

Arbeit aus dem Institut für Botanik der Universidad Austral de Chile, Valdivia
und aus dem Institut für Agrikulturchemie der Universität Göttingen
Direktor: Professor Dr. E. Welte

Charakteristische Eigenschaften und die Fruchtbarkeit südchilenischer Graslandböden auf vulkanischen Aschen *)

Characteristic properties and fertility of South Chilean
Grassland soils on volcanic ashes

Von P. Weinberger **)

1. Einleitung

Es ist nicht lange her, daß Südchile noch von geschlossenen Urwäldern bedeckt war. Da immergrüne Gehölze im Vordergrund stehen und das gemäßigte, stark ozeanische Klima eine reiche Entfaltung der natürlichen Waldvegetation bedingt, werden diese Gebiete gelegentlich als „kalte Tropen“ bezeichnet. Seit hundert Jahren wurden sie mit Hilfe der Brandrodung zunehmend entwaldet. Dabei zeigte sich auch hier, daß die Produktionskraft der Wälder kein sicheres Indiz für die Fruchtbarkeit der Böden ist. Entsprechend der Darstellung, die *Sioli* (29) für die tropischen Waldgebiete Amazoniens gegeben hat, kann angenommen werden, daß ein überwiegender Teil der mineralischen Nährstoffe in ständiger Zirkulation zwischen Bio- und Pedosphäre begriffen ist. Das Klima begünstigt die Kontinuität dieses Kreislaufs.

Die urbar gemachten Böden werden durch die Störung dieses Kreislaufs oft nach kurzer Zeit degradiert und in ihrer Fruchtbarkeit erheblich beeinträchtigt. *Schwabe* (27) bezeichnet deshalb die auffallende Diskrepanz zwischen der Gunst der klimatischen Faktoren und der geringen Ertragsfähigkeit der landwirtschaftlichen Kulturböden als besonders charakteristisch für Süd-Chile. Neuerdings ist man bemüht, diesen Niedergang durch meliorative Maßnahmen zu verhindern. Dafür werden oft Tech-

*) Aus Arbeiten, die in dankenswerter Weise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wurden.

**) Dr. Peter Weinberger, Leiter des Instituto de Botánica, Valdivia.

Anschrift: Cas. 567, Valdivia/Chile.

niken benutzt, die dem europäisch-nordamerikanischen Erfahrungsbereich entstammen. Das führt häufig nicht zu den gewünschten Erfolgen, weil die Eigenart der Böden ungenügend berücksichtigt wird. Diese hat ihre Ursachen im vulkanischen Ursprung des Ausgangsmaterials und in den hohen Niederschlägen.

Die Böden am Fuß der Küstenkordillere leiten sich vorwiegend von kristallinen Gesteinen und solchen des älteren, tertiären Vulkanismus her. Sie haben lehmartigen Charakter („Arcillosos“) und sind als Latosole anzusprechen. Auf der Ostseite des Tales haben Andosole geringen Alters eine weite Verbreitung. Sie werden im Lande als „Trumaos“ bezeichnet. Zwischen die Verbreitungsgebiete dieser beiden Bodengruppen schiebt sich ein nordsüdlicher Streifen von Aschenböden diluvialer Herkunft, die man stellenweise „Rojos arcillosos“ (Rotlehm) nennt. Sie bilden geographisch und altersmäßig den Übergang zwischen den beiden vorher genannten Gruppen (33).

In Südchile war die Bodenentwicklung weniger durch ungestörte pedogenetische Prozesse während langer Zeiträume als durch häufige Umlagerungen bestimmt. Die Profile sind im allgemeinen schwach differenziert, und es gibt zahlreiche Übergänge zwischen den drei genannten Bodengruppen. Alte vulkanische Böden sind stellenweise durch spätere Ashenschüttungen „verjüngt“ worden, wie am Tonmineralbestand abgelesen werden kann (3). Die Beurteilung der Ertragsfähigkeit mit Hilfe der üblichen Feldmethoden wird dadurch erschwert.

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, daß sich die erwähnten Bodengruppen in chemischen und physikalischen Eigenschaften unterscheiden. Mit Hilfe repräsentativer Stichproben wurden die Größenordnungen festgelegt, in denen wichtige fruchtbarkeitsbestimmende Merkmale erscheinen. Bezeichnende Unterschiede zu den Böden anderer Regionen werden hervorgehoben, um die Notwendigkeit zur Benutzung adäquater Kulturmethoden zu demonstrieren.

2. Untersuchungsgebiet und Beschaffung des Materials

In die Untersuchung wurden 93 Standorte aus dem Gebiet zwischen den Städten Los Angeles ($37^{\circ} 28'$) und Puerto Montt ($41^{\circ} 28'$) aufgenommen. Die nördliche Grenze ist von klimatischer Art. Das wird daraus ersichtlich, daß von dieser Breite nach Norden ein ertragssicherer Ackerbau ohne Bewässerung im allgemeinen nicht mehr möglich ist. Die südliche Abgrenzung hat keinen natürlichen Charakter. Sie wurde allein durch das Fehlen von Straßenverbindungen bestimmt.

Die Entnahme der Proben erfolgte im Zusammenhang mit vegetationskundlichen Untersuchungen. Hierfür wurden solche Flächen ausgewählt, die mindestens vier Jahre lang als Weide gedient hatten. Die Größe der Probepartien lag zwischen 35 und 100 m².

Wegen der Art der Fragestellung erschien die eingehende Untersuchung der Oberböden als ausreichend. Es wurden jeweils 5–7 Muster aus 6–10 cm Tiefe entnommen. Die Einzelproben gelangten nach der Vereinigung zu Mischproben zur weiteren Verarbeitung.

Um die Möglichkeiten zur Beurteilung zu erweitern, gelangten im allgemeinen solche Standorte zur Auswahl, bei denen vorhandene Aufschlüsse oder aber Auskünfte der Landwirte eine Vorstellung von der Beschaffenheit des Untergrundes gaben.

3. Untersuchungsmethoden

3.1. Böden

Die Bodenarten wurden im Sedimentationsverfahren nach Köhn bestimmt. Wegen teilweise hoher C-Gehalte waren bei den Trumaos bis zu fünf Behandlungen mit H_2O_2 erforderlich. Anschließendes vierstündiges Schütteln mit Na-Pyrophosphat (1%) bewirkte die notwendige Dispersion. Für die weitere Verarbeitung war das bei Fiedler (7) beschriebene Verfahren maßgeblich.

Die Bestimmung der C-Gehalte erfolgte auf dem Wege der trockenen Verbrennung und mit einem Gasanalysengerät. Die gewonnenen Daten wurden mit dem konventionellen Faktor 1,72 auf organische Substanz umgerechnet.

Der S-Wert wurde nach Kappen und der H-Wert mit Calciumacetat in der Weise bestimmt, wie bei Fiedler (8) angegeben. Aus diesen Daten wurden die Kationenumtauschkapazität (KUK) und der V-Wert in bekannter Weise berechnet.

Die pH-Werte der zunächst lufttrocken aufbewahrten Böden wurden elektrometrisch mit der Glaselektrode in einer 0,1 n KCl-Suspension (1:2,5) gemessen.

Calcium und Kalium wurden flammenphotometrisch in der 0,1 n HCl-Gleichgewichtslösung, die auch der Bestimmung der S-Werte diente, gemessen.

Nach dem Vorschlag von Saunders/Williams (22) wurde der Gesamt-P durch eine Veraschung der Proben bei 550° C (1 h) und nachfolgende Extraktion mit 0,2 n H_2SO_4 (2 h maschinelles Schütteln) erfaßt. Anschließend erfolgte die kolorimetrische Bestimmung des Molybdänblau mit Ascorbinsäure als Reduktionsmittel (24).

Phosphat-Fixierung^{*)}: Einwaage von 1—4 g Boden (je nach erwarteter Fixierungskapazität, vgl. Weinberger 32). Vierstündiges Schütteln mit 100 ml NaH_2PO_4 -Lösung (100 mg P/l). Die Messung des nicht festgelegten P erfolgte kolorimetrisch als Molybdänblau.

3.2. Pflanzen

Veraschung von 3,0 g trockener Substanz bei 550° C. Anschließend mit 10 ml 0,5 n HCl aufnehmen und kurz aufkochen. 5 ml n H_2SO_4 hinzufügen und zur Trockne eindampfen. Mit Wasser aufnehmen und filtrieren.

Im Filtrat wurden Kalium und Calcium in der üblichen Weise flammenphotometrisch gemessen. Für die Bestimmung des Magnesiums fand die Atomabsorptionsmethode mittels der Hohlkathode der Firma CARL ZEISS Verwendung (26).

