

### 9. Schlußbetrachtung

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die jüngste industrielle Entwicklung in den neuen Entlastungsstädten der ägyptischen Metropole als ein erfolgreiches Beispiel für das vielfach in der Dritten Welt propagierte Konzept der Errichtung Neuer Städte als Teil einer dezentralisierenden Entwicklungsstrategie angesehen werden kann. Das dabei angestrebte Planungsziel einer Entflechtung überlasteter Ballungsräume hat im industriellen Sektor besonders gute Realisierungschancen, wenn die Dezentralisierungsvorteile, die durch private Investitionen an peripheren Produktionsstandorten zu erwarten sind, die Agglomerationsvorteile von Standorten in der Metropole übertreffen. Letzteres ist vor allem dann der Fall, wenn exzessive Verdichtungserscheinungen – insbesondere Verkehrsprobleme, hohe Bodenpreise und fehlende Expansionsmöglichkeiten – die industrielle Entwicklung in den Ballungsräumen behindern. Wie das ägyptische Beispiel zeigt, hängt der Erfolg der Industrieansiedlung an peripheren Standorten allerdings auch von der Tatsache ab, daß die Metropole durchaus noch in erreichbarer Entfernung liegt. So zeigt sich, daß fast alle größeren Industriefirmen in Kairo – und zwar dort bevorzugt an den Ausfallstraßen zu den Entlastungsstädten – ihre Verwaltungszentralen unterhalten. Die Unternehmer können dadurch die Fühlungsvorteile innerhalb des wichtigsten Wirtschaftszentrums des Landes nutzen und haben auch die Möglichkeit, relativ rasch ihre peripher gelegenen Produktionsstätten aufzusuchen.

Es bleibt abzuwarten, ob auch die Dezentralisierung der Bevölkerung ähnlich erfolgreich sein wird.

Die starke Nachfrage nach Wohnungen in den „neuen Städten“ ist jedoch ein deutliches Anzeichen dafür, daß hier in den nächsten Jahrzehnten ein erheblicher Teil des Bevölkerungszuwachses der ägyptischen Metropole aufgefangen werden kann.

### Literatur

- CHALINE, C.: Le Caire: une tentative d'aménagement métropolitain. In: *L'Information Géographique* 48, 1984, S. 181–187.
- DAVIES, M. H.: *Business law in Egypt*. Antwerpen 1984.
- EL-ASHKER, A. A.-F.: *The Islamic business enterprise*. London 1987.
- GILLESPIE, K.: *The tripartite relationship: Government, foreign investors and local investors during Egypt's Economic Opening*. New York 1984.
- MEYER, G.: *Migration and economic development in the old and newer quarters of Sanaa and Cairo*. In: BRISMES-proceedings of the 1986 international conference on Middle Eastern Studies. London 1986, S. 385–394.
- SCHAMP, E. W.: *Einheimische Unternehmer im Industrialisierungsprozeß. Das Beispiel Kamerun*. In: *Die Erde* 118, 1987, S. 93–107.
- WALSER, H.: *Wirtschaftsgeographische Probleme der industriellen Entwicklung Ägyptens: Joint Ventures und Ansätze zur Dezentralisierung*. Magisterarbeit in der Naturwissenschaftlichen Fakultät III, Universität Erlangen-Nürnberg. 1986.
- ZIMMERMANN, J. M.: *Neue Städte in Ägypten*. In: *Geographische Rundschau* 36, 1984, S. 230–235.

## PODSOLE, RELIEF UND VEGETATION IN NORDBORNEO

Mit 8 Abbildungen (z. T. als Beilage VI), 1 Tabelle und 5 Photos

NORBERT STEIN

*Summary:* Podzols, relief and vegetation in Northern Borneo

In Northern Borneo there are large areas which are characterized by podzols, mainly of humus podzols. The main occurrences are correlated to the following relief units and substrata:

1) areas of Tertiary sandstones and sandstones and

clays in inter-bedding, mostly on plateaus and planation surfaces, but also on slopes;

2) Quaternary fluvial terraces of sand and clay sediments in alternating stratification;

3) Quaternary marine deposits of various age and of differing distance from the present coast line.

The genesis of podzols exists in the combination of

various factors: sandy surface material, bisedimentary deposits (sand and clay), pore discontinuities, soil water regime controlled by relief position, and leaf litter resistant to fast decomposition.

As the edaphic climax vegetation, heath forests reflect the ecological conditions of areas with podzols. Canopy structure, leaf size (microphyllly), stem diameter, height of trees, and floristic composition of the various heath forest types are an adequate expression of the particular site factors. A comparison of water consumption curves of two forest types shows that even in the ever-wet equatorial tropics periods of water stress can occur and that the physiognomic structure of the heath forest can compensate for such a stress situation.

### 1. Einleitung

Das Vorkommen von Podsolen, deren Hauptverbreitungsgebiet im globalen Bezugsrahmen die kühlgemäßigten Breiten beider Hemisphären sind, ist auch für die immerfeuchten tropischen Tiefländer häufig beschrieben worden. Es überrascht nicht, daß die charakteristischen Eigenschaften solcher Bodenprofile schon bei frühen Reisenden häufig als landschaftsbestimmend geschildert wurden. Hierzu gehört vor allem die bis zu mehrere Meter mächtige Lage von gebleichtem, oft hellgrauem bis weißem Quarzsand. Dieser auffallende „Bleichsand“ wird unterlagert von einer verdichteten oder verhärteten Lage, in der aus dem Oberboden ausgewaschene Stoffe – vor allem Humusverbindungen – angereichert sind. Der Oberboden selbst besteht aus einem mehr oder weniger mächtigen Humushorizont.

Für Amazonien konnte die Verbreitung von Podsolen in einen größeren landschaftsökologischen Zusammenhang integriert werden. Denn limnologische, pedologische und vegetationskundliche Untersuchungen haben ergeben, daß die durch humose Stoffe gefärbten Schwarzwässer häufig von hellen Sandflächen mit Podsolbildungen begleitet werden, welche von charakteristischen Waldgesellschaften, meist lichten Gehölzen („amazonische Caatinga“ nach KLINGE, MEDINA und HERRERA 1977) bestanden sind. Diese biogeochemische Gesamtschau hat entscheidende Erkenntnisse zum Verständnis dieses tropischen Naturraums geliefert (FITTKAU 1971; KLINGE 1965, 1966; SIOLI 1983; SIOLI und KLINGE 1961).

In Südostasien fiel BECCARI (1904) als erstem Reisenden in Borneo auf, daß innerhalb der Klimaxvegetation der weiten artenreichen, hochstämmigen Dipterocarpaceenmischwälder mit geschlossenem Kronendach gelegentlich Areale von einem physio-

gnomisch sehr unterschiedlichen Vegetationstyp erscheinen, welcher infolge der offenen Krone der Conifere *Dacrydium elatum* und der im Habitus einer Conifere sehr ähnlichen *Gymnostoma nobile* einen sehr lichten und offenen Charakter besitzt und auch in seiner generellen Wuchshöhe sehr viel niedriger ist. BECCARI erwähnt weiterhin, daß es häufig Praxis der eingeborenen Dayakbevölkerung sei, Teile des Regenwaldes für kurzfristigen Reisanbau zu fällen; bezeichnenderweise würden jedoch die genannten offenen Waldgebiete wegen ihrer Unfruchtbarkeit nie für den Anbau genutzt werden, da der Boden gänzlich aus „white crystalline sand“ bestehe. WINKLER (1914) führte für diesen Vegetationstyp den Begriff „Heidewald“ ein, da ihn die „subsclerophile Natur“ dieser eigenartigen Vegetationsbestände auf grauem, häufig fast weißem Sand an europäische Heiden erinnerte. Der Begriff „Heidewald“ hat später Eingang in floristische und ökologische Untersuchungen über die Vegetation Borneos gefunden. Heidewälder sind in Borneo vor allem in Bereichen tertiärer Sandsteine und Tone weitverbreitet. In Sarawak (NW-Borneo) nehmen sie immerhin 7% der gesamten Fläche des Landes ein (Abb. 2; STEIN 1978).

Tatsächlich stehen die niedrige Wuchshöhe und der vergleichsweise geringe Stammumfang der Bäume, die Offenheit und starke Lichtdurchlässigkeit des oberen Stockwerks sowie der dichte (Strauch-)Unterswuchs in einem beachtlichen Gegensatz zur generellen physiognomischen Struktur des Dipterocarpaceenmischwaldes als weitverbreiteter Klimaxvegetation auf tiefgründigen Latosolen.

