Zeitschrift: Acta Tropica

Herausgeber: Schweizerisches Tropeninstitut (Basel)

Band: 9 (1952)

Heft: 1

Artikel: Die agrogeologische Aufnahme jungfräulicher Grossräume als Grundlage der Wirtschaftsplanung

Autor: Vageler, Paulo

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-310394

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die agrogeologische Aufnahme jungfräulicher Großräume als Grundlage der Wirtschaftsplanung.

Von Paulo Vageler.

(Eingegangen am 20. November 1951.)

Die letzten Jahrzehnte der internationalen agrogeologischen Forschung haben zu dem heute praktisch allgemein als richtig anerkannten Schluß geführt, daß die bisher allgemein übliche bodenkundliche Landesaufnahme hinsichtlich ihrer Feld- und Laboratoriumstechnik und auch der Darstellungsform für noch unerschlossene Großräume, wie sie sich heute in Afrika, Asien und besonders auch Südamerika in riesigen Ausmaßen von Hunderttausenden von Quadratkilometern finden, einer Ergänzung und teilweisen Umwandlung bedarf.

Die üblichen Aufnahmemethoden wurden in Ländern des gemäßigten Klimas entwickelt, deren Böden teilweise seit Jahrhunderten in Kultur waren. Die Aufgabe der bodenkundlichen Untersuchung war anfänglich im wesentlichen die wirtschaftliche Charakterisierung kleiner Einzelgebiete: Güter usw. Aus dem sich im Laufe von Jahrzehnten ergebenden zunächst zusammenhanglosen Mosaik von Beobachtungsdaten leitete dann die wissenschaftliche Bodenkunde Folgerungen genetischer und diagenetischer Natur über die Bildung und Verteilung der Böden ab, die im übrigen von der Praxis zunächst vielfach als rein theoretischer Sport ohne wesentlichen Anwendungswert betrachtet wurden. Eine unberechtigt negative Einschätzung, die sich jedoch einfach daraus erklärt, daß die praktische Kulturerfahrung der Bodenkundlichen Forschung vorangegangen war.

Mit dem Beginn der Erschließung speziell der tropischen und subtropischen Großräume, in welchen die jahrhundertelange praktische Erfahrungsbasis fehlte, führten schwere wirtschaftliche Verluste durch falsche Bodenwahl und -behandlung langsam zu der Überzeugung, daß in dieser «terra incognita» die Bodenforschung und insbesondere die pedologische und agrogeologische Landesaufnahme der Kultivierung zur Vermeidung solcher Verluste voranzugehen habe, d. h. das umgekehrte Vorgehen wie in den alten Kulturländern Bedingung des Wirtschaftserfolges war.

Die bodenkundliche Landesaufnahme gewann damit besondere

Wichtigkeit für die betreffenden Regierungen als Grundlage rationeller Planung von Kolonisation, Bewässerungsanlagen und sachlicher Einschätzung der wirtschaftlichen Möglichkeiten der Länder im allgemeinen.

Die bodenkundliche Aufnahme eines jungfräulichen Großraumes mit seiner Ausdehnung von oft Hunderttausenden von Quadratkilometern, wie sie sich in den Großkontinenten vielfach finden, stellt eine wissenschaftlich-praktische Aufgabe vor, von deren Schwierigkeiten sich der Bodenkundler weitgehend erschlossener Länder mit landwirtschaftlicher Tradition kaum eine richtige Vorstellung machen kann. Klima, geologische und petrographische Bedingungen variieren in den weitesten Grenzen. Höhenunterschiede bis zu Tausenden von Metern sind zu berücksichtigen. Zuverlässige Karten existieren nur für sehr wenige durchforschte kleine Teilgebiete. Bei im Durchschnitt großer Menschenarmut ist das Netz der Verkehrswege sehr locker, und die Zugänglichkeit weiter Strecken ist beschränkt.

Die Anwendung der üblichen Grundsätze bodenkundlicher Landesaufnahmen in Mosaikform würde eine Feld- und Laboratoriumsarbeit von vielen Jahrzehnten bedeuten, die viel zu langsam wäre, um den wirtschaftlichen Bedürfnissen der sich entwickelnden Länder nach schneller Nutzung ihrer Möglichkeiten zu genügen.

Eine solche Übersicht kann nur eine globale agrogeologische Aufnahme mit analytischen Schnellmethoden der Untersuchung liefern, bei welcher die Musternahme nach genetischen und diagenetischen Gesichtspunkten erfolgt, deren Resultate es gestatten, zwar nicht die einzelnen Bodenarten genau zu lokalisieren, wohl aber die Gebiete gleicher Nutzungsbedingungen bestimmter Bodengruppen genau genug zu umreißen, um ein Urteil über ihren wirtschaftlichen Wert zu ermöglichen. Sie muß den Rahmen der späteren detaillierten pedologischen Untersuchung bilden.

Der von einer Reihe namhafter Bodenkundler unternommene Versuch, auf Grund der klimatischen Theorie der Bodenbildung und -verteilung eine wenigstens global richtige Klassifizierung und Lokalisierung der wichtigsten Bodentypen zu geben, wie es für Brasilien z. B. durch MATHAEI und KELLOG geschehen ist, ist restlos gescheitert. Die seinerzeit als entscheidender Fortschritt der Bodenkunde betrachtete klimatische Theorie ist nur auf petrographisch auf weiten Flächen gleichartige Flachländer, wie große Teile Rußlands und der Vereinigten Staaten von Nordamerika, einigermaßen befriedigend anwendbar, weil hier das Klima die alleinige Variante ist. Sie versagt in allen anderen Fällen und ganz besonders zur wirtschaftlich brauchbaren Charakterisierung nicht gleichförmiger Teilgebiete durchaus.

Ständig mehren sich die Stimmen der Forscher mit genügender Felderfahrung, wie NIKIFOROFF, PENDLETON u. a. m., daß die Ableitung der sogenannten «großen klimatischen Bodentypen» der Welt aus der Klimatheorie ein Irrtum, besser, eine unberechtigte Verallgemeinerung ersten Ranges war, weil sie auf unhaltbaren Voraussetzungen beruht. Welches Urteil natürlich durchaus keine Unterschätzung des Klimas als bodenbildender Faktor bedeutet!

Um Mißverständnissen von vornherein vorzubeugen, erscheint es nicht überflüssig, eine Definition des Begriffes «Boden» zu geben, die sich im Laufe der letzten Jahrzehnte sehr wesentlich verändert hat.