Auch Phosphor wurde im gleichen Filtrat bestimmt. Die Messung erfolgte nach Gericke/Kurmies (11) mit Molybdät-Vanadat.

Kupfer wurde mit BCO und Mangan als Permanganat bestimmt. Beide Arbeitsverfahren finden sich bei Koch/Koch-Dedic (17).

^{*)} Der Begriff „Phosphat-Fixierung“ umfaßt sämtliche Reaktionen, die zu einer Festlegung von Phosphationen aus einer Angebotslösung führen, insbesondere die Bildung von Fe-, Al- und Ca-Phosphaten sowie die Bindung (Sorptions) an Oberflächen der Tonkolloide.

4. Besprechung der Ergebnisse

4.1. Die Bodenarten

Als Sandböden werden solche bezeichnet, bei denen der Anteil der Fraktion $> 0,063$ mm wenigstens 60% erreicht (Abb. 1). Dieser untere Grenzwert mag etwas niedrig erscheinen. Böden dieser Gruppe haben jedoch eine eigene Dynamik, die vor allem durch den sehr ungünstigen sommerlichen Wasserhaushalt bestimmt wird. Dementsprechend zeichnen sie sich durch eine charakteristische Vegetation aus.

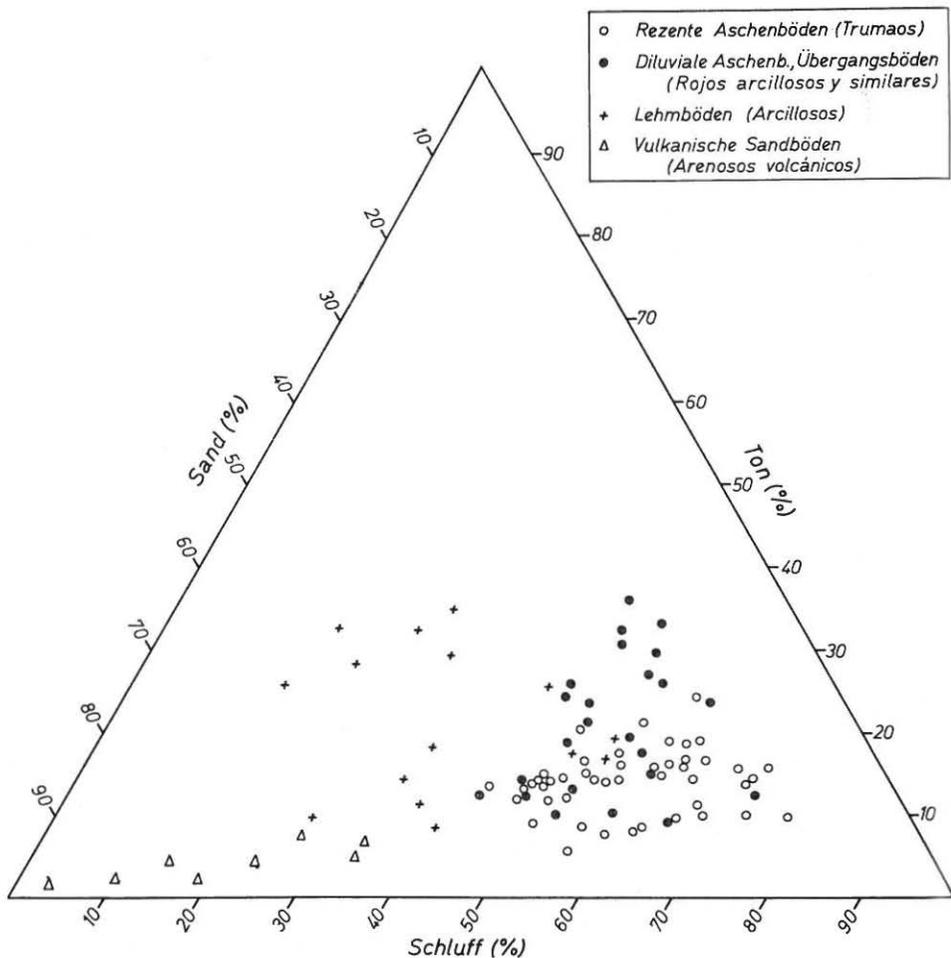


Abb. 1. Die Bodenarten im südchilenischen Längstal.

Tabelle 1. Eigenschaften südchilenischer Graslandböden*).

		Rezente Aschenböden (Trumaos)	Diluviale Aschenböden (Rojos arcillosos)	Lehmböden (Arcillosos)	Vulkanische Sandböden (Arenosos)
Zahl der Proben		46	24	15	8
bezogen auf die mineral. Boden- komponente	% Sand (Fraktion > 63 μ)	26.6 \pm 1.3	25.2 \pm 1.7	43.1 \pm 2.9	73.9 \pm 4.7
	% Schluff (Fraktion 2 —63 μ)	59.5 \pm 1.4	54.4 \pm 1.5	35.6 \pm 3.2	21.3 \pm 3.9
	% Ton (Fraktion < 2 μ)	13.9 \pm 0.6	20.5 \pm 1.7	21.3 \pm 2.3	4.5 \pm 0.9
bezogen auf den Gesamtboden einschließlich organischer Substanz	Gesamt-P (mg/100 g Boden)	125 \pm 5	72 \pm 6	54 \pm 8	80 \pm 12
	PO ₄ -Fixierungskapazität (mg P/100 g Boden)	260 \pm 9	145 \pm 14	66 \pm 11	121 \pm 33
	% Phosphatsättigungsgrad	32.7 \pm 1.0	34.0 \pm 1.8	46.1 \pm 2.0	44.4 \pm 4.4
	% Organische Substanz	16.4 \pm 0.5	8.8 \pm 0.6	4.3 \pm 0.4	7.4 \pm 1.7
	KUK (mval/100 g Boden)	44.3 \pm 0.7	34.0 \pm 0.9	20.6 \pm 1.8	22.0 \pm 3.5
	% Basensättigungsgrad	38.5 \pm 1.7	44.1 \pm 1.8	44.0 \pm 3.5	39.0 \pm 4.7
	pH (0.1 n KCl)	4.97 \pm 0.04	4.73 \pm 0.09	4.55 \pm 0.07	4.98 \pm 0.11
	Austausch-Ca mg/100 g Boden	74.5 \pm 11.0	110.2 \pm 15.9	79.8 \pm 15.9	65.1 \pm 18.6
	Austausch-K mg/100 g Boden	9.5 \pm 0.8	12.1 \pm 2.1	10.7 \pm 2.2	4.5 \pm 0.7

*). Neben den Mittelwerten werden die Standardabweichungen ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$) angegeben. Sämtliche Werte beziehen sich auf Bodentrockensubstanz (105° C).

Nur in dieser Gruppe stellt man gewöhnlich ein Bodenskelett fest. Die anderen Böden enthalten kaum Grobbodenanteile (> 2 mm). Die Sandböden des Gebietes sind vulkanischen Ursprungs. Ebenso wie bei den diluvialen und rezenten Aschenböden finden sich daher keine merklichen Quarzanteile. Wenn dieses Mineral in den gröbereren Fraktionen auftritt, handelt es sich regelmäßig um Verwitterungsböden der Küstenkordillere, die wir als Lehm Böden klassifiziert haben.

Als weiteres Merkmal der Sandböden mag gelten, daß ihr Tongehalt immer unter 8% liegt.

Die Böden dieser Gruppe sind im Längstal selten. In der Andenkordillere sind dagegen Bodenbildungen auf grobkörnigen Aschen sehr verbreitet. Für die Landwirtschaft haben sie nur in den Randtälern des Gebirges einige Bedeutung. Da die Zahl der untersuchten Proben gering ist, werden sie in den folgenden Ausführungen nur am Rande behandelt.

Schluffböden sind dagegen überaus häufig, wie das Korngrößendiagramm zeigt. Nur bei einem Viertel aller Stichproben liegt der Anteil der Fraktion 0,002—0,063 mm unter 45%. Trumaos und diluviale Aschenböden (Rotlehme) unterscheiden sich in ihren Schluffgehalten kaum.

Diese Befunde weisen auf eine gewisse Ähnlichkeit mit den Lößböden hin. Sie besteht darin, daß das Ausgangsmaterial für die meisten südchilenischen Bodenbildungen in vergangenen, trockenen Klimaperioden durch Wind umgelagert worden ist.