Viele Heidewaldtypen stocken auf Podsolen und verwandten Bodentypen. Beziehungen zwischen Heidewaldtypen und Böden wurden für Sarawak (NW-Borneo; Ostmalaysia) insbesondere von BRÜNIC (1968, 1969, 1970) abgeleitet. Dabei wird auch auf die Reliefabhängigkeit von Böden und Vegetation eingegangen. Von STEIN (1978) wurde der Versuch unternommen, die standörtlich-ökologische Zeigerwertigkeit bestimmter Taxa der Vegetation, insbesondere der Coniferenart *Dacrydium beccarii* var. *subelatum*, für eine räumliche Gliederung der Heidewälder nach Ökotope vorzunehmen. ANDRIESSE (1968/69) diskutiert anhand zahlreicher Profilaufnahmen und vor dem Hintergrund der jeweiligen topographischen Situation die Genese von Podsolen in Sarawak. Inzwischen liegen zahlreiche weitere Beobachtungen und Untersuchungen aus Nordborneo vor, über die hier berichtet werden soll. Dabei werden die Beziehungen zwischen Relief und Podsolvorkommen sowohl in räumlich repräsentativen De-

tailanalysen als auch in einer systematischen Zusammenschau erstellt, um auf diese Weise zum weiteren Verständnis feuchttropischer Ökosysteme beizutragen.

Podsole kommen in Nordborneo bei folgenden Reliefeinheiten und Substraten vor:

- in Gebieten aus tertiären Sandsteinen und Tonen, meist auf Plateaus und Verebnungen, aber auch in Hanglagen;
- quartären fluvialen Terrassen aus sandigen und tonigen Sedimenten in Wechsellagerung;
- quartären marinen Ablagerungen, sowohl in subrezentem Strandbereichen in Küstennähe als auch auf älteren Strandsedimenten weiter im Landesinneren.

Neben den echten Podsolen, zu deren charakteristischer Profilabfolge ein Anreicherungshorizont der verlagerten Stoffe gehört, gibt es häufig Bodentypen, welche nur durch einen Auswaschungshorizont gekennzeichnet sind. Die ausgewaschenen Humusverbindungen sind in diesen Fällen ebenso wie Fe und Al aufgrund stärkerer Hangneigung lateral entfernt worden oder in das sehr durchlässige Anstehende, etwa sandiges und kiesiges Terrassenmaterial, abgeführt worden. Diese „podsolartigen“ Böden, meist podsolige Ranker, werden mitberücksichtigt, da der entscheidende Prozeß der Verlagerung von Humusverbindungen sowie von Fe und Al eingetreten ist.

## 2. Die tertiären Sandsteingebiete – das Beispiel Bako Nationalpark (Sarawak)

Heidewälder sind im nordwestlichen Borneo, insbesondere in Sarawak und Brunei, recht weit verbreitet (Abb. 2). Neben großen ununterbrochenen Heidewaldgebieten sind häufig nur kleine Flächeneinheiten vorhanden, wobei gerade hier in räumlich überschaubarem Rahmen und in einem scharfen ökologischen Gradienten deutlich der Charakter eines von der klimatischen Klimaxvegetation des Dipterocarpaceenmischwaldes abweichenden Waldsystems gegeben ist. Die größten zusammenhängenden Heidewaldbereiche, allerdings mit kleinräumig sehr stark wechselnden physiognomischen und floristischen Bestandsstrukturen, befinden sich im Gebiet tertiärer Sandsteine, Sande und auch Tone. Das Relief ist in diesen Gebieten stark gegliedert und reicht von flachen Schichtköpfen und plateauartigen Verebnungen bis zu steilen, oft stufenartigen Hängen. Das Ausgangsgestein besteht häufig aus Sandsteinen, Quarziten und Konglomeraten, teilweise aber auch aus tonreichen Sedimenten.

Wegen seiner klar abgegrenzten Lage auf einer Halbinsel und der stark wechselnden Hangneignungsverhältnisse eignet sich der Bako Nationalpark besonders gut für eine räumliche Detailuntersuchung von Relief, Böden und Vegetation. An einem Pro-

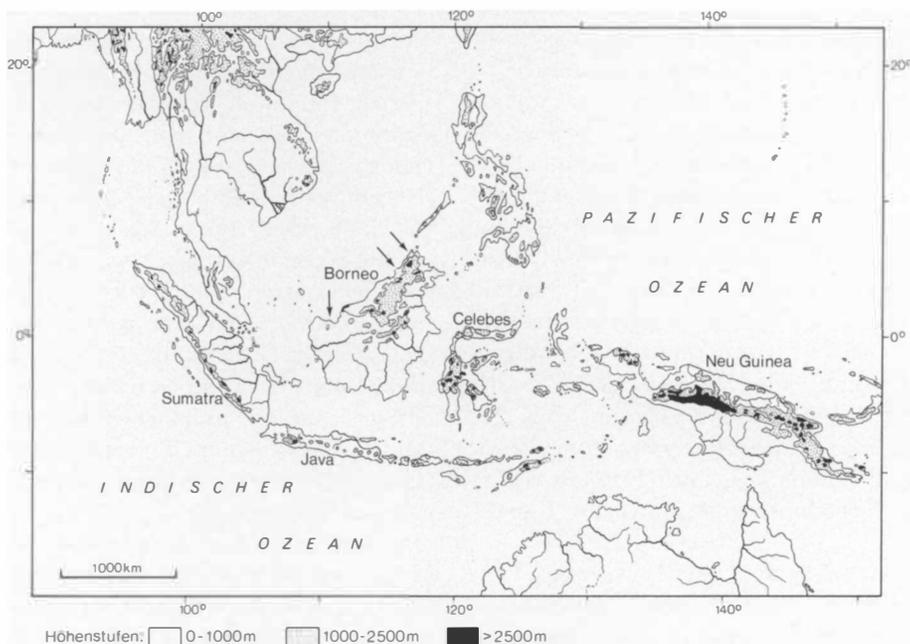


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete  
Location of the study areas

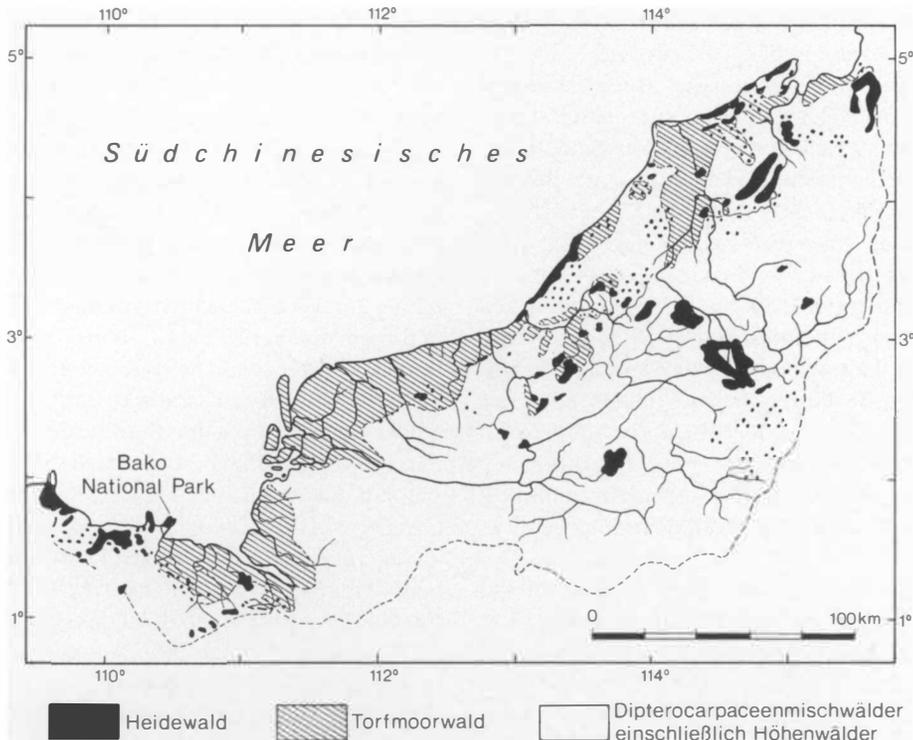


Abb. 2: Die Verbreitung der wichtigsten Waldformationen in Sarawak (NW-Borneo)

The distribution of the most important forest formations in Sarawak (NW-Borneo)

fil von 4 km Länge sind an 5 Standorten die Beziehungen zwischen diesen Faktoren untersucht worden (Abb. 3 und 4) (Beilage VI)). Bei der folgenden Beschreibung ist die Reihenfolge und Bezifferung (SO 1–SO 4 in Abb. 5 (Beilage VI)) schon entlang eines ökologischen Gradienten vorgenommen worden.

Der erste Standort (SO 1 vgl. Abb. 3 bis 5 (Beilage VI)) befindet sich in ca. 20 m NN in einem 1 km breiten Sohlental, das durch rückschreitende Erosion relativ weit in den allgemeinen Sandsteinsockel eingeschnitten und auf beiden Seiten von steilen Stufen aus durchlässigem Sandstein umgeben ist. Zwischen Sohle und Stufe liegt ein schwach bis mäßig geneigter Unterhang ( $<5^\circ$ ), aus dessen Bereich die Bodenproben und Vegetationsaufnahmen stammen.