Für die moderne Bodenkunde ist heute «Boden» nicht mehr nur die «oberste Verwitterungsschicht der festen Erdrinde» (RAMANN), auch nicht ein «Gemisch von festen Teilchen mit Wasser und Luft, geeignet eine Pflanzenvegetation zu tragen» (MITSCHERLICH), sondern das selbst eine lebende Individualität vorstellende Grenzgebiet zwischen Litho- und Biosphäre, das unter dem Einfluß der makro- und mikroklimatischen Verhältnisse der jeweiligen Örtlichkeit und ihrer periodischen und aperiodischen Änderungen, des örtlichen Reliefs und, entscheidend, der örtlichen Lebewelt auf das Ausgangsmaterial in ständiger Entwicklung auf ein niemals ganz erreichbares Gleichgewicht begriffen ist (JOFFE, JENNY, BORDAS, VAGELER u. a. m.).

Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind natürlich die anstehenden Gesteine der Erdrinde, aber nur in indirekter Weise. Niemals und unter keinen Umständen hat sich je ein Boden direkt aus Gestein entwickelt! Das feste Gestein ist ein *einphasiges* System, an welchem die Lebewelt auch in ihren primitivsten Formen keine Angriffspunkte findet. Erst müssen durch den Einfluß irgendwelcher abiotischer Faktoren die Gesteine und weitgehend auch die Gitter der Mineralien mindestens teilweise zertrümmert sein, also aus dem festen einphasigen System ein dreiphasiges polydisperses: feste Substanz, Wasser und Luft, d. h. ein *Regolit* geworden sein. Erst dann kann die Lebewelt, die ihrerseits weitgehend eine Funktion des Klimas ist, aus dem abiotischen Regolit, der wirklich, im Sinne MITSCHERLICHS, nur ein Gemisch von festen Teilchen, Wasser und Luft ist, einen Boden im modernen Wortsinne formen, indem sie dem Regoliten eine durch sämtliche diagenetischen Faktoren der Örtlichkeit gemeinsam bedingte charakteristische Struktur in Profilen verleiht, und schließlich durch ihre Exkrete und Zersetzungsprodukte auch das Muttergestein angreifen und die Zersatzschicht vertiefen. Ist der Eingriff des Lebens aus irgendwelchen Gründen nicht möglich, z. B. wenn sedimentäre Ablagerungen eine autochthone oder allochthone Regolitschicht so schnell

und gründlich überdecken, daß die Pflanzenwelt und Tierwelt des Bodens: das Edafon im weitesten Wortsinn, zu ihrer Entwicklung keine Zeit findet, so wird aus dem indifferenten Regolit kein Boden, sondern wieder ein Gestein, mag dieser Vorgang auch mit geologischen Zeitmaßen rechnen.

Alle bodenbildenden Faktoren sind nun durchaus keine Konstanten, wie die mißverstandene Klimatheorie stillschweigend annahm. Das Klima wechselt nicht nur im Laufe des Jahres, sondern schon in historischen und ganz grundlegend in geologischen Zeiträumen. Das gilt schon vom Luftklima, besser, um Irrtümer zu vermeiden, als *Makroklima* zu bezeichnen. Das Bodenklima, oder *Mikroklima*, ist vollends eine völlig veränderliche Größe, die vielfach recht wenig mit dem Makroklima zu tun hat. Selbst im superhumiden Makroklima sind steile Hänge, auf denen der Regen schnell abläuft, ausgesprochen arid. Selbst im Wüstenklima mit verschwindenden Niederschlägen sind Senken, in denen sich das ablaufende Wasser sammelt, oft humid bis zum zur Sumpf- und Moorbildung führenden Wasserüberschuß, oder lebensfeindliche Salzpfannen.

Unter dichter Vegetation ist unter allen Umständen die Bodentemperatur niedriger und die Feuchtigkeit größer als im schwach bewachsenen oder ganz leeren Gelände mit starker Insolation.

Als wesentliche Funktion des Makroklimas wechselt der Vegetationscharakter normalerweise nur in mehr oder weniger geologischen Zeiträumen von Tausenden von Jahren. Aber schon die Tierwelt beschleunigt durch ihre Entwicklung zuweilen diesen Wechsel erheblich. Er wird rapid unter dem Einfluß des Menschen, der als sein eigener schlimmster Feind die Wälder niederschlägt und Raubbau an den Böden treibt, ohne für Ersatz der Vegetation und der dem Boden entzogenen Stoffe zu sorgen. Ob damit das Makroklima entscheidend beeinflußt wird, ist eine Frage, die bis heute eine allgemein anerkannte Antwort noch nicht gefunden hat. Daß aber dadurch das für die Bodenbildung entscheidende Mikroklima in den weitesten Grenzen verändert wird, kann nicht dem mindesten Zweifel unterliegen.

Auch das *Relief einer Örtlichkeit* wird gewöhnlich als eine gegebene feste Größe betrachtet. Vom bodengenetischen Standpunkt ist diese Auffassung unhaltbar. Auch das Relief unterliegt einem beständigen, gesetzmäßigen Wechsel, wie leicht zu begründen ist. Völlig horizontale und ebene Flächen existieren in der Natur nicht. Stets gibt es selbst im ebensten Makrorelief ein Mikrorelief, d. h. relative Höhen und Senken. Im Wüstenklima ohne jeden Regen sorgt der Wind in größtem Ausmaße dafür, daß sich das Relief dauernd verschiebt, durch Ausblasung von feinem Material und

Anhäufung von äolischen Böden und Dünen, mindestens bis eine Panzerung der Oberfläche durch die zurückbleibenden Kiese und Steine dem Vorgang schließlich ein Ende bereitet. Ein Beispiel sind die *Hamadas* der großen Wüstengebiete der Erde, in welchen von Boden überhaupt nicht mehr gesprochen werden kann und selbst bei Stürmen kein Staub die Reinheit der Atmosphäre trübt. Fällt aber Regen, so fließt notwendigerweise das nicht sofort vom Boden aufgenommene oder verdunstende Wasser von den relativen Höhen nach den relativen Senken ab und sei die Höhendifferenz noch so klein, und transportiert «erodiertes» Material sortierend von oben nach unten. Die Höhen werden so dauernd abgetragen, die Senken aufgefüllt, d. h. mindestens das Mikrorelief wird ständig verschoben, und zwar in oft ziemlich kurzen Zeiträumen. In Jahrtausenden ebnet sich auch das größte Makrorelief ein und wird zum «*Peneplain*».