Schluffböden gelten allgemein als besonders erosionsgefährdet. Entgegen dieser Regel neigen gerade die schluffärmeren Lehm Böden in Südchile wesentlich stärker zur Verschlammung und Abtragung, als die diluvialen und rezenten Aschenböden. Die Ursache für die verminderte Erodierbarkeit besonders der letzteren ist in ihrer noch zu besprechenden Humosität zu sehen, durch welche die Ausbildung stabiler Aggregate begünstigt wird.

Ausgesprochene Tonböden kommen im Gebiet nicht vor. Bei den jungvulkanischen Trumaos ist der Anteil der Tonfraktion immer geringer als 25%. Sobald dieser Wert überschritten wird, handelt es sich um ältere Aschenböden oder um Lehm Böden. Diese beiden Gruppen unterscheiden sich jedoch dadurch, daß die Lehm Böden geringere Schluffanteile enthalten.

Bei letzteren tritt übrigens die Sandfraktion relativ wenig in Erscheinung, daher kann im allgemeinen von Feinlehm gesprochen werden.

Der Gehalt an Abschlammbarem gilt unter deutschen Verhältnissen als brauchbares Kriterium für die Bodenfruchtbarkeit (z. B. 20). Solche Beziehungen sind in Südchile nicht einmal andeutungsweise erkennbar. Die Ertragsfähigkeit der Böden wird vorwiegend durch andere Faktoren bestimmt. Dabei ist die Qualität der Tonminerale von wesentlich größerer Bedeutung als ihre absolute Menge.

4.2. Organische Substanz

Für jungvulkanische Aschenböden sind die als Allophane bekannten Tonminerale charakteristisch. Sie zeichnen sich durch sehr geringe Teilchengrößen aus. Mit $300 \text{ m}^2/\text{g}$ erreichen sie spezifische Oberflächen, die denen der aufweitbaren Tonminerale entsprechen (21). Für Kaolinite, welche die herrschenden Minerale der älteren Aschenböden sind (2), werden dagegen nur $5\text{--}30 \text{ m}^2/\text{g}$ angegeben.

Allophane bilden mit den Humusstoffen stabile Komplexe und führen dadurch zu deren auffälliger Anreicherung (13, 14, 6). Je stärker diese amorphen und sehr oberflächenaktiven Tonminerale vertreten sind, um so

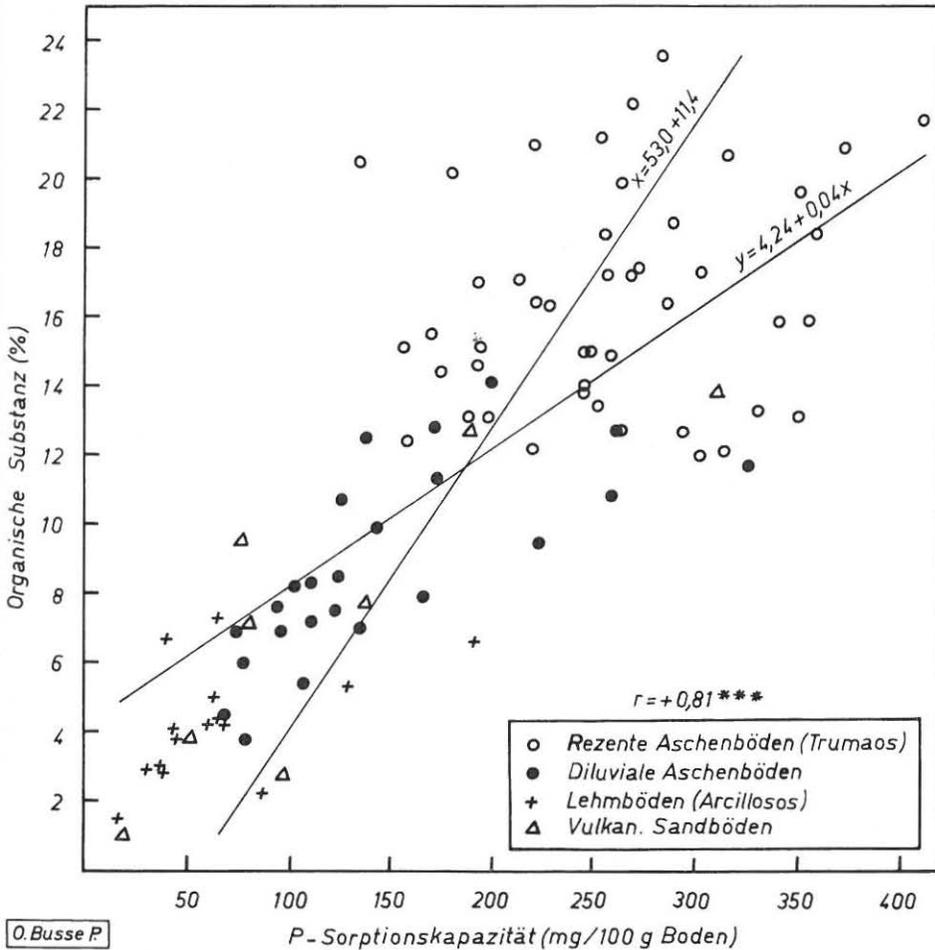


Abb. 2. Korrelation zwischen Gehalt an organischer Substanz und PO_4 -Festlegung südchilenischer Böden.

humoser sind die entsprechenden Böden. Infolgedessen bestehen zwischen den durchschnittlichen Humusgehalten der Bodengruppen deutliche Unterschiede (Tab. 1).

Bei den Trumaos umfaßt die Variationsbreite dieses Merkmals den Bereich zwischen 12—24% organische Substanz. Dabei handelt es sich gewöhnlich nicht um anmoorige Böden. Nur Werte über 20% sind gelegentlich auf Grundwasser- bzw. Stauwassereinfluß zurückzuführen. Klimatische Einflüsse sind daran erkennbar, daß hohe C-Gehalte besonders in höheren Lagen und in den südlicheren, sehr atlantisch getönten Gebietsteilen gefunden werden.

Diluviale Aschenböden erreichen nur selten den unteren Grenzwert der Trumaos. Immerhin weist auch diese Gruppe noch einen relativ hohen Mittelwert auf. Hingegen liegen die Lehm Böden mit einem Durchschnitt von 4,3% in einer Größenordnung, die derjenigen von landwirtschaftlich genutzten Mineralböden anderer gemäßigter Breiten entspricht.

Grünlandböden zeigen in Mitteleuropa gewöhnlich höhere C-Gehalte als Ackerböden. Deshalb sei darauf hingewiesen, daß ein solcher Vergleich bei den besprochenen Böden nicht vorgenommen werden kann. Wenn hier von Graslandböden die Rede ist, so handelt es sich um solche, die in mehrjährigem Abstand auch der Ackernutzung unterliegen.

Der C-Reichtum der Trumaos ist eine der wesentlichen Ursachen für ihr abweichendes chemisches und physikalisches Verhalten. Für die Behandlung dieser Böden sollten auch die Erfahrungen berücksichtigt werden, die anderweitig mit semiterrestrischen Böden gesammelt wurden. Es kann angenommen werden, daß sich damit beispielsweise für die Beurteilung des Reaktionszustandes brauchbare Anhaltspunkte ergeben würden.

Anmoorböden zeigen wesentlich mehr Parallelen zu den Trumaos als Schwarzerden, die gelegentlich zum Vergleich herangezogen werden. Mit diesen haben die Aschenböden zwar hohe Gehalte an Humusstickstoff gemeinsam. Das C/N-Verhältnis der Trumaos ist im allgemeinen relativ eng (~ 10—11). Wegen der intensiven chemischen Verwitterung und geringen Basensättigung als Folge hoher Niederschläge bilden die Trumaoböden jedoch einen scharfen Gegensatz zu den Schwarzerden. Für die stark humosen Formen ist übrigens charakteristisch, daß sie nach der Austrocknung einen großen Widerstand gegen Benetzung zeigen. Diese Eigenschaft weist mehr auf saure Humusformen und auf eine Ähnlichkeit mit sauren anmoorigen Böden hin.

Die Gruppe der Sandböden ist uneinheitlich zusammengesetzt, wie aus den Standardabweichungen der Mittelwerte der untersuchten Parameter gefolgert werden kann (Tab. 1). Wenn sie eine größere Humosität aufweisen, bilden diese Böden den Übergang zu den feinkörnigeren Trumaos, mit denen sie Ursprung und geringes Alter gemeinsam haben. Dagegen leiten sich Sandböden mit sehr geringen Humusgehalten gewöhnlich nicht von Aschen, sondern von massiven Ergußgesteinen her. Sie bedecken als Laja-Sande große Areale nördlich des Untersuchungsgebietes auch im Längstal.