Als vorherrschender Bodentyp ist ein mittelgründiger Humuspodsol aus Mittel- bis Feinsand über Lehm oder sandigem Ton ausgebildet. Der Bh-Horizont ist nur schwach bis mäßig verfestigt. Eine Anreicherung von Sesquioxiden kann hier ebensowenig wie in den anderen Standortbereichen des Bako Nationalparks beobachtet werden, was wahrscheinlich in der mineralogischen Zusammensetzung des Ausgangsgesteins begründet ist. Die mechanische

Durchwurzelbarkeit ist im Oberboden gut; auch im mäßig verfestigten Bh-Horizont können teilweise noch Wurzelkanäle angetroffen werden. An manchen Stellen können unterhalb des einheitlich dunklen und in der Regel deutlich verfestigten Bh bänderartige oder zumindest zonierte Humusakkumulationen angetroffen werden. Wegen des hohen Feinsandanteils und der im Vergleich zu anderen Heidewaldböden relativ hohen effektiven Lagerungsdichte ist die nutzbare Feldkapazität günstiger als bei vielen anderen Böden des Heidewaldes.

Die vorherrschende Waldgesellschaft ist eine Übergangsform zwischen hochstämmigem Dipterocarpaceenmischwald, der klimatischen Klimaxvegetation auf tiefgründigen Latosolen, und den niedrigen bis mittelhohen, wesentlich offeneren Heidewaldgesellschaften. Die Bestandshöhe beträgt 30–35 m mit einem ziemlich einheitlichen Kronendach. Dipterocarpaceen – in den Probeflächen *Dipterocarpus borneensis*, *D. crinitus*, *Shorea ovata*, *S. venulosa*, *S. retusa*, *Vatica parvifolia* – dominieren im oberen Stockwerk. Allerdings kommen vereinzelt typische Heidewaldvertreter wie *Dacrydium beccarii* var. *subelatum*, *Gymnostoma nobile* und *Whiteodendron moultonianum* vor und weisen

auf die von der klimatischen Klimaxvegetation schon abweichenden ökologischen Bedingungen hin. Ein weiteres bestandsdifferenzierendes Merkmal gegenüber den eigentlichen Dipterocarpaceenmischwäldern ist die sehr viel stärker ausgebildete Bodenflora. In dieser ist die dicht dem Boden aufliegende Becherpflanze *Nepenthes ampullaria* – wie alle *Nepenthes*-Arten (Photo 3) – eine ausgesprochene Zeigerpflanze für nährstoffarmes Milieu.

Der Standortbereich 2 (SO 2) liegt im oberen Teil eines flachen, ausgedehnten Hanges. Es überwiegen mittelgründige Humuspodsole aus Sand über sandigem Ton. Der Bh-Horizont kann fehlen oder nur schwach ausgebildet sein. Der Boden ist als wechselfeucht einzustufen. Es ist bemerkenswert, daß sich – im Gegensatz etwa zum Dipterocarpaceenmischwald – ein relativ mächtiger Auflagehumus gebildet hat.

Der Wald in diesem Standortbereich besteht aus einem relativ niedrigen Bestand von 10 m bis 15 m Höhe (Photo 1). Das Kronendach ist relativ dicht und geschlossen. Die Conifere *Dacrydium beccarii* var. *subelatum* und die im Habitus einer Conifere ähnliche *Gymnostoma nobile* sind die dominanten Vertreter der oberen Baumschicht.

Der hier angetroffene Heidewaldtyp ist weit verbreitet und muß als repräsentativ für die gut durchwurzelbaren, mittelgründigen Podsole mit wechselfeuchten Bedingungen innerhalb der sehr nährstoffarmen Bereiche tertiärer Sandsteine, Sande und Tone angesehen werden. Auch die floristische Zu-

sammensetzung ist vielfach ähnlich. *D. beccarii* var. *subelatum* und *Gymnostoma nobile* sind Charakterarten dieser Heidewaldgesellschaft und besitzen damit zugleich Zeigerwertigkeit bezüglich der genannten Standortbedingungen. *D. beccarii* var. *subelatum* kommt auch nach den Angaben von BRÜNIG (1968) in ganz Sarawak stets auf stark wechselfeuchten Sandböden und auf anmoorigen Sanden vor, lokal oft dominant. Auch *G. nobile* findet sich in Sarawak häufig auf wechselfeuchten, mittelgründigen Humuspodsohlen, flachgründigen, aber sehr wasserzügigen Humuspodsohlen und podsoligen Rankern mit gut ausgebildetem Bleichsandhorizont.

Der dritte untersuchte Standortbereich am Profilband durch den Bako Nationalpark (SO 3) befindet sich auf einer sanft bis mäßig geneigten Hangschulter. Der vorherrschende Bodentyp ist ein flach- bis mittelgründiger Humuspodsol aus Sand über gelbem, sandigem Ton. Die laterale Wasserbewegung im Oberboden oberhalb des Tons ist außerordentlich schnell. Schon wenige Stunden nach einem Niederschlagsereignis ist der Boden wieder trocken. Die nutzbare Feldkapazität ist gering. Da die Hauptwurzeln sich im wesentlichen auf den sandigen Oberboden beschränkt, ist dieser Standortbereich insgesamt als ökophysiologisch trocken zu bezeichnen. Allerdings wird durch den Texturwechsel im relativ hoch liegenden C-Horizont die Wasserversorgung etwas günstiger. Obwohl hier die Durchwurzelung nur schwach ist, so ist dieser Korngrößenunterschied dennoch die Ursache dafür, daß die Vegetation noch über ein gewisses Bodenwasserreservoir bei insgesamt sehr trockenen Bedingungen verfügt.

Die Vegetation besteht aus einem niedrigen Heidewald mit einem insgesamt noch geschlossenen Kronendach. Die Anzahl der Arten ist erheblich reduziert. Die Conifere *Dacrydium beccarii* var. *subelatum* ist dominant und unterstreicht durch ihren Habitus die von der klimatischen Klimaxvegetation auffallend abweichende Vegetationsstruktur. Der Unterwuchs kann sehr dicht sein. Seggen sind besonders bei hochreichendem Ton, also bei sehr flachgründigen Profilen und damit feuchterem Milieu, zahlreich.

Die Anzahl der Baumarten mit mesophyllen Blättern ist erheblich zurückgegangen. Es überwiegen Arten in den Blattgrößenklassen „notophyll“ und „microphyll“. Trotz der auf diese Weise reduzierten Transpirationsraten zeigt eine errechnete Wasseraufbrauchkurve, daß Wassermangel bzw. damit verbundener Trockenheitsstreß eine häufige Erscheinung darstellt (Abb. 6).

Der vierte Standortbereich (SO 4) befindet sich auf einem flachen, plateauartigen oder nur sehr



Photo 1: Heidewald (Typ Profildiagramm 2) im Bako Nationalpark auf mittelgründigem Humuspodsol über tertiärem Sandstein; etwa in der Bildmitte die im Habitus einer Conifere ähnliche *Casuarina sumatrana*

Heath forest (type of profile diagram 2) in the Bako National Park on medium-deep humus podzol over Tertiary sandstone; in the centre of the photograph *Casuarina sumatrana*

schwach geneigten Rücken. Der am meisten verbreitete Bodentyp ist ein flachgründiger Humuspodsol oder podsoliger Ranker über grau-weißem Sandstein. Der feste Sandstein liegt meist zwischen 20 und 40 cm unter der Geländeoberfläche. Er kann aber auch erheblich an die Oberfläche heranreichen, wobei dann eine für Waldausbildung sehr ungünstige Situation entstanden ist. Die laterale Wasserbewegung im Boden dürfte zwar geringer sein als bei Profil SO 3. Allerdings trägt die Porosität des hoch anstehenden Sandsteins zu einer insgesamt ungünstigeren Wasserversorgung bei, was seinen entsprechenden Ausdruck in der Vegetationsausprägung findet.

Der Heidewald in diesem Bereich ist sehr niedrig (5 m–10 m) und sehr offen. Die Artenzahl ist noch erheblich geringer geworden. Die Conifere *Dacrydium beccarii* var. *subelatum* ist nun deutlich dominant und tritt häufig in Gruppen auf. Es überwiegen Baumarten mit den Blattgrößenklassen „microphyll“ und „notophyll“.

Im fünften Standortbereich tritt auf flachen Rücken und Kuppen harter Sandstein unmittelbar an die Geländeoberfläche. In oberflächennahen Klüften und in kleineren Depressionen ist freilich eine Akkumulation von Humus und mineralischen Bestandteilen möglich. In manchen Vertiefungen sind sehr flachgründige, stark wechselfeuchte Ranker aus Grobsand entwickelt. Hier wird ein sehr lockerer Bestand von *Dacrydium beccarii* var. *subelatum* bei Wuchshöhen von 3 m–6 m angetroffen. Es sind nur sehr wenige andere Baumarten vorhanden. Eine Profilaufnahme im Gelände ist bei diesem sehr weitständigen und niedrigen Bestand nicht durchgeführt worden.