Bodenkundlich hat diese ständige Kombination von Erosion, Materialsortierung und Sedimentation eine ganz besondere Bedeutung, über welche leider vielfach hinweggesehen wird, trotzdem sie für das Verständnis der Bodenbildung und Bodenverteilung in der Natur von ausschlaggebender Wichtigkeit ist.

Die Bodenkunde unterscheidet seit Jahrzehnten zwischen Bodenschichten und Bodenhorizonten. Als Bodenschicht — besser als Regolitschicht — sind die durch Sedimentation sich bildenden Regolitlagen, die allochthonen Regolite, oder das aus dem anstehenden Gestein gebildete Zersatzmaterial, die autochthonen Regolite, zu verstehen.

Die Schichten sind das Ergebnis der Genese der Regolite. Die Bodenhorizonte sind das Ergebnis der örtlichen Diagenese, d. h. der Umwandlung der obersten Regolitschicht oder der obersten Regolitschichten in «Boden», durch den Einfluß der Lebewelt.

Man bezeichnet gewöhnlich jeden Horizont, aus welchem Stoffe durch Auswaschung usw. verlorengehen, als *Eluvialhorizont* oder *A-Horizont,* jeden Horizont, in welchem die aus einem A-Horizont herrührenden Stoffe sich anhäufen, als einen *Illuvialhorizont* oder *B-Horizont*. Die ältere Bodenkunde benannte das anstehende Gestein, wo ein solches vorhanden war, allgemein als *C-Horizont* oder «*Muttergestein*».

Daß das letztere oftmals falsch ist, weil z. B. bei auf Fels abgelagerten sedimentären und ganz besonders äolischen Böden das unterliegende Gestein sehr häufig nichts mit dem von weither transportierten Regolit, der sich aus den Resten unter Umständen völlig anderer, Hunderte von Kilometern entfernter Gesteine zusammensetzt, zu tun hat, liegt auf der Hand.

Nur wenn der genetische Zusammenhang des Regolites mit dem

anstehenden Gestein durch mineralogische Analyse einwandfrei festgestellt ist, ist der Ausdruck C-Horizont für das anstehende Gestein berechtigt. Besteht ein solcher genetischer Zusammenhang nicht, so ist das etwa im Untergrunde anstehende fremde Gestein als D-Horizont zu bezeichnen. (Soil survey USA.)

Im Felde besonders schwierig ist die sachliche Feststellung der B-Horizonte, die gemeinsam mit den A-Horizonten den «Boden» ausmachen, wobei freilich B oft fehlt. Im humiden Klima, wo die Niederschlagsmenge ständig die Verdunstung überwiegt und die Wasserbewegung infolgedessen stets oder doch überwiegend von oben nach unten gerichtet ist, liegt der A-Horizont über dem B-Horizont. Aber schon im semihumiden Klima ist nur während der Regenzeit A über B, dagegen zur Trockenzeit B über A, weil dann Salze usw. von unten aufsteigen und sich oberflächlich oder nahe der Oberfläche häufen. Damit verliert die allgemeine scharfe Unterscheidung von A- und B-Horizonten weitgehend ihre Eindeutigkeit. Sie mündet notwendigerweise in einem Kompromiß:

Als A-Horizonte, beginnend mit A_{00} und A_0, d. h. der meistens, wenn auch nicht immer, zu unterscheidenden Schicht noch mehr oder weniger strukturierten Pflanzenmaterials und amorphen Mulls, sollten praktisch die Horizonte der Hauptverbreitung der Lateralwurzeln bezeichnet werden. Als B-Horizonte sollten nur die Horizonte betrachtet werden, die sich durch deutliche Verdichtung oder Verfestigung, größeren Gehalt an feinsten Teilen oder eventuell auch Salzen als die über- und unterliegenden Schichten, geringere Durchlässigkeit als die letzteren usw., als zweifellose Illuvialhorizonte repräsentieren, was sich sehr häufig erst auf Grund der Analyse, aber nicht immer oder sogar relativ selten im Felde feststellen läßt. Oft zeigt allerdings die ausschließliche Existenz

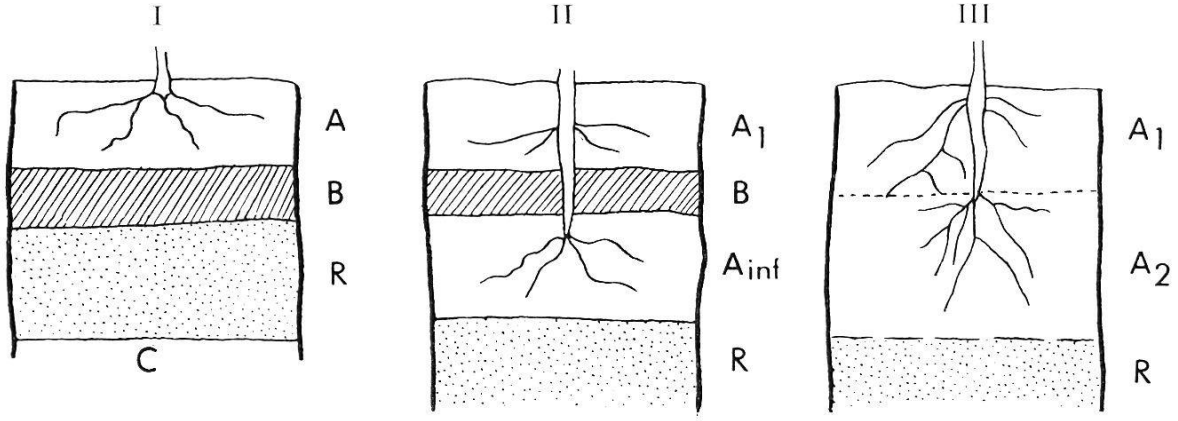

Abb. 1. Wurzelverteilung.

I. Typischer für Wurzeln und Wasser undurchdringlicher B-Horizont.
II. B-Horizont mit Vertikalwurzeln über unterem A-Horizont (A_{inf}).
III. Gleichförmige A-Horizonte, ohne scharfe Grenze in den Regoliten R übergehend.

von Vertikalwurzeln, von welchen in größerer Tiefe erneut Lateralwurzeln abzweigen, oder gänzliches Fehlen von Wurzeln den B-Horizont an. Im ersteren Falle liegt, wie Abb. 1/II zeigt, unter B erneut ein A-Horizont, praktisch als A_{inf} zu bezeichnen, im letzteren naturgemäß der Regolit R (Abb. 1/I).

