terrassen herzustellen, auf welchen die Bäume zu pflanzen sind. Um den Boden vor Abwaschung zu schützen, sind die Terrassen nach dem Gange zu aufzudämmen.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Resultate unserer Untersuchungen zusammengestellt.



	I		II		III		IV		V	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Engroskoptisches Wasser (Luftrodner Boden)	16.173	18.160	18.582	19.285	14.133	15.740	9.067	10.465	6.859	8.653
Chemisch gebundenes Wasser	11.073	7.068	10.554	7.254	14.148	7.873	9.961	9.225	8.872	6.974
Humus	12.523	6.145	11.283	4.951	10.983	5.189	8.070	4.246	5.480	2.388
Stickstoff	0.712	0.549	0.673	0.209	0.654	0.367	0.587	0.306	0.362	0.184
In Salzsäure unlösliche Mineralstoffe	29.305	36.397	24.390	31.921	26.332	42.021	39.987	40.612	46.902	57.056
Lösliche Kieselsäure	13.329	12.538	18.281	20.209	15.669	13.084	16.253	16.964	15.840	11.392
Leonerde	13.079	22.594	26.150	20.726	18.951	19.284	13.305	15.169	12.191	12.032
Eisenoxyd	13.217	7.802	9.359	9.143	7.360	6.094	7.264	8.254	7.456	6.103
Kalk	0.722	0.385	0.729	0.388	0.137	0.112	0.130	0.099	0.042	0.048
Magnesia	0.475	0.066	0.833	0.152	0.057	0.143	0.113	0.133	0.046	0.061
Kali	0.175	0.154	0.173	0.177	0.194	0.114	0.168	0.180	0.179	0.155
Natron	0.382	0.155	0.183	0.081	0.256	0.134	0.136	0.138	0.101	0.093
Phosphorsäure	0.199	0.109	0.171	0.088	0.166	0.053	0.084	0.108	0.060	0.015
Schwefelsäure	0.307	0.228	0.366	0.373	0.432	0.230	0.169	0.177	0.115	0.196
	Absorptionscoefficienten des Luftrodner Bodens:									
für Phosphorsäure	2356.6	2412.1	2680.4	2642.4	2598.4	2637.9	1866.6	1945.3	1384.3	1941.2
für Stickstoff	610.7	632.3	680.8	617.7	642.2	645.8	540.4	508.8	379.0	459.8
für Kali (berechnet).	2054.5	2127.2	2290.4	2078.3	2160.5	2173.4	1818.1	1711.8	1275.1	1547.1
	Spezifische Eigenschaften:									
Spezifisches Gewicht	1.699	1.648	1.641	1.709	1.713	1.748	2.006	2.026	2.179	2.189
Volumgewicht	0.7695	0.7865	0.7295	0.7926	0.7153	0.7828	0.8884	0.9285	0.9528	0.9418
Engroskoptisches Wasser Volumen %	14.85	17.45	16.65	18.94	11.77	14.62	8.86	10.85	7.02	8.92
Feste Teile Volumen %	45.29	47.72	44.45	46.38	41.76	44.76	44.24	45.84	43.73	43.03
Boden Volumen %	54.71	52.28	55.55	53.62	58.24	55.24	55.76	54.16	56.27	56.97
Wassercapazität Volumen %	32.87	35.65	34.92	34.97	35.14	36.37	36.39	36.14	36.40	44.26
Luftgehalt (wassererfüllt) Volumen %	21.48	16.63	20.63	18.65	23.10	18.87	19.37	18.02	19.87	12.71