Es ist bemerkenswert, daß bei allen Waldgesellschaften von SO 2 bis SO 5 die Mächtigkeit des Auflagehorizontes je nach Bestandsentwicklung und floristischer Zusammensetzung sehr stark schwanken kann. Einerseits kann eine relativ mächtige Lage (3–8 cm) aus schwer zersetzlichen Blättern und den Nadeln von *Dacrydium elatum* var. *subelatum* angetroffen werden. Auf diese Weise entsteht ein stärker wasserspeichernder Bereich im Oberboden, dessen Effekt bei ebener Relieflage durch hochanstehenden Ton, aber auch Sandstein, noch verstärkt werden kann. Die Podsolbildung wird durch dieses saure und feuchte Milieu mit seiner schwer zersetzlichen Streu zweifellos gefördert, da der oxidative Abbau der abgestorbenen pflanzlichen Substanz stark eingeschränkt ist. Säure- und Feuchtezeiger sind in der Krautschicht der Heidewälder weit verbreitet (*Lycopodium* spp., *Carex* spp., *Rhododendron* spp., Photo 2).



Photo 2: Säure- und Feuchtezeiger bilden in vielen Heidewäldern die Krautschicht; hier: Bärlapp (*Lycopodium* sp.; im Bild ganz hell); *Rhododendron* sp. (weißblühend); *Vaccinium* spp. (im Hintergrund); Seggen (*Carex* spp.; im Vordergrund); *Melastoma* sp. (mit langen lanzettlichen Blättern; im Vordergrund rechte Bildhälfte); in der rechten unteren Ecke noch Teil eines Schwarzwasserbaches

Ground layer of heath forests with plants indicating acidity and high soil moisture such as: *Lycopodium* sp. (on the photo very bright); *Rhododendron* sp. (with white flowers); sedges (*Carex* spp.; in the foreground); *Melastoma* sp. (with long lanceolate leaves; in the foreground on the right); in the right lower corner part of a black water rivulet

Andererseits kommt bei geringmächtigem Auflagehorizont die erwähnte schnelle Austrocknungsbereitschaft im sandigen Ah-Horizont zur Geltung, was die Bildung eines Humusanreicherungs-horizontes im Unterboden fördert. Die notwendige Charakterisierung einer solchen edaphischen Situation mit „wechselfeucht“ weist daher nicht nur auf einen zeitlichen Ablauf der Bodenfeuchteverhältnisse hin, sondern bedeutet auch eine Differenzierung unterschiedlicher ökophysiologisch wirksamer Feuchtestufen im Solum selbst.

Der Ausfällungsprozeß der im Sickerwasser befindlichen Humuskolloide wird durch Austrocknung gefördert, da auf diese Weise die Wanderungsfähigkeit der Kolloide verloren geht. Die Bildung mächtiger Bh-Horizonte wird dabei in ebenen Reliefpositionen begünstigt, da hier eine seitliche Entwässerung mit Abtransport der Humuskolloide weitgehend verhindert ist. Es muß bei der Beurteilung der Podsolgenese über den tertiären Sandsteinen ebenfalls berücksichtigt werden, daß durch die stetige Akkumulation von Humusbestandteilen im Unterboden eine Zunahme der mittleren und feineren Poren erfolgt. Dadurch wird eine Porungsdiskontinuität zu dem größeren Porenbereich des Oberbodens hergestellt,

durch den die Sickerungsgeschwindigkeit herabgesetzt wird. Es ist ein sich selbst verstärkender Vorgang, da mit zunehmender Einlagerungsverdichtung das Wasserbindungsvermögen steigt und damit die weitere Akkumulation der im Sickerwasser infiltrierten Humusstoffe gefördert wird.

Eine stärkere Zersetzung der Auflagestreu, welche dem Podsolierungsprozeß an sich entgegenwirken könnte, wird durch das sehr saure organische Material stark verzögert. Viele Blätter der im Heidewald vorherrschenden Baumarten minimieren aufgrund ihrer Inhaltsstoffe höhere Transpirationsverluste, um das eingeschränkte Wasserangebot der sandigen Böden zu neutralisieren. Es ergibt sich daher eine Streu, welche anteilmäßig viele abbauresistente Pflanzenstoffe wie Wachse, Harze, Gerbstoffe und auch Lignin enthält.

Die verschiedenen Heidewaldtypen, welche den jeweiligen Standortbedingungen entsprechen, haben spezifische Anpassungsstrategien entwickelt. Besondere Bedeutung kommt hierbei auch den Blattgrößen zu, da diese in einer engen Beziehung zu Transpiration und Wasserhaushalt der Bäume stehen. RICHARDS (1964) weist darauf hin, daß die Umweltfaktoren im tropischen Regenwald einheitliche Blattformen und -größen trotz größten Artenreichtums entwickeln können. Im oberen sonnenexponierten Stockwerk der Tieflandsdipterocarpaceenmischwälder herrschen ledrige, lorbeerblättrige und mesophylle (Blattgrößen von 45 bis 182 cm<sup>2</sup>) Strukturen vor, während im unteren Stockwerk dünne makrophylle Blätter häufig sind. Dies entspräche einem wahrscheinlichen Wasserdefizitgefälle zwischen den Schichten des oberen Kronenstockwerkes und des

unteren Stockwerkes. Auch können Beziehungen zwischen Relief und Blattgrößenklassen festgestellt werden, wobei eine Abnahme der makrophyllen Arten von ausreichend wasserversorgten Talsohlen und Unterhängen zu den wechselfeuchten oberen Hängen und Spornlagen bei gleichzeitiger Zunahme der mikrophyllen Vertreter zu beobachten ist (vgl. auch ASHTON 1964).

Der Versuch, aufgrund von Artenaufnahmen verschiedener Probestellen Blattgrößenklassen auf quantitativer Ebene für eine standörtliche Differenzierung des Heidewaldes anzuwenden, zeigt eine deutliche Zunahme noto- und mikrophyller Arten mit zunehmender Einschränkung der Wasserversorgung innerhalb der Podsole, die ihrerseits wiederum von der Relieflage abhängig ist (Abb. 4, Beilage VI). Es entspricht dies auch den Ergebnissen von BRÜNIC (1968), die allerdings darauf hinweisen, daß wegen einiger standortvager großblättriger Vertreter aufgrund der Blattgrößenklassifizierung allein keine befriedigende standörtliche Gliederung der Heidewaldtypen vorgenommen werden kann.

Als weiteres bestandsphysiognomisches Strukturelement kann die Ausprägung des oberen Kronenstockwerkes in eine gewisse Korrelation zum unterschiedlichen pflanzenverfügbaren Wassergehalt des Bodens gebracht werden. Es fällt jedenfalls auf, daß Dipterocarpaceenwälder auf gut wasserversorgten Standorten ein sehr unregelmäßiges Kronendach besitzen (SO 1 von Abb. 5 (Beilage VI)). Heidewälder mit geschlossenem Kronendach besitzen dagegen eine relativ ebene Stockwerksoberfläche (SO 2). Es kann begründet angenommen werden, daß diese geringere Oberflächenrauigkeit die Strahlungs- und

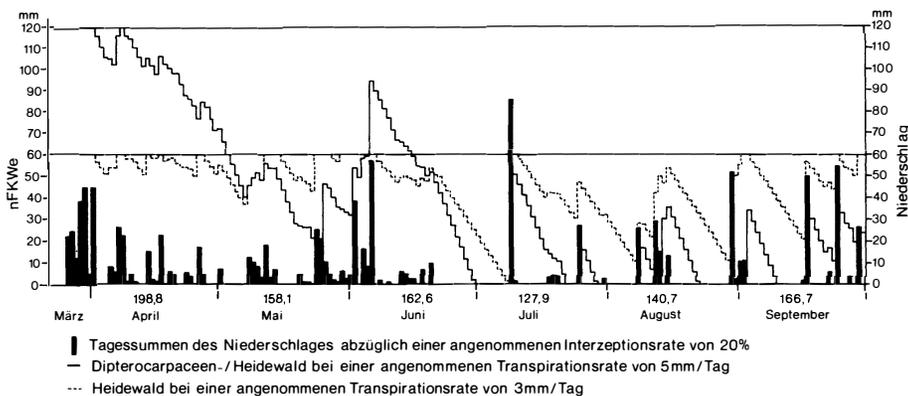


Abb. 6: Berechneter Wasseraufbrauch zweier Waldgesellschaften im Bako Nationalpark (Sarawak)

Calculated water consumption of two forest associations in the Bako National Park (Sarawak)

Wärmebelastung reduziert und sich auch günstig auf die Transpirationsraten auswirkt.

Es liegen bisher keine systematischen Untersuchungen über den geländebedingten Wasserhaushalt tropischer Regenwaldgesellschaften vor. Die Schwierigkeit besteht in erster Linie in einer realistischen Erfassung der Transpirationsraten von sehr komplexen Waldgesellschaften. In Abb. 6 wird versucht, durch Berechnung von Wasseraufbrauchkurven zwei bestimmte standortabhängige Waldgesellschaften näherungsweise zu erfassen, und zwar den Übergangstyp zwischen Dipterocarpaceenmischwald und Heidewald auf mittelgründigem Humuspodsol aus lehmigem Sand (SO 1 in Abb. 5 (Beilage VI)) sowie den geschlossenen, artenreichen Heidewald auf mittelgründigen Humuspodsol aus Sand.