4.3. Der Phosphatzustand

Die verschieden starke Oberflächenaktivität in den einzelnen Boden-
gruppen ist die Ursache für Unterschiede in wichtigen fruchtbarkeitsbestim-
menden Eigenschaften. Hier ist an erster Stelle das PO_4 -Sorptionsvermögen
zu nennen (2). Vor allem durch japanische und neuseeländische Unter-
suchungen (zitiert bei Wild 34) ist bekannt geworden, daß Andosole in
ausgeprägter Weise die Fähigkeit zur Anionensorption zeigen.

Die chilenischen Aschenböden bilden hier keine Ausnahme. Nach Tab. 1
fixieren Truamos besonders große P-Mengen. Aus Abb. 2 geht hervor, daß
die Fixierungskapazität mit den Humusgehalten zunimmt.

Selbst die Lehm Böden des Gebietes zeigen noch eine PO_4 -Fixierungs-
kapazität, die erheblich über den Werten für deutsche Böden liegt. Zum
Vergleich sei angeführt, daß drei Proben aus Südniedersachsen (Buntsand-
steinlehm, Parabraunerde, Lößlehm) mit der gleichen Methode nur 14, 32
und 6 mg P/100 g festlegten. Das weist auf den grundverschiedenen Cha-
rakter der südchilenischen Lehm Böden hin. Fast immer enthalten diese
gewisse Anteile jüngeren vulkanischen Materials. Sorptionsfähige Ton-
minerale (Allophane) haben zwar geringere Bedeutung als bei den Tru-
maos. Als Latosole enthalten die Arcillosos statt dessen hohe Anteile von
Al- und Fe-Oxiden, die bei der PO_4 -Fixierung wirksam sind.

Interessante Aufschlüsse ergibt der Vergleich der PO_4 -Fixierung mit dem
Gehalt der Böden an Gesamt-P. Bei den Lehm Böden liegt der zuletzt
genannte Wert in einer normalen Größenordnung. Erheblich höhere
P-Gehalte zeigen aber die jungen Aschenböden. Sie nähern sich mit ihrem
Durchschnitt einer oberen Grenzzahl, die Wiklander (34) für den Gesamt-P
von Böden mit 0,15% angibt. Das überrascht zunächst, wenn man weiß,
daß dieser Pflanzennährstoff auf den Truamos, aber nicht auf den Lehm-
böden, grundsätzlich der primäre Mangelfaktor ist. Es zeigt, wie verschie-
den groß seine Verfügbarkeit in beiden Fällen ist.

Die hohen P-Gehalte der Truamos entsprechen zunächst der allgemeinen
Erfahrung, daß Böden auf basischen Eruptivgesteinen relativ P-reich sind
(9). Sie mögen aber eine weitere Ursache darin haben, daß im südchile-
nischen Ackerbau große P-Gaben üblich und notwendig sind. In modern
bewirtschafteten Betrieben sind bis zu 600 kg P_2O_5 /ha zu Zuckerrüben
keine Seltenheit. Das führt zu merklicher Anreicherung im Boden; denn
die höchsten aufgefundenen Werte stammen von intensiv bewirtschafteten
Flächen.

Die gleichzeitig hohen Mittelwerte der Truamos für Gesamt-P und PO_4 -
Fixierungskapazität deuten auf die besondere Problematik, die diese Böden
der Pflanzenernährung bieten. Bei anderen Böden kommt man gewöhnlich
damit aus, die Verfügbarkeit dieses Nährstoffs durch geeignete Extraktions-
mittel annähernd zu erfassen. Unsere Untersuchungen haben jedoch ge-
zeigt, daß es kaum möglich ist, den P-Zustand südchilenischer Böden allein
mit Hilfe solcher Methoden ausreichend zu beurteilen. Aschenböden er-

geben zwar höhere Werte für Gesamt-P oder für einzelne P-Fractionen als die Lehm Böden, aber gleichzeitig ist dieser Nährstoff weniger leicht verfügbar. Der Reaktionszustand kann nicht zur Erklärung bzw. zur Korrektur herangezogen werden. Ein Blick auf die pH-Werte (Tab. 1) zeigt, daß die aktuelle Azidität der Trumaos signifikant geringer ist als diejenige der Lehm Böden.

Die Ursachen der geringen Verfügbarkeit sind vielmehr in der ausgeprägten PO_4 -Fixierungskapazität zu suchen. Der Phosphatversorgungszustand südchilenischer Böden läßt sich in zuverlässiger Weise dadurch kennzeichnen, daß der gesamte P-Vorrat und die vorhandene PO_4 -Fixierungskapazität zueinander in Beziehung gesetzt werden. Dadurch ergibt sich ein relativer Wert, der als „Phosphatsättigungsgrad“ bezeichnet wird. Je höher dieser Wert ist bzw. je mehr das Festlegungsvermögen der Böden abgesättigt ist, desto besser ist dieser Nährstoff für die Pflanzen verfügbar (32).

Der Phosphatsättigungsgrad erscheint als wichtiges ökologisches Merkmal neben den in Tab. 1 aufgeführten Kennwerten. Die statistische Prüfung der Differenzen zwischen den Bodengruppen ergibt, daß Lehm Böden einen signifikant günstigeren Phosphatzustand haben als rezente und diluviale Aschenböden. Das entspricht den Erfahrungen der praktischen Landwirtschaft, nach denen bei Lehm Böden nicht P als Mangelfaktor an erster Stelle steht. Er wird hier, besonders im Norden des Untersuchungsgebietes, durch den Stickstoff abgelöst.

Die günstigen Werte für die Phosphatsättigung bei den Sandböden sind wegen der großen Streuung in dieser Gruppe nicht signifikant. Exakte Aussagen können daher in dieser Hinsicht nicht gemacht werden.

Für orientierende Untersuchungen und für die Zwecke der Düngungsberatung wurde vom Verfasser eine einfache Methode vorgeschlagen, mit deren Hilfe die P-Festlegung mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit abgeschätzt werden kann. Sie erfordert Waage und Muffelofen als einzigen technischen Aufwand (31). Das Verfahren beruht darauf, daß die PO_4 -Fixierung sowie der Gehalt an organischer Substanz und an Adsorptionswasser gemeinsam Folgeerscheinungen der Oberflächenaktivität sind. Zwischen den drei genannten Merkmalen bestehen straffe positive Korrelationen.

Die Aschenböden enthalten auch nach der Trocknung bei 105°C noch Adsorptionswasser in erheblichen Mengen gebunden. Bei den Trumaos finden sich Werte zwischen 8—22% (bezogen auf die mineralische Bodenkomponente).

Die Durchführung der erwähnten Methode erfolgt so, daß die Bodenproben bei 550°C verascht werden. Ihre organische Substanz wird damit verbrannt und das Adsorptionswasser ausgetrieben. Diese beiden Merkmale werden stellvertretend für die aktive Oberfläche herangezogen, und der prozentuale Glühverlust dient als Schätzmaß für die letztere. Je größer daher der Glühverlust, um so höher ist auch das PO_4 -Fixierungsvermögen. Diese Beziehung ist mit $r = + 0,80^{***}$ sehr eng.

Bei den Lehm Böden ergeben sich im allgemeinen Glühverluste unter 10%, bei den Trumaos solche über 25%. Diluviale Aschenböden nehmen eine Mittelstellung ein. Damit ergibt sich die zu fordernde Übereinstimmung mit den Phosphatsättigungsgraden der Tab. 1

4.4. T-Wert, Basensättigung und pH-Wert

Für die beiden Gruppen der rezenten und älteren Aschenböden betragen die durchschnittlichen S-Werte 17,1 bzw. 15,8 mval/100 g Boden. Die Lehmböden liegen signifikant darunter. Solche Werte für austauschbare Basen gelten gewöhnlich als zufriedenstellend, obwohl im Acetatauszug sehr hohe H-Ionenkonzentrationen vorliegen. Da organische Substanzen beträchtliche Mengen von H-Ionen zu binden vermögen, erklärt sich, warum die H-Werte mit den C-Gehalten der Böden straff korreliert sind (Tab. 2). Dementsprechend weisen die humusreichen Trumaos mit durchschnittlich 27,2 mval/100 g Boden die höchsten Werte auf.