Der Fall eines A-Horizontes unter B wird leider bei der Profilbeschreibung bisher meistens übersehen, trotzdem gerade er praktisch von Bedeutung ist. Es ist klar, daß flachliegende, wenig mächtige B-Horizonte relativ leicht durch Untergrundlockerung oder evtl. sogar schon durch tiefes Pflügen zu beseitigen sind, womit der Wurzelverbreitung und damit der Wasser- und Nährstoffversorgung der Kulturen schlagartig große zusätzliche Räume erschlossen werden. Bei tiefer Lage derartiger B-Horizonte führt häufig Sprengung mit Dynamit zum Ziel, wie sie z. B. in Indonesien bei Baumkulturen mit bestem Erfolg angewandt wird.

Fehlt ein B-Horizont, d. h. geht A unmerklich in den Regoliten R über, so ist die Abgrenzung der beiden Horizonte mehr oder weniger willkürlich. Der Tiefengang der Wurzeln wird dann wesentlich durch die Eindringungstiefe der Niederschläge begrenzt, d. h. er schwankt mit der jeweiligen Niederschlagshöhe.

Es kann bei kritischer Sichtung des internationalen vorliegenden Analysenmaterials kaum einem Zweifel unterliegen, daß, bei transportierten, d. h. allochthonen Böden, viele sogenannte B-Horizonte durchaus keine solchen, sondern durch Variation der Absatzbedingungen abweichend strukturierte und/oder texturierte Bodenschichten sind. Ein oft, wenn auch nicht immer, erfolgreiches Kriterium ist für den letzteren Fall ein stark von den in den A-Horizonten beobachteten Werten abweichender Wert der totalen Ionensorptionskapazität $Tt = (Tc + Ta)$ des fraglichen Horizontes bezogen auf die «Ton»substanz. Ein Bezugswert, der bodengenetisch ein größeres Interesse verdient, als er es bisher gefunden hat.

So ergibt sich als praktisches Schema der Profilbeschreibung das folgende:

A_{00}	etwaige Streuschicht, noch strukturiert,
A_0	Mullschicht, unstrukturiertes, aber nicht oder kaum mit Gesteinsresten durchmischtes organisches Material,
A_1 — evtl. A_{inf}	Zonen der ausgesprochenen Lateralwurzelverbreitung,
B_1—?	verdichtete, verfestigte, konkretionäre und evtl. an Salzen angereicherte, meist weniger als A und A_{inf} oder R durchlässige Horizonte,

a) ohne jede Wurzelverbreitung.
b) nur mit Vertikalwurzeln, in diesem Falle oft von A_{inf} unterlagert.

R Regolit ohne jede Wurzelverbreitung und sonstigen *modernen* biologischen Einfluß [1],

C Muttergestein unter autochthonem Regolit.

D fremdes Basisgestein unter allochthonem Regolit.

Es versteht sich nun von selbst, daß der Abtrag der relativen Höhen eines Geländes durch Schichtfluten oder Linienerosion ständig A_0-, A_1- usw. Horizonte zerstört, wodurch nach und nach die tieferen Horizonte (B, R, usw.) der Höhen zu A_0, A_1 usw. werden. Die relativen Höhen sind dadurch das relative Eluvium (El) der benachbarten Senken. Auf den Hängen werden andererseits ständig A_0- usw. Horizonte von unsortiertem Erosionsmaterial überdeckt und dadurch unter Umständen zu B und R. Hier herrscht das Relative Colluvium (Col). In erhöhtem Maße gilt das naturgemäß für die meist, wenn auch durchaus nicht immer, tonreicheren Senken, das Relative Alluvium (Al), das in der Regel, bei starker Erosion relativ schnell, zum Regolit, bei großer Undurchlässigkeit und dadurch bedingter Wasserstauung sogar zu C oder D werden kann, auf welchem sich ohne Zusammenhang mit dem mineralischen Substrat Sümpfe und Moore, also organogene Böden entwickeln, bzw. im Trockenklima Salzsümpfe und -pfannen. Kurz zusammengefaßt bedeutet das aber, daß der Begriff des «reifen», d. h. des nicht weiter veränderlichen Bodens und seines Profiles eine in der Natur kaum aufzufindende Fiktion ist, wie besonders NIKIFOROFF mit Recht betont. Jeder Boden ist in periodischer Entwicklung das Ergebnis von Rohmaterial, Klima, Relief und Geschichte. Seine Eigenschaften und sein Vorkommen sind nur unter Berücksichtigung aller dieser Faktoren wirklich zu verstehen. (JENNY, VAGELER).

Daß diese Notwendigkeit der individuellen genetischen und diagenetischen Analyse jedes Profiles in Sedimentationsgebieten besonders dringend ist, versteht sich von selbst.

---

[1] Die Einschränkung *modern* ist wichtig, da es viele *heutige* allochthone Regolite gibt, deren Material schon einmal Boden war. Es ist bezeichnend für die verhängnisvolle menschliche Tätigkeit, daß heute als Ergebnis speziell der *Winderosion* auf leichtfertig freigelegten falsch behandelten Flächen die Zahl solcher Regolite in ständigem schnellem Aufstieg begriffen ist. Ein erschütterndes, sehr kostspieliges Beispiel sind die Vereinigten Staaten von Nordamerika, wo sich heute durch die Staubstürme die Krume von fast 2/3 des Ackerlandes Hunderte von Kilometern von ihrem Bildungsort unter Zurücklassung oft wertlosen Untergrundes als neuer «Regolit» abgesetzt hat (dust-bowls).

Von der klimatischen Bodentheorie wird in der Regel nur ein autochthones El-Profil, in besonders günstigen Fällen einmal ein altes Colluvium und fast niemals ein Alluvium erfaßt. Ein Umstand, der natürlich allen nicht nur oder nicht überwiegend am Schreibtisch arbeitenden Bodenkundlern, deren Zahl leider überraschend klein ist, nicht verborgen bleiben konnte.

Das Resultat war ein doppeltes:

1. die Schaffung des Begriffes des «reifen» Bodens und Bodenprofils als Notausgang. Er deckt, aller Floskeln entkleidet, ganz einfach die Profile, die zufällig einmal mit den theoretischen Forderungen übereinstimmen. Es sind seltene Museumsstücke, die mir in 50 Jahren Feldarbeit in vier Kontinenten nur nach intensivster Suche vorgekommen sind. Es ist kaum übertrieben zu behaupten, daß mindestens 99% aller Böden der Erde weit davon entfernt sind, «reif» zu sein, weil sie es gar nicht sein können.