Für den mittelgründigen lehmigen Humuspodsol wurde für die effektive Durchwurzelungstiefe ( $W_e$ ) eine nutzbare Feldkapazität ( $nFK$ ) von 120 mm ( $nFKW_e$ ) errechnet (nach *Arbeitsgruppe Bodenkunde* 1982). Bei dem mittelgründigen Humuspodsol aus Sand ergab sich ein Wert von 60 mm. Die Transpirationsrate wurde für den Dipterocarpaceen-/Heidewald mit 5 mm/Tag und für den Heidewald mit 3 mm/Tag angenommen (nach BRÜNIG 1971). Es wurde eine Interzeptionsrate von 20% für beide Waldgesellschaften angesetzt. Die entsprechende Menge wurde von der jeweiligen Tagessumme des Niederschlages abgezogen, da sie nicht für die Erneuerung des Bodenwassers zur Verfügung steht.

Der Verlauf der Wasseraufbrauchkurven zeigt, daß während des Berechnungszeitraumes von 6 Monaten (April bis September 1981 für die Station Kuching/Sarawak) das Bodenwasser im Dipterocarpaceen-/Heidewald mit seiner höheren Transpirationsrate 5mal aufgebraucht wurde und für mehrere Tage nicht ersetzt werden konnte. Es muß angenommen werden, daß diese Situation eines Wasserstresses durch Hangzugwasser im Bereich des Unterhanges ökophysiologisch kompensiert wird. Dagegen kann durch verminderte Transpiration im Heidewald der ungünstige Wasserhaushalt ausgeglichen werden. Es muß jedenfalls mit einiger Sicherheit abgeleitet werden, daß auch im makroklimatisch immerfeuchten Tropenklima vorübergehend relief- und bodenabhängige Situationen von Wasserstreß auftreten können. Die räumliche Differenzierung der Heidewaldgesellschaften entspricht diesem Verteilungsmuster.

Die typische, von der normalen Klimaxvegetation abweichende Bestandsstruktur der Heidewälder ist freilich auch ein Ausdruck des ungünstigen Nährstoffhaushaltes. Zum Mineralhaushalt der Podsole



Photo 3: Schwer zersetzbare Streu und *Nepenthes* sp. charakterisieren die Bodenaufgabe der Heidewälder

Litter, resistant to decomposition, and *Nepenthes* sp. characterize the ground of the heath forest

unter den gegebenen Waldgesellschaften liegen für Nordborneo keine umfassenderen Untersuchungen vor. Die Bestandsstruktur selbst weist schon durch die niedrigeren Wuchshöhen der Bäume und deren sehr viel geringeren Stammdurchmesser eine durch Nährstoffmangel gekennzeichnete (peinomorphe) Struktur auf. Daneben gibt es Pflanzengruppen mit ausgesprochener Zeigerwertigkeit für die ungünstige Nährstoffversorgung. Hierzu gehören vor allem Arten der bereits erwähnten Gattung *Nepenthes* („insektivore“ Kannenpflanzen), die entweder unmittelbar dem Boden angedrückt sind (Photo 3) oder als rankende Epiphyten vorkommen.

Für die Offenheit und Lichtdurchlässigkeit der Heidewaldbestände ist auch die dichte Kraut- und Strauchschicht charakteristisch. In ihr ist fast immer eine größere Anzahl von blühenden Vertretern vorhanden, was in den Dipterocarpaceenwäldern ungewöhnlich wäre. Vor allem die in verschiedenen Blütenfarben vorhandenen *Rhododendron*-Arten können als Charakterarten mehrerer Heidewaldgesellschaften gelten (Photo 2).

Insgesamt kann abgeleitet werden, daß die typische Bestandsstruktur der Heidewälder das Ergebnis mehrerer Komponenten ist. Dabei kommt den folgenden Faktorenkomplexen erhöhte Bedeutung zu:

- ungünstiger Bodenwasserhaushalt mit Tendenz zu Wasserdefiziten;
- geringer Nährstoffgehalt der Böden aufgrund des Ausgangssubstrates;
- geringere Biomasseumsetzung im Vergleich zum Dipterocarpaceenwald.

Das Relief besitzt dabei eine entscheidende Reglerfunktion, da es besonders die Wasserverfügbarkeit

Tabelle 1: Gradient des pflanzenverfügbaren Wassergehaltes in Abhängigkeit von Boden und Relief im Bako National Park (Sarawak; NW-Borneo)

Gradient of plant-available water content as influenced by soil and relief in the Bako National Park (Sarawak; NW-Borneo)

#### Boden

Mittelgründiger Humuspodsol aus lehmigem Sand über sandigem Ton in ebener Lage unterhalb von Hängen

Mittelgründiger Humuspodsol aus Sand über sandigem Ton bei mäßiger Neigung in oberem Hangbereich; mäßige bis starke laterale Wasserbewegung im Oberboden

Flachgründiger Pseudogley-Humuspodsol aus Sand über sandigem Ton bei mäßiger Neigung in oberem Hangbereich; sehr starke laterale Wasserbewegung im Oberboden

Flachgründiger Humuspodsol über durchlässigem grauweißem Sandstein in allen Reliefpositionen

#### Waldgesellschaft

Übergangstyp zwischen Dipterocarpaceenmischwald und hochstämmigem Heidewald

Mittelhoher, dichter und artenreicher Heidewald mit *Dacrydium beccarii* var. *subelatum* und *Gymnostoma nobile* im Oberstand

Niedriger Heidewald mit insgesamt noch geschlossenem Kronendach; deutlich verminderte Artenzahl; *D. beccarii* var. *subelatum* und *G. nobile* dominant

Sehr niedriger und offener Heidewald mit *D. beccarii* var. *subelatum*

der Vegetation beeinflusst und damit die räumliche Anordnung der Waldgesellschaften nach Ökotypen gliedert (vgl. Tab. 1).

### 3. Flußterrassen in der Crocker Range Nordborneos

Ausgedehnte Terrassen befinden sich vor allem in tektonisch angelegten intramontanen Talweitung der zentralen Crocker Range. Die Crocker Range durchzieht von SW nach NE den nordöstlichen Teil der Insel Borneo. Sie ist ein im Tertiär im Bereich einer seit der oberen Kreide angelegten Synklinale entstandenes Gebirge mit dem Mt. Kinabalu als höchste Erhebung zwischen Himalaya und Neuguinea (4175 m). In den Bereichen der tektonisch angelegten intramontanen Talweitung tritt der sonst vorherrschende Charakter des tief eingeschnittenen Kerbtalreliefs zurück. Insbesondere der Fluß Pegalan konnte auf Längserstreckungen bis zu teilweise 30 km mehrere Terrassen bis zu einer Gesamtbreite von 6 km bilden. Es lassen sich zwei Hauptterrassen-niveaus deutlich unterscheiden: eine untere Hauptterrasse, die etwa 2–6 m über dem rezenten Auenbereich liegt, sowie eine obere Hauptterrasse, welche erneut zwischen 6 und 10 m höher ist. Daneben gibt es zahlreiche Verebnungen zwischen diesen Hauptniveaus, welche auf die Existenz von weiteren 6–10 Terrassen schließen lassen. Die tertiäre und quartäre Reliefentwicklung in diesem Teil Borneos, im Bereich der zentralen Crocker Range um die intramon-

tanen Talweitung, ist bisher nur in groben Umrissen bekannt und erlaubt noch keine befriedigenden Rückschlüsse etwa auf den zeitlichen Ablauf der Terrassenbildungen.

Das Terrassenmaterial besteht überwiegend aus kiesigen Sanden, kiesfreien Sanden, sandigen Tonen und Tonen. Die Terrassenoberfläche ist durch zahlreiche, auf Luftbildern deutlich erkennbare fluviale Erosionsrinnen und wannenartige Vertiefungen gegliedert (Photo 4). Für die Differenzierung der Bodengesellschaften ist die Sedimentabfolge und die damit verbundene Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte und Wasserdurchlässigkeit entscheidend. Häufig wird ein sedimentär bedingter Texturwechsel zwischen Basis- und Deckschichten angetroffen (zwei- und mehrphasige Flußablagerungen nach BAKKER und MÜLLER 1957). Über basalen tonreicheren Sedimenten befinden sich oft fein- und mittelsandige, zuweilen auch grobsandige Decksedimente. Das räumliche Verbreitungsmuster der Böden ist daher abhängig von der Sedimentstruktur und der (Mikro-) Reliefgestaltung nach der Terrassenbildung.