Tabelle 2. r-Werte für die Korrelationen zwischen verschiedenen Eigenschaften südchilenischer Böden (n = 93)

	S-Wert	H-Wert	KUK	V-Wert	pH
Humusgehalt	+ 0,37***	+ 0,95***	+ 0,88***	- 0,34***	+ 0,24
pH-Wert	+ 0,81***	+ 0,04	+ 0,11	+ 0,60***	—

*** = signifikant mit $p = 0,1\%$.

Diese Verhältnisse führen dazu, daß die aus den S- bzw. H-Werten berechnete Basensättigung fast immer sehr gering ist. Für vier Fünftel der Böden wurden V-Werte unter 50% ermittelt. Ein statistischer Vergleich der Mittelwerte in Tab. 1 zeigt, daß sich die verschiedenen Bodengruppen in diesem Merkmal nicht signifikant unterscheiden. In Übereinstimmung mit Literaturangaben (vgl. 25) zeigt die Basensättigung bei den altersmäßig sehr verschiedenen südchilenischen Böden keine Beziehung zum Stadium der Entwicklung. Sie ist eine standortbedingte Größe. Klimatische Wirkungen spielen wegen des extensiven Charakters der Bodenkultur eine wesentlich wichtigere Rolle als in Mitteleuropa, wo die Basenzufuhr durch den Menschen (Düngung) die natürlichen Faktoren überdeckt.

Im Untersuchungsgebiet variiert die Höhe der jährlichen Niederschläge zwischen 800 und 4000 mm. Aus Abb. 3 geht hervor, daß der Basensättigungsgrad um so geringer ist, je mehr Niederschläge fallen. Für die Einstellung eines bestimmten Sättigungsgrades werden mit zunehmenden Niederschlägen erhebliche Kalkdüngermengen erforderlich. Dadurch können nachteilige Nebenwirkungen in der Aufnahme der Nährionen durch die Pflanze auftreten. Der Erfolg der Kalkgaben wird hierdurch beeinträchtigt oder gar in Frage gestellt. Nur zwei von insgesamt 93 untersuchten Standorten zeigen V-Werte über 70%. Beide werden jedoch mit einem Aufwand bewirtschaftet, der unter gegenwärtigen Bedingungen aus ökonomischen Gründen nicht vertretbar ist.

Hinsichtlich der aus den S- und H-Werten berechneten KUK weisen die Trumaos die höchsten Werte auf (Tab. 1). Diese Eigenschaft ist wie die Anionensorption teilweise auf die Natur und geringe Teilchengröße der Allophane zurückzuführen (5). Entsprechend zeigen die diluvialen Aschenböden und besonders die Lehmböden geringere T-Werte. Eine zweite Ursache für die große KUK der jungen Aschenböden ist in ihrem Humusreichtum zu sehen. Diese enge Beziehung wird durch den Wert des Korrelationskoeffizienten von + 0,88 recht deutlich.

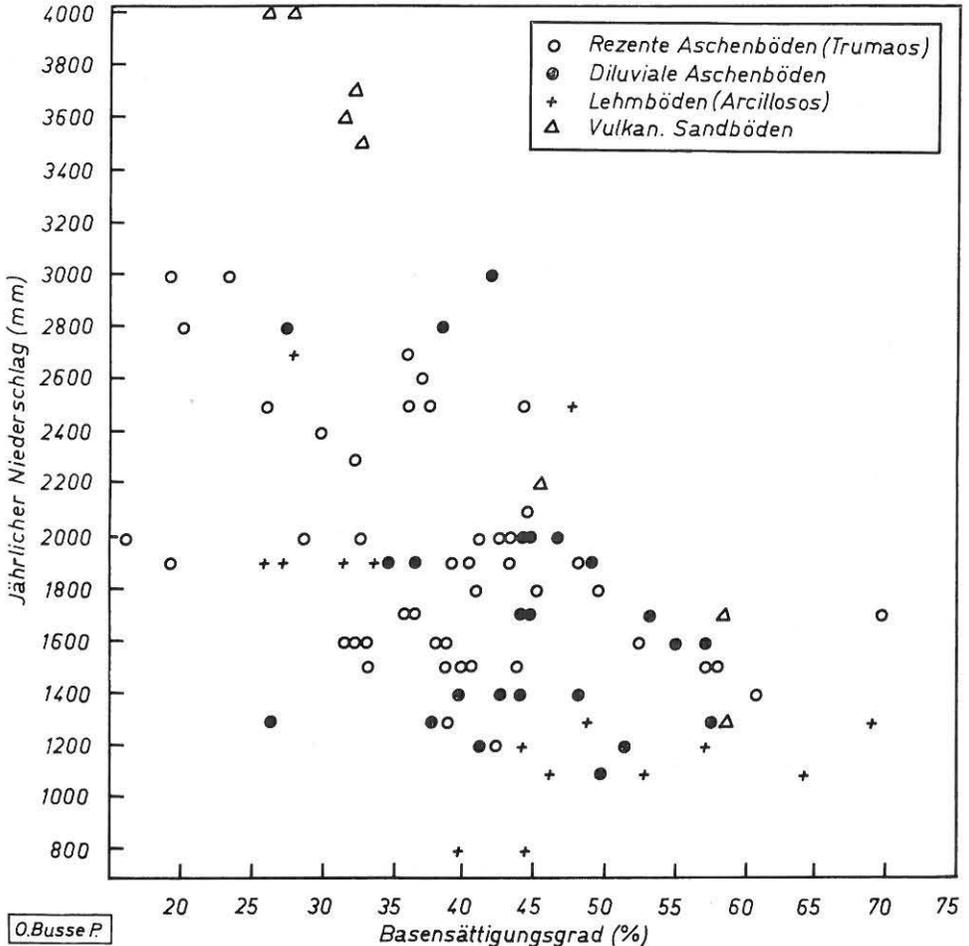


Abb. 3. Beziehung zwischen jährlichem Niederschlag und dem Basensättigungsgrad der Oberböden von südhilensischen Weidestandorten. Klimatische Daten interpoliert nach der regionalen Niederschlagskarte bei *Almeyda* (1).

Zwischen den H- und pH-Werten der Böden ist nach Tab. 2 keinerlei Beziehung vorhanden. Ein enger Zusammenhang ergibt sich dagegen zwischen der Reaktion und der Menge der austauschbaren Basen. Auch zum Basensättigungsgrad zeigen die pH-Werte eine deutliche Korrelation. In den höheren pH-Werten der Trumaos (Tab. 1) kommt wohl zum Ausdruck, daß die ständige Nachlieferung von Basen aus verwitternden Mineralien intensiver als bei den latosolartigen Böden ist. Das pH der jungen Aschenböden kann daher, wenn deren Humosität berücksichtigt wird, kaum als zu niedrig bezeichnet werden.

Anders sind die Verhältnisse bei den Lehm Böden. Diese zeigen signifikant geringere pH-Werte. Da gleichzeitig wenig organische Substanz vorhanden ist, muß mit allen ungünstigen Folgeerscheinungen der Bodenversauerung gerechnet werden. Die pH-Werte bewegen sich hier in einem Bereich, in dem die Menge an austauschbarem Al bereits beträchtlich sein kann (28). Auch ist anzunehmen, daß in pflanzensoziologischer Hinsicht eine selektierende und hemmende Wirkung toxischer Al-Konzentrationen starken Einfluß auf die Vegetation ausübt. Unter vergleichbaren klimatischen Bedingungen ist die botanische Zusammensetzung der Grünlandbestände auf den Lehm Böden artenärmer als auf rezenten Aschenböden. Dafür kann neben dem ungünstigen Wasserhaushalt die mit geringer Pufferungskapazität verbundene hohe Azidität der Latosole verantwortlich gemacht werden.

4.5. Kalium und Calcium

Der Sättigungsgrad für einzelne Kationen wird für einige südchilenische Böden von *Stimming* (30) angegeben. Hierzu sind keine vollständigen eigenen Daten vorhanden, deshalb seien seine Ergebnisse mit herangezogen. In Tab. 3 stehen Mittelwerte, die aus *Stimmings* Einzeldaten berechnet wurden. Es handelt sich um 9 Trumaos und 4 diluviale Böden.

Tabelle 3. Mittlere Anteile austauschbarer Kationen an der KUK (%) südchilenischer Aschenböden (n = 13) nach *Stimming* (30)

K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H ⁺	Al ⁺⁺⁺
0,84	0,26	12,05	1,51	79,20	1,89

Vor allem fällt die relativ geringe Beteiligung der Ca-Ionen an der Belegung des Sorptionskomplexes auf. Der Durchschnitt liegt noch unter den Werten, die gewöhnlich bei norddeutschen Podsolen festgestellt werden. Ähnliches gilt für die Mg-Belegung. Die Werte für Na bewegen sich in einer normalen Größenordnung. Für K ergibt sich ein Sättigungsgrad, der im unteren Bereich der für deutsche landwirtschaftliche Böden üblichen Werte liegt.