2. Um die zahllosen Ausbrecher aus der Theorie irgendwie zu erfassen, wurden dann die sogenannten «*azonalen Böden*» erfunden, deren Hauptreiz in ihren sehr geheimnisvoll und wissenschaftlich lautenden Bezeichnungen liegt. Macht sich, wie es übrigens auch beim «reifen» Boden sehr häufig der Fall ist, der Einfluß des Regolits und Muttergesteins unangenehm bemerkbar, so ist der Boden «*endodynamomorph*». Hat er sich als Senkenboden gebildet, d. h. bei Wasserüberschuß, so ist er «*hygromorph*» usw. Paßt ein Profil gar nicht ins theoretische Programm, so ist es «unreif» oder «verstümmelt». Über die organogenen Böden schweigt in der Regel des Sängers Höflichkeit vollkommen, da sie sich beim besten Willen nicht ins Schema fügen.

Es ist unter diesen Umständen kein Wunder, daß es zur Zeit fast mehr «Klassifikationen» als Böden gibt, wobei der Hauptgrund ohne Zweifel in der Wehrlosigkeit des Substrates gegen Angriffe vom Schreibtisch und Laboratorium aus liegt. Von dieser Angriffsstellung aus, die den verlockenden Reiz der Bequemlichkeit hat, wird meistens völlig die Tatsache der absoluten örtlichen Individualität jedes Bodens übersehen, der oft, vom momentanen Klima kaum beeinflußt — «verstümmelte» Profile —, in sich das Erbe einer Jahrhunderte und Jahrtausende langen Geschichte trägt, in deren einzelnen Perioden völlig andere genetische und diagenetische Verhältnisse herrschten, als es zur Jetztzeit der Fall ist.

In logischer Konsequenz dieser Tatsachen sind eine ganze Reihe von bodenkundlichen Landesaufnahmen, soweit sie nicht nur praktische Zwecke verfolgen oder sich gar auf bloße Bonitierung beschränkten, im Chaos gelandet. Daß die global orientierende Landesaufnahme nach völlig anderen Gesichtspunkten und Methoden

arbeiten muß als die pedologisch-landwirtschaftliche Aufnahme von einzelnen Grundstücken für Zwecke des örtlichen Pflanzenbaues, wird dabei fast ausnahmslos übersehen.

Dem letzteren Zwecke dient in der Tat am besten das Lokalmosaik der vorhandenen Bodenarten mit allen Einzelheiten in Bodenserien (USA.-Survey usw.). Aus solchen Mosaiken örtlicher Bedeutung läßt sich aber niemals der für die Landesaufnahme grundlegende genetisch-diagenetische Zusammenhang konstruieren. Das ist selbst dann nicht der Fall, wenn die Untersuchungsmethoden überall die gleichen wären, was auch nicht immer, ja sogar sehr selten, zutrifft. Schon die Unzahl der Lokalnamen schließt weiter jede Vergleichbarkeit aus! Sie entsteht erst, wenn die örtlichen Mosaike dem genetischen Globalrahmen sinngemäß eingefügt werden. Eine praktische Bedeutung für die Charakterisierung des Bodenmaterials hat von den vielen vorgeschlagenen Systemen auch für die Landesaufnahme nur das, allerdings nach dem heutigen Stande der Wissenschaft modernisierte, elastische Klassifikationssystem von DE SIGMOND, das objektiv auf den festgestellten Bodeneigenschaften fußt und, wie vorgreifend bemerkt sei, die Catenatheorie aufs glücklichste ergänzt.

In großen Flachländern erschien es verlockend, den Muster-Probenahmen ein Netz geographischer Coordinaten zugrunde zu legen (ältere Aufnahme des Anglo-Aegyptischen Sudans usw.). Leider ist die Natur so rücksichtslos, sich an geographische Coordinaten nicht zu kehren! Das heute in vielen Ländern angewandte amerikanische System der Bodenserien mit Lokalnamen ist bereits besprochen. Es hat, trotz seines tatsächlichen großen örtlichen Wertes, wie viele amerikanische Forscher heute selbst zugeben müssen, durch die Vielheit der Ortsnamen eine solche Verwirrung angerichtet, daß die Forderung nach völliger Neuorientierung der Landesaufnahme der USA. immer dringender wird, weil kein Sterblicher aus den Bodenkarten außerhalb der betreffenden Örtlichkeit selbst mehr klug werden kann. (PENDLETON, PRESTON-JAMES, NIKIFOROFF u. a. m.).

Der letzte Grund dieser negativen Resultate für die Landesaufnahme, in die die Serien einzugliedern wären, liegt auf der Hand. Er ist die falsche Wahl der zugrunde gelegten Bodeneinheit.

Die Catenatheorie.

Genau so wenig, wie man einen chemischen Stoff ohne Berücksichtigung seiner Verwandtschaftsverhältnisse und Bildungsbedingungen verstehen kann, lassen sich Boden- und Profilkarten aus dem genetischen und diagenetischen Zusammenhang reißen, in

«zonale» und «azonale» Typen und Serien aufteilen und gesondert behandeln. Relatives Alluvium und Colluvium sind absolut nicht «azonal», sondern einfach die durch Mikroklima und Relief modellierten Destillate des Relativen Eluviums als Glieder einer gesetzmäßigen Entwicklungskette. Sie sind genau so «zonal» bedingt, d. h. Funktionen der örtlichen genetischen und diagenetischen Faktoren: Muttergestein, Regolit, Relief, Klima, Lebewelt und Geschichte, wie das schönste «reife» Eluvium (JENNY, VAGELER).

Logische Bodeneinheit ist als Forschungs- und Kartierungsbasis der Landesaufnahme nicht der einzelne Boden, auch nicht das einzelne Profil, sondern die örtliche Gesamtheit: Relatives Eluvium, Colluvium und Alluvium einschließlich der die Endglieder dieser Kette unter Umständen bildenden organogenen Böden, bezogen auf Muttergestein bzw. Regolit, Klima, Relief und Geschichte.

VAGELER hat bereits 1909 bei der bodenkundlichen Aufnahme der Makattaebene in Deutsch-Ostafrika darauf aufmerksam gemacht, 1. daß in vergleichbarer relativer Höhenlage im gleichen Klima bei gleicher petrographischer Grundlage sich die physikalischen Bodeneigenschaften mit nahezu mathematischer Genauigkeit und die chemischen mit großer Annäherung wiederholen und 2. in mindestens relativ jungfräulichen Gebieten in einer zonal um die Höhen angeordneten typischen Vegetationsformation ihren vegetativen Ausdruck finden.