Der sedimentär bedingte Texturwechsel zwischen sandiger Deck- und tonreicher Basalschicht kann besonders in den zahlreichen, oft nur wenig eingetieften 10 m–20 m breiten Erosionsformen des Terrassenkörpers oberflächennah angetroffen werden. Eine Catena mit typischen Profilfolgen ist in Abb. 7 dargestellt. Podsole mit ausgeprägtem Humusanreicherungshorizont sind vor allem dort entwickelt, wo die tonige Basalschicht in größerer Ausdehnung vorhan-

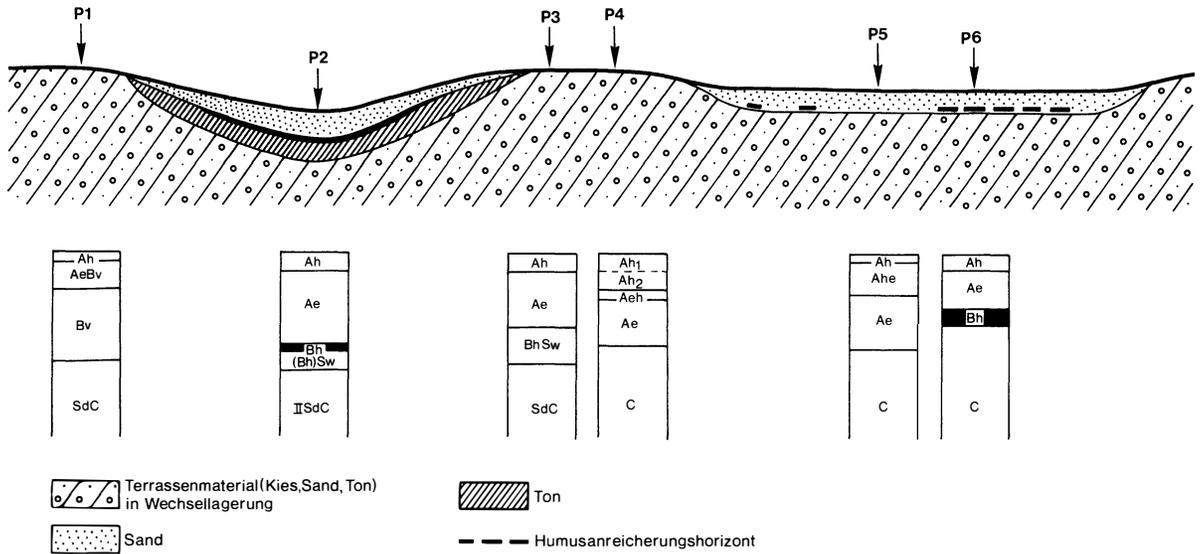


Abb. 7: Bodenabfolge auf der oberen Hauptterrasse des Pegalan (intramontane Talweitung von Keningau in der zentralen Crocker Range; NE-Borneo)

Soil sequence on the upper main terrace of the Pegalan River (intramontane valley basin of the Keningau area in the central Crocker Range; NE-Borneo)

<p><b>P 1</b></p> <p>Bodentyp: Podsolige (Pseudogley-) Braunerde aus Sand und sandigem Lehm</p> <p>Bodengesellschaft: Podsol; Pseudogley-Podsol</p> <p>Relief: Terrassenfläche; Hangneigung &lt;math&gt;&lt; 1^\circ&lt;/math&gt;</p> <p>Drainage: gering</p> <p>Durchwurzelbarkeit: wenig eingeschränkt</p> <p>Ah 0- 5 cm Brauner (10 YR 5/3) lehmiger Sand; krümelig</p> <p>AeBv 5-20 cm Graubrauner (10 YR 5/2) lehmiger Sand; krümelig</p> <p>Bv 20-60 cm Hellbrauner (10 YR 7/3) sandiger Lehm; krümelig bis subpolyedrisch</p> <p>SdC 60 cm + Hellgrauer (10 YR 7/1) sandiger Lehm bis lehmiger Sand; marmoriert</p> <p>Genese/Landschaftsgeschichte: Während der (spätpliozänen-) frühpleistozänen Heraushebung der Crocker Range entstanden größere intramontane Becken, die mit fluvialen Sedimenten (Kiesen, Sanden, Tonen) aufgefüllt und durch mindestens zwei große Terrassen gegliedert wurden. Besonders im oberen Terrassenniveau haben sich flache Spülrinnen gebildet, in denen Texturwechsel im vertikalen Profilaufbau besonders deutlich in Erscheinung tritt.</p>	<p><b>P 2</b></p> <p>Bodentyp: (Pseudogley-)Podsol aus sandigem Decksediment über toniger Basalschicht</p> <p>Bodengesellschaft: Pseudogley; Podsol</p> <p>Relief: Sehr flache Depression in ebener Terrassenfläche; Hangneigung: <math>0^\circ</math></p> <p>Drainage: sehr gering</p> <p>Durchwurzelbarkeit: mäßig bis sehr gering</p> <p>L/Of/Oh Pflanzenreste, insbesondere von <i>Baeckia frutescens</i>, <i>Pteridium aquilinum</i></p> <p>Ah 0-10 cm dunkelbrauner (10 YR 2/2) feinsandiger Lehm; Kohärent - bis Einzelkorngefüge; zahlreiche Wurzeln; allmählicher, aber deutlicher Übergang zu</p> <p>Ae 10-50 cm hellgrauer (10 YR 7/1) Feinsand; Einzelkorngefüge; nach unten zu in der Lagerung dichter, nach Herausnahme locker; sehr wenig Wurzeln; deutlicher Übergang zu</p> <p>Bh 50-65 cm dunkelbrauner (10 YR 2/2) lehmiger Sand; Einzelkorngefüge; dicht; sehr wenig Wurzeln; allmählicher, aber deutlicher Übergang zu</p> <p>(Bh)Sw 65-80 cm hellbrauner (10 YR 7/3) sandiger Lehm, rotbraune (5 YR 5/3) Flecken; blockig; dicht; feingrusiger Kies mit Tonhäutchen an der Oberfläche</p>
---	---

II (Sd) C 80 cm +	fahlbrauner (10 YR 8/3) sandiger Ton, fahloliv (5 YR 6/3) marmoriert; Aggregatoberflächen gebleicht; blockig; fest; feingrusiger Kies mit Tonhäutchen an der Oberfläche	Bodengesellschaft: Drainage: Durchwurzelbarkeit:	Pseudogley; Pseudogley-Podsol; podsolige Braunerde wenig behindert nicht behindert
Genese/ Landschafts- geschichte:	Die Spülrinnen wurden vielfach durch Oberflächenabfluß von der Umgebung her kolluvial aufgefüllt. Dennoch muß offen bleiben, ob das tonreiche Substrat im C-Horizont nach der Terrassenbildung fluvial abgelagert wurde, kolluvial eingeschwemmt wurde oder zum in-situ-Sediment des Terrassenkörpers gehört.	Ah <sub>1</sub> 0-10 cm Ah <sub>2</sub> 10-20 cm Aeh 20-25 cm Ae 25-50 cm C 50 cm +	schwarzer (10 YR 2/1) sandiger Lehm; krümelig; grobporenreich; viele verkohlte Wurzeln von <i>Pteridium aquilinum</i> dunkler grau-brauner (10 YR 3/2) sandiger Lehm; krümelig; mäßig durchwurzelt; grobporenreich grau-brauner (10 YR 4/2) sandiger Lehm; krümelig bis schwach polyedrisch; mäßig durchwurzelt gelb-brauner (10 YR 5/4) sandig-schluffiger Lehm; subpolyedrisch bis polyedrisch fein- bis mittelsandiger gelblicher (10 YR 6/3) Lehm mit stark quarzhaltigem Kies
<b>P 3</b>		<b>P 5</b>	
Bodentyp:	Flach- bis mittelgründiger Podsol-Pseudogley aus Feinsand über Kies in toniger Matrix	Bodentyp:	Podsol-Ranker aus sandigem Decksediment über Ton
Bodengesellschaft:	Pseudogley; Podsol; podsolige Braunerde	Relief:	Flache Vertiefung in der oberen Hauptterrasse
Drainage:	im oberen Teil wenig gehindert	Drainage:	gering
Durchwurzelbarkeit:	bis 50 cm wenig gehindert	Durchwurzelbarkeit:	mäßig bis gering
Ah 0-10 cm	bräunlich-grauer (2,5 Y 6/2) Feinsand; zahlreiche Poren; Feinwurzeln	Ah 0- 3 cm	dunkelgrauer (5 YR 4/1) schwach lehmi-ger Sand; Einzelkornstruktur
Ae 10-40 cm	hellgrauer (2,5 Y 8/1) bis weißer (N 8/0) Feinsand; in Rissen und Wurzelgängen organisches Material; nach unten verhärtet	Ahe 3-20 cm	hellgrauer (5 YR 7/1) Sand; Einzelkornstruktur
BhSw 40-60 cm	brauner (5 YR 3/4) sandiger Schluff, hellgelb (10 YR 8/3) und fahloliv (5 Y 6/3) gefleckt; humos; Wurmgänge; Feinwurzeln vorhanden	Ae 20-50 cm	weißer (5 YR 8/1) Sand; Einzelkornstruktur; sehr locker; einzelne runde Körner
SdC 60 cm +	feiner Kies in rötlich-gelber (7,5 YR 6/8) Tonmatrix, rot (2,5 YR 5/6) und fahlbraun (10 YR 8/3) marmoriert	C 50 cm +	grauer Ton
<b>P 4</b>		<b>P 6</b>	
Bodentyp:	Flach- bis mittelgründiger Podsol aus sandigem Lehm über Kies	Bodentyp:	Podsol aus sandigem Decksediment über Ton Profilaufbau ähnlich wie bei P 2, jedoch ohne hydromorphe Ausprägungen

den ist (P 2 und P 6). Die Bildung des Bh-Horizontes unter der hellgrauen bis weißen sandigen Deckschicht, dem pedogenetischen Bleichsandhorizont, wird durch das Fehlen einer lateralen Wasserbewegung erleichtert, so daß auch perkolierendes humusstoffreiches Wasser nicht abgeführt werden kann. Auch das häufige Austrocknen des sandigen Oberbodens wegen starker Evaporation könnte hier verstärkend wirken. Unter dem mit kolloidem Humus

angereicherten, oft scharf begrenzten Bh-Horizont (meist Humusortstein mit Hüllengefüge) können auch Humusbänderhorizonte angetroffen werden. Der meist gut abgrenzbare Bh-Horizont und das auffällige Hüllengefüge weisen darauf hin, daß die Humusakkumulation das Ergebnis eines Transportes geflockter Humusteilchen mit dem Sickerwasser darstellt (mechanische Akkumulation) und wohl kaum eine Sorption an Bodenkonstituenten beim