Die absoluten Mengen an austauschbarem K finden sich in Tabelle 1. Nach mitteleuropäischen Maßstäben sind die Zahlen als „gering bis mäßig“ zu bewerten. Bei diluvialen Aschenböden werden gelegentlich höhere Werte von 20—30 mg K je 100 g Boden gefunden. Sie sind aber nicht häufig genug, um den Mittelwert dieser Gruppe signifikant über die anderen zu erheben.

Der geringe Sättigungsgrad an Kalium steht nicht im Einklang mit den Erfahrungen der praktischen Landwirtschaft. Eine Düngung mit diesem Nährstoff ergibt im allgemeinen keine Mehrerträge und wird deshalb gewöhnlich nicht praktiziert. Auch die Höhe des K-Entzuges durch die Pflanzen zeigt keine Mangelsituation an (Tab. 4). Offenbar zeichnen sich Aschenböden durch ein großes Nachlieferungsvermögen aus. Von dieser Feststellung sind allerdings sehr flachgründige Trumaos und ferner die Lehm Böden ausgenommen.

Unverwitterte basaltische und andesitische Aschen sind aus relativ Ca-reichen Mineralien zusammengesetzt. Trotzdem sind der Ca-Sättigungsgrad (Tab. 3) und die Werte für austauschbares Ca (Tab. 1) sehr niedrig. Die Auswaschungsverluste übertreffen also die Nachlieferung. Mehr noch als beim K erwecken die Daten in Tabelle 1 den Eindruck, daß diluviale Aschenböden teilweise bessere Bedingungen in dieser Hinsicht zeigen. Die Streuung ist jedoch groß, deshalb sind die Unterschiede zumindest nicht signifikant. Vermutlich kommen in der beträchtlichen Variabilität der Einzelwerte die Schwankungen der Niederschlagsmengen zum Ausdruck. Die Areale der diluvialen Böden liegen teilweise im Regenschatten der Küstenkordillere (33), so daß sie nicht überall derselben intensiven Auswaschung wie die Trumaos unterworfen sind (vgl. Abb. 3).

4.6. *Typische und spezifische Merkmale der untersuchten Bodengruppen*

Zusammenfassend soll noch herausgestellt werden, durch welche Merkmale die untersuchten Bodengruppen gut charakterisiert werden können. Zu diesem Zweck wurden die Differenzen zwischen den Mittelwerten mit dem t-Test geprüft und als Sicherheitswahrscheinlichkeit $t = 0,1\%$ vorgegeben. Nur solche Unterschiede wurden berücksichtigt, für deren t sich die Relation $t \geq 0,1\%$ ergab.

Trumaoböden bilden eine deutlich selbständige Gruppe. Durch mehrere Eigenarten, die mittelbar oder unmittelbar mit dem Auftreten oberflächenaktiver Mineralfraktionen (insbesondere Allophane) verknüpft sind, unterscheiden sie sich von den anderen Bodengruppen. Zunächst sind die starke Anreicherung von organischer Substanz und eine ungewöhnlich hohe PO_4 -Fixierungskapazität zu nennen. Der Gehalt an Gesamt-P ist ebenfalls größer als bei anderen Böden. Dasselbe gilt für die mit dem Humusgehalt verknüpften H- und T-Werte.

Lehm Böden unterscheiden sich von den übrigen Gruppen vor allem durch die Korngrößen. Mit den Anteilen der Fraktion $> 0,063$ mm schieben sie sich zwischen die Sandböden einerseits und die diluvialen

bzw. rezenten Aschenböden andererseits. Entsprechendes gilt für die Schlufffraktion. Die Mengen der Fraktion $< 0,002$ mm bedingen gesicherte Differenzen nur gegenüber den Sandböden und Trumaos.

Diluviale Aschenböden nehmen ihrem intermediären Alter entsprechend eine Mittelstellung zwischen den Trumaos und den Lehm Böden ein. Dabei nähern sie sich mit einzelnen Eigenschaften wechselnd der einen oder anderen Seite. Signifikante Differenzen zu den Trumaos wurden bereits bei diesen genannt. Unterschiede zu den Lehm Böden bestehen in den Mittelwerten für PO_4 -Fixierungskapazität, Gesamt-P, Humusgehalt, H-Wert und T-Wert.

5. Betrachtungen zur bodenökologischen Situation und Folgerungen für die Praxis

Das Klima in Südhile bietet der pflanzlichen Produktion günstige Voraussetzungen. Die Probeschnitte haben ergeben, daß auf Weideland, welches etwas besser als der Durchschnitt gedüngt wird, jährliche Ertragsleistungen bis zu 120 dz Heu (absol. TS)/ha möglich sind. Voraussetzung ist allerdings ein gesicherter Wasserhaushalt im Sommer. Die wenigsten Standorte des Längstals führen jedoch Grundwasser in pflanzenreichbarer Tiefe. Die Vegetation ist daher fast ausschließlich auf die Niederschläge angewiesen. Im Gebiet wechseln extrem regenreiche Winter mit recht trockenen Sommern. Die Wasserreserven des Bodens bestimmen daher die Grenze für Entwicklung und Wachstum der Vegetation im Frühsommer. Sobald diese Reserven erschöpft sind, verändert sich das Bild schlagartig. Die Sicherung der Wasserversorgung ist daher mehr noch als in Mitteleuropa (16) die wichtigste Erfolgsgrundlage für das südchilenische Grünland. Es drängt sich der Gedanke auf, auch in Südhile mit Bewässerungsanlagen zu arbeiten. Die Notwendigkeit und wirtschaftliche Berechtigung solcher Anlagen, die in Zentralhile selbstverständlich sind, wird jedoch von vielen praktischen Landwirten bestritten.

Wo Trumaos und Lehm Böden aneinandergrenzen, kann man zuweilen sehr verschiedene phänologische Zustände gleichzeitig beobachten. Erstere haben infolge ihrer Humosität und wohl auch wegen des Gehaltes an porösen Tuffpartikeln eine wesentlich größere Speicherleistung. Die Ermittlung der maximalen Wasserkapazität nach *Mitscherlich* ergab für acht Lehm Böden als mittlere WK_{max} den Wert $46,9 \pm 2,7$ Vol.-%, für 20 Trumaos jedoch $66,0 + 1,9$ Vol.-%. Die Aschenböden speichern also beinahe um die Hälfte mehr Wasser. Diese größere Speicherkapazität ist die Ursache dafür, daß sich das Pflanzenwachstum wesentlich weiter in die sommerliche Trockenzeit hineinziehen kann.

Solche Beobachtungen führen zu dem Schluß, daß die Trumaogebiete als Weidegebiete den Vorrang haben sollten. Diese Feststellung wird noch gestützt durch die Tatsache, daß die Areale der jungen Aschenböden im allgemeinen weniger als die der Lehm Böden im Regenschatten der

Küstenkordillere liegen und deshalb eher gelegentliche sommerliche Niederschläge empfangen.

Vorläufig herrscht in Südhile noch das Prinzip der Wechselwirtschaft. Allmählich setzt sich jedoch aufgrund ausländischer Empfehlungen (15) die Erkenntnis durch, daß das Grünland aus der Ackerfruchtfolge herausgenommen werden muß. Bei solchen Veränderungen sollte berücksichtigt werden, daß die Futtergramineen hinsichtlich ihres Wasserverbrauchs je kg produzierter Trockenmasse unter den Kulturpflanzen den höchsten Bedarf aufweisen. Aschenböden werden diesen Ansprüchen leichter gerecht als Lehm Böden, die daher für den Ackerbau geeigneter erscheinen.

Während die physikalischen Eigenschaften der Aschenböden als günstig zu bezeichnen sind, bietet ihr Phosphatzustand der Landwirtschaft ernste Probleme. Auch aus diesen Gründen sind Trumaos eher für die Weidenutzung geeignet, da die Weidepflanzen gewöhnlich ein gutes Aufschlußvermögen für schwerlösliche Phosphate besitzen. *Stimming* (30) konnte dies in Feldversuchen für südhilenische Verhältnisse bestätigen.

Eine geringe P-Verfügbarkeit beeinträchtigt nicht nur die Ertragsmengen, sondern auch die Qualität der pflanzlichen Produkte. Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, daß die prozentualen P-Gehalte des Weidefutters erheblich unter der Schwelle liegen, welche für die Versorgung der Tiere als ausreichend gilt.