Praktische Folgerungen für bodenkundliche Landesaufnahmen wurden damals aus dieser Beobachtung nicht gezogen.

MILNE setzte entsprechende Untersuchungen in großem Maßstabe in Ostafrika fort und verdichtete sie gerade hinsichtlich der praktischen Landesaufnahme zur Catenatheorie der Bodenbildung und -verteilung. So schuf er durch Berücksichtigung der «Transversalen Componente», wie er sich ausdrückt, die oben als allein logisch herausgearbeitete Bodeneinheit der Zukunft: die Catena. Mit welchem Erfolge, zeigt seine revolutionäre «Bodenkarte von Ostafrika», die durch viele geäußerte theoretische Bedenken vom grünen Tisch sicherlich nicht an Wert verliert, wenn sie auch als erster Versuch naturgemäß vervollkommnet werden kann.

Der Inhalt dieser grundlegenden Theorie, die bei richtiger Anwendung — worunter allerdings nicht die inzwischen von verschiedener, besonders geographischer Seite (TROLL u. a.) gemachten sogenannten «Verbesserungen» zu verstehen sind, die sich bemühen, die kristallklare Logik des einfachen und darum vielen Theoretikern unsympathischen Grundgedankens in ihr kompliziertes Gegenteil zu verkehren — die schnelle gründliche und, last not least, relativ billige Aufnahme auch der größten Räume gestattet, was heute zu ständig zunehmender internationaler Anwendung

des Grundgedankens führt, ist in allgemein verständlicher Fassung nach dem heutigen Stande der Forschung der folgende:

Die Anordnung der verschiedenen Bodenzonen eines petrographisch und klimatisch einheitlichen Gebietes um jede relative Höhe im Sinne der transversalen Componenten, d. h. der Quer- bzw. Quer- und Längsgradienten des Geländes, wiederholt sich in jedem Einheitsgebiet mit solcher Annäherung, daß relativ wenige im Sinne der Gradienten genommene Bodenprofilserien zur Charakterisierung unter Umständen außerordentlich großer Gebiete genügen.

Diese Profilserien vom Relativen Eluvium durch das Relative Collovium zum Relativen Alluvium, die Catenas, deren einzelne Glieder durch eine charakteristische, wesentlich die Bodenwasserverhältnisse zum Ausdruck bringende Vegetation ausgezeichnet sind, gestatten bei kritischer Auswertung der Gradienten die Eigenschaften der zwischen den Probepunkten liegenden Böden selbst auf weiten Strecken mit für die Landesaufnahme als Rahmen der örtlichen Serienaufnahme praktisch genügender Annäherung zu interpolieren.

Damit erübrigt sich für Großaufnahmen weitgehend bei selbstverständlicher topographischer Festlegung der einzelnen Probepunkte die kartographische Fixierung der einzelnen Bodenarten. An ihre Stelle tritt, wie MILNE in meisterhafter Weise gezeigt hat, die leicht an Hand der geologisch-petrographisch-klimatischen Karte zu entwerfende Catenakarte, die an Hand der begleitenden Analysentabellen, Diagramme und natürlich hypsometrischen Feldbeobachtungen mit praktisch zur Orientierung völlig ausreichender Genauigkeit angibt, welche Bodenarten und Bodenverteilung zwischen jeder relativen Höhe und Senke des Gebietes *zu erwarten sind.*

Die Bezeichnung der Catenas erfolgt nach unseren Erfahrungen zweckmäßig nach Muttergestein, bzw. Ausgangsregolit und Klima, z. B. «Granitcatena im semiariden Klima», unter Angabe der Örtlichkeit und Höhenlage, wobei die Gradienten, ob steil oder flach, durch die Buchstaben a, b usw. am Colluvium Col bezeichnet werden können. Zur genauen Illustration dient das Catenadiagramm, von welchem Abb. 2 eine schematische Vorstellung gibt.

Das mitgeteilte Diagramm charakterisiert praktisch völlig ausreichend den nördlichen Teil des afrikanischen Zentralplateaus auf im Minimum 50 Millionen Hektar, und zwar erheblich genauer, als es das alte Vorgehen durch die Probenahme einer Vielzahl anscheinend verschiedener Böden jemals tun könnte, weil bei der Probenahme nach Catenas nicht die Örtlichkeit der Muster, sondern ihr *gesetzmäßiger Zusammenhang* entscheidet und damit die Interpolation auf weite Strecken erlaubt.

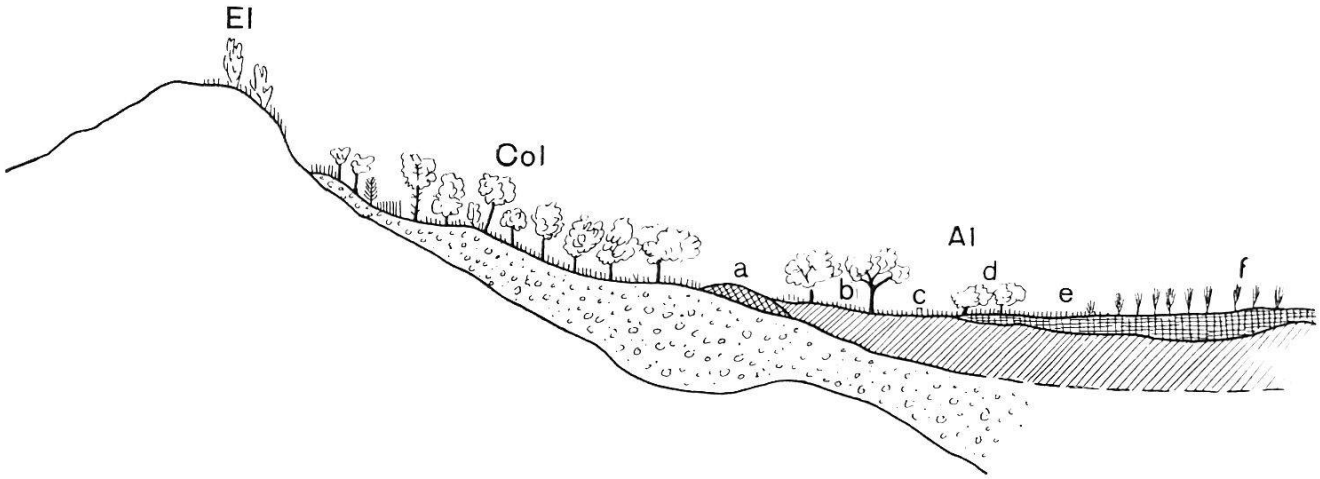

Abb. 2. Gneiß-Granit-Catena im semihumiden Tropenklima Ost-Afrikas (nach *Milne-Vageler*).