*Photo 4:* Pegalan-Fluß in der intramontanen Talweitung von Keningau in der zentralen Crocker-Range. Der bezüglich der Gesamttalweitung asymmetrische Flußverlauf ist durch junge Tektonik entlang einer Verwerfungslinie bedingt. Die durch zahlreiche Fließgerinne gegliederten Terrassen erstrecken sich hier bis zu 6 km vom Fluß (Bildmaßstab ca. 1:20 000)

Pegalan-river in the intra-montane basin of Keningau (Pictorial scale 1:20,000)

Transport vorhanden gewesen ist. Durch die Änderung des Porenvolumens aufgrund von Sedimentationswechsel tritt eine Verminderung der Wasserleitfähigkeit und Sickerungsgeschwindigkeit ein. Die Lage des Bh-Horizontes wird daher durch diesen Körnungsunterschied zwischen dem tonigen basalen und sandigen oberen Teil des Substrates bedingt. Im Bleichsand kann häufig diffuse Humusfleckung beobachtet werden. Charakteristisch ist ferner der dunkle, zuweilen fast schwarze Ah-Horizont unter Wald oder Sekundärbusch. Bei Landnutzung treten

stärkere Humusverluste auf. In diesen Fällen kann eine besonders starke Humusfleckung im Bleichsandhorizont angetroffen werden.

Die Vegetation auf den Terrassen besteht überwiegend aus Gras- und Buschgesellschaften mit nur sehr vereinzelt Vorkommen von höheren Bäumen oder Baumgruppen. Trotz der nährstoffarmen Böden und der sicherlich ungünstigen Bodenwasserverhältnisse kann das heutige Pflanzenkleid der Terrassen nicht als die potentiell natürliche Vegetation angesehen werden. Es dürften vor dem Eintreffen der lokalen

Dusunbevölkerung, welches sicherlich schon viele Jahrhunderte zurückreicht, Waldgesellschaften existiert haben, welche in ihrem Habitus und physiognomischen Erscheinungsbild – und möglicherweise auch in ihrer floristischen Struktur – einigen der oben beschriebenen Heidewaldgesellschaften ähnlich gewesen sind.

Die heutige Vegetation ist den regelmäßig angelegten Bränden angepaßt. Sie besteht aus feuerresistenten Sträuchern (*Antidesma ghaeseembilla*, *Melastoma malabathricum*, *Baekia frutescens*) sowie Gräsern und Kräutern mit meist weit verzweigtem Wurzelsystem (*Imperata cylindrica*, *Themeda villosa*, *Paspalum scrobiculatum*, u. a.). Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) ist weit verbreitet und muß als charakteristischer Säure- und Nährstoffmangelzeiger angesehen werden. Es ist bezeichnend, daß die Vegetation insgesamt eine schwer zersetzliche Streu liefert und von daher auch unter den heutigen Verhältnissen den Prozeß der Podsolierung aufrechterhält.

#### 4. (Sub)rezent holozäner Strandkomplex und Strandserien

Weite Teile der Küsten Nordostborneos sind in Form einer Ausgleichsküste ausgebildet. Im unmittelbaren Küstenbereich ist auf einer Breite von mehreren km eine Serie von parallel verlaufenden Strandwällen<sup>1)</sup> entwickelt, welche durch eine Reihe von ebenfalls küstenparallel ausgerichteten schmalen Vertiefungen mit sehr hohem Grundwasserstand aufgegliedert sind (Photo 5). Diese Vertiefungen sind Reste früherer verschleppter Fließgewässerrinnen und Lagunen. Die sehr junge litorale und fluviale Morphodynamik und Sedimentation haben eine insgesamt sehr komplexe Anordnung von Ökotope geschaffen, die sich auch hinsichtlich der Böden und des Bodenwasserhaushalts unterscheiden.

Die äußeren Strandwälle bestehen aus unverfestigtem Sand, der meist nur Initialphasen einer Bodenbildung erkennen läßt (Lockersyrose mit Vergleyung). Erst auf den inneren Strandwällen sind tiefgründigere Gleypodsole entwickelt. Die Vegetation ist erst hier dichter in Form eines Strandwaldes entwickelt. Das Alter dieses insgesamt küstennahen Strandwallkomplexes muß als sehr jung angesehen werden. NOSSIN (1964) konnte durch den Vergleich von Seekarten für die Ostküste der malayischen Halbinsel nachweisen, daß wichtige Prozesse bei der

Bildung von Ausgleichsküsten, wie z. B. die Bildung von Nehrungen und Lagunen, in wenigen hundert Jahren wirksam sind. Die Genese von Podsolen dürfte zwar etwas längere Zeit benötigen, aber immer noch sehr jungen holozänen Alters sein. Die Küstenbereiche Nordborneos wie auch der östlichen malayischen Halbinsel würden sich gerade für die Klärung der Frage nach dem zeitlichen Ablauf der Podsolbildung unter feuchttropischem Klima in Verbindung mit holozäner Reliefentwicklung eignen.

Die wichtigsten Ausgangssubstrate mit jeweils unterschiedlicher Bodenbildung innerhalb des küstennahen Ökotopegütes sind:

- a) sandige marine Ablagerungen;
- b) lehmige bis tonige fluviale Ablagerungen;
- c) Tone im Bereich von früheren Süßwassersumpfablagerungen, welche häufig von Torfen überlagert sind.

Das Ökotopegüte ist in seiner Grundstruktur küstenparallel angeordnet. Es herrscht ein kleinräumiger Wechsel der Standortverhältnisse vor, welcher die morphodynamischen Prozesse dieses küstennahen Bereiches widerspiegelt. Auch die Boden catena ist das Ergebnis der entsprechenden Standortverhältnisse (Abb. 8).

Im küstennächsten Bereich des Strandkomplexes werden Rohböden mit Vergleyung angetroffen (P 1 in Abb. 8).

Erst in älteren Strandbereichen landeinwärts haben bodenbildende Prozesse mächtigere Substratabschnitte erfaßt (Riesenpodsole; P 3). Die Lage des Humusanreicherungshorizontes wird durch die Höhe des Grundwasserspiegels beeinflusst. Durch dessen häufig sehr tiefe Lage wird die Bildung von Riesenpodsolen ermöglicht. Die Bildung des Bh-Horizontes wird dadurch gefördert, daß die im Sickerwasser geflockten Humuskolloide in den wassergesättigten Bereich gelangen, wo sie wegen Nachlassens der Sickerungsgeschwindigkeit ausgefällt werden. Es darf dabei allerdings nicht übersehen werden, daß im gesamten Profil keine Kornartendifferenzierung eingetreten ist (Abb. 8). Der Grobsand ist naturgemäß sehr durchlässig und bewirkt eine extrem schnelle Drainage, so daß eine äußerst geringe nutzbare Feldkapazität vorhanden ist. Die gesamten Standortbereiche im höheren Teil der Strandkomplexe sind daher ökophysiologisch trocken.

Innerhalb des Strandkomplexes sind küstenparallel lange Vertiefungen anzutreffen, in welchen hochstehendes Grundwasser zur Bildung von Naßgleyen führte (P 2). Am landwärtigen Rand des Strandkomplexes, in manchen Bereichen 10–12 km von der Küste entfernt, sind im Übergang zum breiten

<sup>1)</sup> Diese Strandwälle werden in englischsprachigen Publikationen mit Begriffen wie "marine terraces" und "raised beaches" bezeichnet.