Zum Vergleich sei erwähnt, daß *Munk* (19) für Milchvieh bei reinem Weidegang — und um den handelt es sich hier üblicherweise — einen mittleren P-Gehalt von 0,4—0,5% für erforderlich hält. Wegen des allgemeinen P-Defizits gewinnt auch das Ca/P-Verhältnis eine verstärkte Bedeutung für die Tierernährung. Dieser Quotient soll nach *Fleischel* (10) und *Munk* (19) nicht über 1,5 betragen. Nach den Mittelwerten in Tabelle 4 sind diese Verhältnisse aber erheblich weiter.

Tabelle 4. Mittlerer Mineralstoffgehalt südhilenischer Weidefutterproben (n = 39), bezogen auf absolut trockene Substanzen

	%				ppm		
	P	Ca	K	Mg	Cu	Mn	Ca/P
1. Schnitt	0,18	0,58	1,83	0,19	10,1	113,5	3,25
2. Schnitt	0,19	0,86	1,66	—	—	—	4,53

Um Besserungen zu erreichen, wird in manchen Betrieben die Aufkalkung der Böden versucht. Häufig erzielt man jedoch keine Ertragssteigerung, nicht selten ergeben sich sogar Mißerfolge. Bisher vorliegende Ergebnisse vermitteln den Eindruck, daß günstige Wirkungen im allgemeinen eher auf die Begleitstoffe der Kalkdüngemittel zurückzuführen

sind, nicht aber auf Reaktionsänderungen. Eigene Versuche führten zu der Auffassung, daß pH-Erhöhungen mit der dadurch verstärkten mikrobiellen Aktivität auch zu einer vermehrten biologischen P-Festlegung führen können. Damit ergibt sich für die Kulturpflanze, welche die Rolle des schwächeren Konkurrenten hat, eine weiter verschärfte Mangel-situation.

Wirksamen und dauerhaften pH-Erhöhungen steht ferner die Eigenart von Klima und Boden entgegen. Aschenböden haben wegen des Humus-reichtums eine große Pufferkapazität. Um die Reaktion eines Trumaos, der mit 15,5% organischer Substanz noch unter dem allgemeinen Durch-schnitt lag, von pH 4,8 auf 5,4 zu erhöhen, waren im Versuch 10,4 t CaCO_3 /ha notwendig. Diese Zahl wurde durch Umrechnung vom Gefäß-versuch auf 30 cm Krumentiefe gewonnen und kann deshalb nicht direkt übertragen werden. Für die Praxis ergeben sich eher höhere Bedarfs-zahlen. Ob solche Maßnahmen wirtschaftlich berechtigt sind, erscheint um so zweifelhafter, als die hohen Niederschläge zum raschen Verlust des geleisteten Aufwands führen (Abb. 3).

Es soll auch der Meinung Ausdruck gegeben werden, daß die Auf-kalkung bei allophanreichen Böden nicht das ganze Problem umfaßt. Dieses Problem besteht nicht ausschließlich in einer Schwerlöslichkeit der Phosphate, die sich vermindert, wenn das pH der Bodenlösung in einen günstigeren Bereich angehoben wird. Neben chemischen Fällungsreak-tionen mit Al- und Fe-Ionen spielt die physikalische Festlegung durch sorptionsfähige Minerale geringer Teilchengröße eine wichtige Rolle. Das Ausmaß dieser Sorption nimmt bei chilenischen Trumaos nicht nur unter-halb pH 4, sondern auch oberhalb pH 5 wieder zu (32). Der Bereich zwischen diesen beiden Werten, in dem sich die Mehrzahl der Böden befindet, wäre demnach als optimal anzusehen.

Offenbar kann der ungünstige P-Zustand effektiv nur mittels häufiger und reichlicher Ergänzungsdüngung überwunden werden. Eine völlige Absättigung der Fixierungskapazität kann natürlich nur als Fernziel an-gestrebt, aber nicht erreicht werden. Einmal entstehen in den sehr ver-witterungsaktiven Böden laufend neue sorptionsfähige Elemente, zudem sind auch hier die notwendigen P-Mengen zur Absättigung sehr groß. Wenn das Gewicht der Krume für einen Trumao mit 2000 t/ha (Raum-gewicht 0,65, Krumentiefe 30 cm) und das Sorptionsvermögen mit 250 mg P/100 g angenommen wird, dann sind für die Absättigung dieser Kapazität 5000 kg P je ha notwendig.

Es ergibt sich als Konsequenz, daß man dem südchilenischen Land-wirt vorwiegend die Anwendung basenreicher Phosphatdünger empfehlen kann, wenn er Aschenböden bewirtschaftet. Die Durchführung von Auf-kalkungsmaßnahmen erscheint nur auf den Lehm Böden vertretbar.

Abschließend sei noch kurz ein Fragenkomplex erörtert, auf dessen Bedeutung *Schwabe* (27) mehrfach hingewiesen hat. Es handelt sich um den Mangel bzw. die Verfügbarkeit von Mikroelementen. Bisher liegen

hierzu kaum Ergebnisse vor. Auch über die S- und Mg-Versorgung der Böden ist man so gut wie nicht informiert.

Wegen der niedrigen pH-Werte sind Cu- und Mn-Mangelzustände nicht zu erwarten. Die Analysenergebnisse der Tabelle 4 zeigen, daß die Cu-Werte sogar hoch liegen, wenn zum Vergleich die Zahlen herangezogen werden, die *Henkens* (12) für den Gehalt von Gräsern angibt. Im Falle des Mn können die Gehaltszahlen nach *Mengel* (18) sehr stark schwanken. Jedoch ergibt sich auch hier der Eindruck, daß von einer Mangelsituation keine Rede sein kann.

Es wird jedoch immer wieder die Frage nach einer mangelhaften Versorgung mit Spurenelementen gestellt, da sich Handelsdünger mit relativ hohem Gehalt an Nebenbestandteilen gegenüber analysenreinen Phosphaten und Ca-Carbonaten in Gefäßdüngungsversuchen meistens überlegen zeigen.

Nach *Schwabes* Beobachtungen sind die Böden häufig Zn-bedürftig. Diese Erscheinung wäre in Verbindung mit einer überhöhten P-Düngung erklärlich. Auch an B-Mangel kann gedacht werden, weil magmatische Gesteine allgemein arm an diesem Element sind (9). Es kommt noch hinzu, daß das BO_3 -Ion sehr stark der Auswaschung unterliegt.

Solchen Vermutungen kann der exakte Nachweis akuter Mo-Mangelzustände durch *Binsack* (4) gegenübergestellt werden. Er stellte fest, daß auf Trumaoböden durch Gaben von Na-Molybdat (bis zu 250 g/ha) erhebliche Steigerungen der Wuchsleistungen bewirkt werden können. Dieses Ergebnis entspricht der Eigenart der Mo-Ionen, die sich im Boden analog den P-Ionen verhalten. Sie werden daher in ähnlicher Weise wie diese festgelegt (23).

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß auch in Neuseeland Mo-Mangelercheinungen nicht selten sind. Diese Parallele weist neben anderen auf die große Ähnlichkeit des Klimas und der Böden in den beiden pazifischen Ländern hin. Für eine adäquate Behandlung der vulkanischen Aschenböden Chiles finden sich daher im neuseeländischen Schrifttum wesentlich mehr förderliche Hinweise als in Europa oder Nordamerika. Diese Tatsache wurde bisher nicht genügend beachtet.

6. Zusammenfassung

Im südchilenischen Längstal, wo ein gemäßigttes Westküstenklima herrscht, sind drei Typen vulkanischer Aschenböden verschiedenen Alters verbreitet. Mit repräsentativen Stichproben werden einige Merkmale erfaßt, welche auf die Fruchtbarkeit der wechselweise als Gras- und Ackerland genutzten Böden Einfluß haben. Unter Verwendung dieser Daten werden die Unterschiede gegenüber mitteleuropäischen Böden sowie zwischen den behandelten Bodengruppen herausgestellt.

Für holozäne, in Chile als „Trumaos“ bezeichnete Andosole, sind solche Eigenschaften typisch, die mit ihrem Gehalt an sorptionsfähigen Ton-

mineralen (Allophanen) und Sesquioxiden verknüpft sind. Hoher Humusgehalt und großes PO_4 -Fixierungsvermögen kennzeichnen diese Beziehung. Hohe H-Werte und große KUK sind weitere charakteristische Eigenschaften.