El: Grauerde *Vegetation:* Euphorbiaceen und Gramineen. Col: Roterde *Vegetation:* Buschwald mit Gras- und Krautunterwuchs. Al: Braun- bis Schwarzerden mit Toncharakter. a) Limonit-Panzerzone, b) Lichter Akazienwald, c) Cementationszone mit Niedergras, d) Dornbuschzone (Akazien und Mimosen), e) Steppe, f) Savanne.

Bei der großen praktischen Wichtigkeit der Frage erscheint, selbst auf die Gefahr von Wiederholungen hin, ein Eingehen auf Einzelheiten nicht überflüssig. Die Eigenschaften der transversalen Catenaglieder ändern sich nicht sprunghaft, sondern gehen durch die Entmischung der Bodenpartikeln beim Transport durch Wasser entsprechend der von oben nach unten abnehmenden Geschwindigkeit und damit Transportkraft des abströmenden Regens allmählich ineinander über. Die Böden werden von oben nach unten, wo das Wasser das transportierende Agens ist, zunehmend schwerer, d. h. in der Regel tonreicher. Da die Zunahme an Ton, also wirksamer Bodensubstanz, eine eingreifende Änderung der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften bedingt, insbesondere auch des Bodenprofiles als Ganzes, ist die Entwicklung von für die einzelnen Catenaglieder charakteristischen natürlichen Vegetationsformationen im Sinne der Gradienten und ihre sehr verschiedene Eignung für produktive Zwecke leicht verständlich. Sie zeigt sich ausnahmslos, wie jedem Praktiker bekannt ist, im Makrorelief, sehr häufig aber auch, und zwar sehr ausgeprägt, schon im Mikrorelief. Das beweisen selbst dem Laien z. B. die Fehlstellen von Saatfeldern in Senken.

Die Senkenböden, d. h. die örtlichen Schlußglieder einer Catena auf der relativen Erosionsbasis, sind durch ihren größeren Tonreichtum oft mehr oder weniger undurchlässig. Sie werden durch das in ihnen zusammenströmende und nur langsam versickernde und verdunstende Wasser schon bei relativ schwachen Regen jährlich längere Zeit überstaut. Von Höhen und Hängen ausgewaschene

Salze häufen sich in ihnen an, so daß selbst im feuchten Klima, besonders in den Tropen, die Steigerung des relativen Natriumgehaltes der Complexe über 6%, d. h. die beginnende Alkalisierung (nicht zu verwechseln mit Alkalinisierung), oft sogar bei ausgesprochen saurer Reaktion durchaus keine Seltenheit ist. Die Zahl der Beispiele ist Legion und an dem inselartig schlechten Stande der Felder (Zuckerrohr usw.) leicht zu beobachten.

Ist durch längeres Stagnieren des Wassers in den Senken die Feuchtigkeit besonders groß, so kann es zur Entwicklung der organischen Endglieder der Catenas führen: zur Sumpf- und schließlich zur Moorbildung, d. h. zum Auftreten weitgehend vom Tonuntergrunde, abgesehen von seiner Undurchlässigkeit, unabhängigen organogenen Deckschichten und ihren Folgen.

Im Trockenklima kann es leicht nicht nur zur völligen Alkalinisierung unter Steigen des pH auf lebensfeindliche Höhe ($>$ 8,5), sondern auch zur direkten Versalzung kommen. Hierfür Beispiele anzuführen, die auch dem oberflächlichsten Beobachter sich von selbst aufdrängen, dürfte sich erübrigen.

Daß Versalzung, Alkalisierung und Alkalinisierung ganz verschiedene Dinge sind, die freilich sehr häufig zusammen auftreten, kann nicht scharf genug betont werden. Solange ein Boden nur Neutralsalze enthält, bleibt er mehr oder weniger durchlässig und ist leicht auswaschbar. Seine Reaktion kann sauer bis neutral sein. Tritt dagegen bei Überschuß an Na dieses in die Complexbelegungen ein, so wird er durch die starke Hydratation der Mizellen undurchlässig. Die Reaktion, die zunächst bis etwa 6% Na im S-Wert noch sauer sein kann, wird allmählich alkalisch und erreicht durch Bildung von Na_2CO_3 bald eine vegetationsfeindliche Höhe (pH 8,5). Diese Böden, die sogenannten «black alkali-soils», die ihre schwarze Farbe den in ihnen gebildeten Alkalihumaten verdanken, sind nur durch Verdrängung des Na aus den Complexen zu meliorieren, die sie in durchlässige und daher auswaschbare «white alkali-soils» unter Senkung des pH zurückverwandelt. Sie kann durch Gipsgaben, auch durch Schwefel bzw. Schwefelsäure bewirkt werden, die Na im Complex durch Ca bzw. H ersetzen und die Alkalicarbonate in unschädliche Sulfate umformen.

Ganz allgemein ist in Senkenböden im feuchten Tropenklima das Auftreten einer starken *Reduktion* der die rote Farbe bedingenden Eisenhydroxyde durch die in den Senken erzeugte oder hineingeschlemmte organische Substanz zu beobachten. So kommt es, daß dort die Senkenböden regelmäßig grau bis schwarz, die Hänge der relativen Höhen und diese selbst dagegen, wenn die Regolite entsprechend Eisen enthalten, durch *Oxydation* rot gefärbt sind. Daß örtlich, je nach dem Grade der Durchlüftung und Feuch-

tigkeit, d. h. dem Überwiegen von Reduktion oder Oxydation, alle denkbaren Zwischenfarben auftreten, wie gelbe und andere Töne, versteht sich von selbst, womit aber keineswegs, wie es in der Regel behauptet wird, besondere «azonale» Bodentypen: Gelbböden usw. entstehen.

Der gleiche Prozeß der Bodenbildung und -verteilung wiederholt sich nun örtlich, modifiziert durch die Größe der Gradienten, um jede relative Höhe, ohne daß der Charakter der Catena sich ändert. Sind die Gradienten einigermaßen groß, so wird die Klimatheorie vergebens nach einem zonalen «reifen» Profil suchen. Sie findet nur «endodynamomorphe» azonale Böden der Höhen und «hygromorphe», ebenfalls azonale Senkenböden. Tatsächlich aber ist die Catena als Ganzes in vollster Schärfe zonaler Ausdruck von Ausgangsmaterial, Klima und Relief und damit ideale Kartierungseinheit der globalen Landesaufnahme, wie MILNE gezeigt hat!