Diluviale Aschenböden („Rojos arcillosos“) nehmen eine Mittelstellung ein. Mit den rezenten Aschenböden haben sie erhebliche Schluffgehalte gemeinsam. Durch andere Eigenschaften (höhere Tongehalte, geringere Mengen an Gesamt-P) nähern sie sich aber auch den Lehm Böden („Arcillosos“). Unter dieser Bezeichnung werden Latosole zusammengefaßt, die ihren Ursprung im tertiären Vulkanismus oder im alten Küstengebirge haben.

Junge Aschenböden enthalten auffallend viel Gesamt-P. Trotzdem ist die Verfügbarkeit dieses Nährstoffes gering, er tritt regelmäßig als begrenzender Faktor in Erscheinung. Dafür ist die ungewöhnlich hohe PO_4 -Fixierungskapazität verantwortlich.

Der Basensättigungsgrad ist überall und unabhängig vom Bodentyp sehr niedrig. Dementsprechend sind die Mengen an austauschbarem Ca und K gering. Auf jungen Aschenböden ist trotzdem die K-Versorgung der Vegetation wegen des großen Nachlieferungsvermögens im allgemeinen gesichert. Für Ca besteht dagegen eine deutliche Mangelsituation.

Einige Hinweise für die Praxis werden gegeben: Trumao soils sollten wegen der großen Wasserkapazität und des ungünstigen P-Zustandes als Weideland gegenüber den Lehm Böden bevorzugt werden. Es wird dargelegt, daß Aufkalkungsmaßnahmen die P-Verfügbarkeit wenig beeinflussen und für Aschenböden nicht empfehlenswert sind.

Summary

In Southern Chile which has a moderate west coast climate three types of volcanic ash soil of various ages are to be found. These soils are used alternately for pasture and cropping. An Analysis of representative samples showed certain properties which have a influence upon the fertility of these soils. The data obtained serve to pinpoint the differences between the group of soils themselves as well as between them and European soils.

The young andosols known as „Trumao soils“ are distinguished by properties connected with the presence of clay minerals with high adsorption capacity. This relationship is characterized by noticeable organic matter content and high anion fixing capacity. Also as a consequence they show high cation exchange capacity and great amounts of exchangeable hydrogen.

Pleistocene volcanic ash soils („Rojos arcillosos“) have transitional properties. Owing to their high silt fraction values, they are comparable to the Trumao soils. But in other respects (relatively high clay content,

lower total phosphorus) they resemble loamy soils. This term also covers latosols („Arcillosos“) which have their origin partly in an extinguished tertiary volcanism and partly in the old coastal mountains. Young volcanic ash soils have a high phosphorus content. Nevertheless the availability of this nutrient to the plant is low, due to the unusually high phosphate fixation capacity of these soils.

Base saturation is strongly influenced by high rainfall and therefore can hardly be improved by liming. Regardless of the soil type this property shows unfavourable values everywhere. As a result of this the values of exchangeable Ca and K are low. Nevertheless sufficient potassium-provision of the plants is guaranteed even without fertilizer treatment. This may be a consequence of rapid weathering processes. On the other hand there is evidence of Calcium deficiency.

Owing to their higher water capacity and the phosphorus relations Trumao soils should be more favourable for pasture land than loamy soils. It is stated that on Trumao soils liming has little influence on phosphate availability and is therefore only recommended for the loamy soils of the region.

Literaturverzeichnis

1. ALMEYDA, E., 1958: Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Santiago de Chile.
2. BESOAIN, E. M., 1958: Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. Agricultura técnica (Santiago) 18, 110—165.
3. —, and GARCIA-VICENTE, 1962: Clay mineralogy of some volcanic ash soils of Chile. Neues Jahrb. Miner. (Abh.) 98, 349—366.
4. BINSACK, R., 1965: Schriftl. Mittlg. (Unveröffentl. Manuskri.)
5. BIRRELL, K. S., and M. FIELDS, 1952: Allophane in volcanic ash soils. J. Soil Sci. 3, 156—166.
6. BROADBENT, F. E., JACKMAN, R. H., and J. McNICOLL, 1964: Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil Sci. 98, 118—128.
7. FIEDLER, H. J., 1964: Die Untersuchung der Böden Bd. 1, Verlag Th. Steinkopf, Dresden u. Leipzig.
8. —, 1965: Die Untersuchung der Böden Bd. 2.
9. —, und H. REISSIG, 1964: Lehrbuch der Bodenkunde. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
10. FLEISCHEL, H., 1965: Das Verhältnis von Calcium und Phosphor im Futter, sein Einfluß und seine Beeinflussung. Die Phosphorsäure 25, 49—65.
11. GERICKE, S., und B. KURMIES, 1952: Die kolorimetrische P-Bestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. Z. Pflzern. Düng. Bodenk. 59, 235—247.
12. HENKENS, C. H., 1962: Bedeutung des Kupfers für Ackerbau und Grünland. Landw. Forsch., Sonderh. 16, 56—65.
13. JACKMAN, R. H., 1960: Organic matter stability and nutrient availability in Taupo pumice. New Zealand J. Agric. Res. 3, 6—23.

14. KANNO, I., 1962: Genesis and classification of humic allophane soils in Japan. *Transact. Joint Meet. Comm. IV & V, Internat. Soc. Soil Sci., Wellington (New Zealand)*.
15. KLAPP, E., 1956: Futterbau und Futterwirtschaft in Chile zwischen dem 30. und 42.° südl. Br. *Bonner geographische Abhandl.* 17, 87.
16. —, 1956: Wiesen und Weiden. Paul Parey, Berlin u. Hamburg.
17. KOCH, O., und G. KOCH-DEDIC, 1964: *Handbuch der Spurenanalyse.* Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York.
18. MENDEL, K., 1965: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
19. MUNK, H., 1965: Die Versorgung der Wiederkäuer mit Phosphor und Calcium auf dem Grünland. *Die Phosphorsäure* 25, 26—48.
20. NIESCHLAG, F., 1965: Kennzeichnende Faktoren der Bodenfruchtbarkeit (Ertragsfähigkeit). *Z. Pflanz. Düng. Bodenk.* 109, 177—182.
21. ORCHISTON, H., 1959: Adsorption of water vapor. VII: Allophane and some clay minerals at 25° C. *Soil Sci.* 88, 159—163.
22. SAUNDERS, W. M. H., and E. G. WILLIAMS, 1955: Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* 6, 254.
23. SCHEFFER, F., und P. SCHACHTSCHABEL, 1966: *Lehrbuch der Bodenkunde.* Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
24. —, B. ULRICH und J. H. BENZLER, 1960: Die Bestimmung von Phosphorsäure und Kieselsäure als Molybdänblau. *Landwirtsch. Forsch.* 13, 191 bis 201.
25. SCHMID, G., 1965: Einfluß der Basensättigung auf die Bodenfruchtbarkeit. *Landwirtsch. Forsch.* 18, 97—107.
26. SCHOLL, W., 1965: Magnesiumbestimmung durch die Atomabsorptionmethode mittels der Hohlkathode der Firma Carl Zeiss. *Landwirtsch. Forsch., Sonderh.* 19, 131—136.
27. SCHWABE, G. H., 1961: Düngungsversuche zu Körnerfrüchten im südlichen Chile unter Berücksichtigung mikroklimatischer Einflüsse. *Die Phosphorsäure* 21, 113—141.
28. SCHWERTMANN, U., 1961: Über das lösliche und austauschbare Aluminium im Boden und seine Wirkung auf die Pflanze. *Landwirtsch. Forsch.* 14, 53—59.
29. SIOLI, H., 1954: Betrachtungen über den Begriff der Fruchtbarkeit eines Gebietes an Hand der Verhältnisse in Böden und Gewässern Amazoniens. *Forsch. u. Fortschritt* 28, 65—72.
30. STIMMING, H.-H., 1961: Über den Mineralstoffhaushalt südchilenischer Böden unter besonderer Berücksichtigung der Ergebnisse von Felddüngungsversuchen. *Diss. TH Berlin.*
31. WEINBERGER, P., 1970: *Apreciación de la fijación del Fósforo en suelos de ceniza volcánica, mediante la determinación de la pérdida del peso por calcinación.* Ediciones Inst. Botánica, Universidad Austral de Chile (Valdivia), 1, 1—8 (dtsh. Zusammenfass.).
32. —, 1970: Der „Phosphatsättigungsgrad“, eine Methode zur Beurteilung der P-Verfügbarkeit südchilenischer Aschenböden mit hoher Anionensorptionskapazität. Zum Druck eingereicht.
33. —, und R. BINSACK, 1970: Zur Entstehung und Verbreitung der Aschenböden in Südhile. *Der Tropenlandwirt* 71, 19—31.
34. WILD, A., 1950: The retention of phosphate by soil. A review. *J. Soil Sci.* 1, 220—238.