Ganz besonders gilt das für Neuland mit natürlicher Vegetation, die auf der ganzen Welt der Landeserfahrene als «Indikator», als «padrão da terra», benutzt und die in der Tat ein wichtiger Führer für die Lokalisierung der zu untersuchenden Catenaglieder ist.

Im ariden Gebiet, in welchem der Windtransport des Bodenmaterials und auch die Schwerkraft eine große Rolle spielen, stößt stellenweise die Anwendung der Catenatheorie auf größere Schwierigkeiten.

Der Windtransport ist weitgehend von den Reliefverhältnissen unabhängig. Zonen äolischer Staubböden, wie z. B. Löß, ziehen sich oft, aus den ausgeblasenen Niederungen stammend, bis hoch auf die Hänge von Gebirgen hinauf. Deren, durch die Schwerkraft transportierter Talus läßt all und jede Sortierung vermissen. Auch ausgeblasene Salze gehören dort zum wichtigen Sedimentationsmaterial. Andererseits entfalten die selten, aber dann in großer Dichte und damit mit großer Intensität fallenden Regen hier eine Transportenergie gegenüber dem lockeren Material, die alles aus den feuchteren Klimas Bekannte weit überschreitet.

Daß in solchen Gebieten bei der Aufstellung von Catenen eine ganz besondere Aufmerksamkeit und Vorsicht geboten ist, namentlich auch was die Klimageschichte der Örtlichkeiten anbelangt, liegt auf der Hand. Um ein Beispiel zu zitieren: In Algerien liegen unmittelbar auf Kalkschichten rote Böden, die lange Zeit als «selbstverständliche Terra Rossa», d. h. Kalkeluvium angesprochen worden sind. Erst in neuerer Zeit hat die mineralogische Analyse dieser Böden gezeigt, daß sie oft ein gewehter Wüstenstaub sind. Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Fälle nicht die einzigen sind, sondern vielleicht auch manche andere Vorkommen eine besondere Nachprüfung benötigen.

Bei der praktischen Probenahme nach der Catenatheorie ist noch ein, vielfach besonders von geographischer Seite mißverstandener, Punkt zu beachten. Der Zweck der agrogeologisch-pedologischen Landesaufnahme ist ein *praktischer:* die Ermöglichung eines zuverlässigen globalen Urteils über die landwirtschaftlichen Nutzungsaussichten großer Gebiete. Diesen Aussichten aber sind erfahrungsgemäß recht scharfe Reliefgrenzen gesteckt. Steile Hänge mit mehr als 20% Neigung sind wegen der großen Erosionsgefahr nur durch kostspielige Terrassierungen und oft Bewässerung nutzbar zu machen, was automatisch reichliche Arbeitskräfte und damit eine besondere Bevölkerungsdichte voraussetzt, die zum Kleinbetriebe führt. Man denke an die Philippinen, Japan, China, das alte Peru usw. Für globale praktische Wirtschaftsplanung sind solche Hänge, die ins Makrorelief gehören, so theoretisch interessant sie sein können, ohne Bedeutung. Das bedeutet aber, daß die Musternahme in Catenas nicht das Makrorelief, sondern im wesentlichen das Mikrorelief zu berücksichtigen hat, wo, wie das Beispiel des Sudan, Brasiliens, Algiers, Südafrikas, Ostafrikas, des Kongo usw. zeigt, in scheinbaren «Ebenen» wenige Dezimeter von Höhenunterschieden durch Flächenspülung zu extremen Unterschieden der Böden des relativen Eluviums (Höhen), des relativen Colluviums (Hänge) und des relativen Alluviums (Senken) führen können, Unterschiede, die oft auf Tausenden von Quadratkilometern unter Umständen schon 5—10 kritisch gelegte Catenas viel besser erfassen, als es mit einem Mosaik von Tausenden von Mustern möglich wäre.

Résumé.

Le développement économique de vastes étendues de terrain dans les pays tropicaux et subtropicaux n'est rationnellement possible qu'à l'aide d'un examen rapide et global des conditions du sol, permettant de juger objectivement de sa productivité. De pareils examens nécessiteraient un travail de laboratoire et de campagne très coûteux pendant de longues années, s'ils étaient entrepris selon la méthode « à la mosaïque » — pratiquée jusqu'au début du 20e siècle et encore parfois de nos jours. Ces procédés ne sauraient plus suffire aux besoins urgents du temps présent, tels que l'établissement de tracés de chemin de fer, la colonisation, etc. La théorie, selon laquelle le climat caractérise la formation et la distribution du sol, ne permet guère de juger de l'économie d'une région ; cette théorie ne saurait donner qu'exceptionnellement une idée exacte de la distribution du sol telle qu'on la trouve en réalité. Ce n'est que l'application critique de la théorie « Catena » de *Milne* qui permet un examen rapide, relativement peu coûteux et suffisamment exact d'une vaste étendue de terrain. Au lieu de se baser sur des échantillons et profils disjoints, la théorie « Catena » se base sur des séries de profils génétiques et diagénétiques, reliant les altitudes relatives avec les bases d'érosion relatives selon une règle fixe. Ces séries de profils se répètent plus ou moins fidèlement dans les régions dont le climat et la pétrographie sont uniformes.

Cette théorie est expliquée et discutée en détail.

Summary.

The economic development of land tracts in tropical and subtropical countries is rationally possible only after a quick and overall examination of the soil conditions, from which an objective judgment of its productive potentialities can be made. Such an examination would entail many decades of expensive field and laboratory work if done by the mosaic method which was used up to a few decades ago and which is still sometimes used. This mosaic method is not suitable for present day urgent requirements, such as establishing colonies and building railways. The climatic theory of soil formation and distribution is unsuitable as a basis for economic judgment, because it can in no way indicate the actual soil distribution. Only the critically applied Catena theory of *Milne* is suitable for a quick, relatively cheap, and sufficiently exact examination of tracts. Instead of disconnected mosaics of single patterns and profiles, the Catena theory uses a pattern based on genetic and diagenetic series of profiles, according to set rules, connecting relative heights to relative bases of erosion. These profiles repeat themselves in climatically and petrographically uniform regions with only slight deviations.

This theory is discussed in detail with logical arguments.