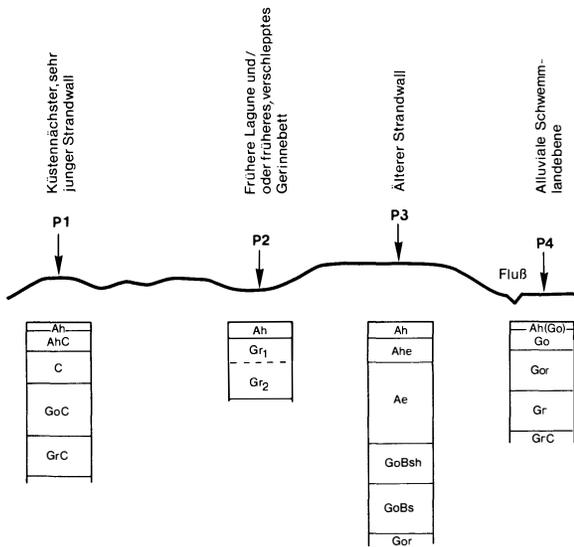


Abb. 8: Bodencatena im küstennahen Ökotoptyp von NE-Borneo  
Soil catena in the coastal ecotopes of NE-Borneo

**P 1**

**Bodentyp:** Ranker mit Vergleyung (Gley-Arenosol) aus sehr jungem holozänem Meeressand (in vielen Bereichen nur wenige hundert Jahre)

**Relief:** Küstennächste, ebene Strandwälle, meist 3 m – 5 m oberhalb der Strandschorre

**Vegetation:** Offene Strandheide mit wenigen Gebüschern (*Rhodomyrtus tomentosa*) und Gräsern

**Ah** - 5 cm lehmiger Sand (IS); olivgrau (2,5 Y 5/2); Kohärent – bis Einzelkorngefüge; sehr stark durchwurzelt, undeutliche Untergrenze

**AhC** - 18 cm schwach IS, olivbraun (2,5 Y 5/4), kohärent; stark durchwurzelt; undeutliche Untergrenze

**C** - 50 cm Fein- bis Mittelsand; olivgelb (2,5 Y 6/6); Einzelkorngefüge; undeutliche Untergrenze

**GoC** -100 cm Feinsand (fS); olivbraun (2,5 Y 4/4); gelb bis bräunlich marmoriert; locker; Einzelkorngefüge; sehr schwach durchwurzelt; undeutliche Untergrenze

**GrC** -130 cm Feinsand (fS); hellolivbraun (2,5 Y 5/6); locker; Einzelkorngefüge

**Standortbeurteilung:** extrem geringer Nährstoffgehalt bei relativ guter mechanischer Durchwurzelbarkeit

**P 2**

**Bodentyp:** Naßgley aus holozänem Meeressand und lehmigen Ablagerungen kleiner Lagunen

**Relief:** 0,5–0,8 m tiefe Depression zwischen Strandwällen

**Vegetation:** Dichter und relativ hoher Strandwald

**Ah** 8–10 cm sandiger Lehm (sL); olivgrau (2,5 Y 4/2); sehr stark humos; kohärent; sehr stark durchwurzelt; undeutlicher Übergang zu

**Gr1** -30 cm lehmiger Sand (IS), hellgrau bis grau (2,5 Y 7/0); kohärent; stark durchwurzelt; undeutlicher Übergang zu

**Gr2** -65 cm lehmiger bis schwach toniger Sand (l-t'S); hellgrau (2,5 Y 7/0) mit fahlgelblichbraunen und olivgrauen Flecken; kohärent; schwach durchwurzelt

**Standortbeurteilung:** relativ gute mechanische Durchwurzelbarkeit; hoher bis sehr hoher Grundwasserstand bei schlechten Drainageverhältnissen; geringer Nährstoffgehalt

**P 3**

**Bodentyp:** Tiefgründiger Gleypodsol (Riesenpodsol) aus holozänem Meeressand

**Relief:** Ebener, breiter Strandwall

**Landnutzung:** Extensives Weidegebiet mit schütterer Grasbedeckung

**Ah** 8– 12 cm Grobsand (gS); schwarz (10 Y 2/1); sehr stark humos; locker, schwach kohärent; stark bis sehr stark durchwurzelt; gewellte, deutliche Untergrenze

**Ahe** - 30 cm gS; grau (10 YR 6/1); schwach humos; locker, Einzelkorngefüge; stark durchwurzelt; gewellte, undeutliche Untergrenze

**Ae** -100 cm gS; hell bräunlichgrau (2,5 YR 6/2); locker, Einzelkorngefüge; schwach durchwurzelt; deutliche Untergrenze

**GoBsh** gS; schwarzbraun (2,5 YR 2,5/2) mit schwarzen Girlanden und einzelnen hellgrauen Flecken; stellenweise locker; kohärent; überwiegend verfestigt; örtlich einzelne Feinwurzeln; undeutliche Untergrenze

**GoBs** -135 cm gS; grau- bis rötlichbraun (5 YR 4/6–3/4); blaßbraun marmoriert; schwach verfestigt; deutliche Untergrenze

**Gor** 135 cm + gS; fahl graubraun (10 YR 6/4), gelblichrot marmoriert; locker; Einzelkorngefüge; im Bereich der Flecken kohärent

**Standortbeurteilung:** Mechanisch bis auf den verfestigten Horizont durchwurzelbar; sehr durchlässig (extrem schnelle Drainage), da verfestigt

	ter Horizont aussetzt; geringe Feldkapazität; außer für Tiefwurzler (Grundwasser) physiologisch trocken; sehr niedriger Nährstoffgehalt.	Gor	-50 cm	lehmiger Ton, hell gelblich-braun bis olivgelb (2,5 Y 6/4-6/6); dicht; stark klebrig; mitteldurchwurzelt; zahlreiche rötlich-gelbe und hellgraue Flecken; undeutlicher Übergang zu
<b>P 4</b>				
Bodentyp:	Gley aus holozänen Flußablagerungen	Gr	-80 cm	toniger Sand, olive (5 Y 5/4), mitteldurchwurzelt; kleine dunkelgraue und hellgraue Flecken; undeutliche Grenze zu
Relief:	Küstenebene auf der Inlandseite der Strandwallserie			
Vegetation:	Süßwassersumpfwald			
Ah(Go)	sandig toniger Lehm, hellgrau (10 YR 6/1-2, 5 Y N7/-); locker bis dicht; stark durchwurzelt; blasse, schwachgelbe Flecken; deutlicher Übergang zu	GrC	80 cm +	sandiger Ton, olive und hellgrau (5 Y 5/4 und 2,5 Y N7/-), dicht; schwach durchwurzelt; wenige olive-braune Flecken
Go	-20 cm sandiger Ton, hellgrau (2,5 Y N7/-); dicht; stark durchwurzelt; viele, deutlich rötlich-gelbe Flecken; undeutliche Grenze zu	Standort- beurteilung:		hoher bis sehr hoher Grundwasserstand; schlechte Drainageverhältnisse; nach Starkregen oder länger anhaltenden Niederschlägen Überflutungen

Schwemmlandbereich ausgedehnte Gebiete mit Gleyböden vorhanden (P 4). Diese werden allmählich durch Torfe mit Süßwassersumpfwäldern abgelöst. Durch junge Landerschließungsmaßnahmen sind hier häufig ausgedehnte Reisanbaugebiete entstanden.

Die ursprüngliche Vegetation der Strandkomplexe ist nur noch in wenigen Resten erhalten. Viele Baumarten des lichten Strandwaldes besitzen eine xeromorphe Blattstruktur und zeigen auf diese Weise ökologische Konvergenzen zu den Heidewäldern an. Der Strandkomplex wird als extensives und wenig ergebendes Weideland genutzt.

#### 5. Zusammenfassung und Hinweis auf Nutzungsansprüche in den Heidewaldgebieten

Bei einem zusammenfassenden Vergleich der drei untersuchten Räume läßt sich bezüglich der Podsolgenese der folgende Zusammenhang belegen. Bei nährstoffarmem, sandigem Ausgangssubstrat und bei den gegebenen hohen Niederschlägen regelt das Relief den Wasserhaushalt im oberflächennahen Untergrund. In ebenen Relieflagen kommt es durch den stark wechselfeuchten Charakter einerseits zu verzögerten Abbaubedingungen der abgestorbenen pflanzlichen Substanz, welche einen relativ mächtigen Auflagehorizont und damit auch einen Feuchtspeicher bilden kann. Es kommt hinzu, daß die Streu insgesamt nur schwer abbaubar ist und aufgrund sehr geringer Basengehalte einen niedrigen pH-

Wert besitzt. Andererseits begünstigt die zur Trockenheit neigende Komponente des wechselfeuchten Milieus, nämlich der sandige Oberboden, die Bildung eines Humusanreicherungs-horizontes über einem Staubereich, wobei mechanische Akkumulation der im Sickerwasser geflockten Humusteilchen erfolgt. Porungsdiskontinuitäten und wassergesättigtes Milieu im Stau- und Grundwasserbereich fördern die Bildung eines Humusanreicherungs-horizontes.

Die Heidewaldgesellschaften der tertiären Sandsteingebiete entsprechen in ihrer bestandsphysiognomischen Differenzierung den Relief- und Bodenverhältnissen, wobei insbesondere ein ökophysiologisch wirksamer Gradient des pflanzenverfügbaren Wassergehalts zwischen verschiedenen Standortbereichen abgeleitet werden kann.

Die Gebiete mit Podsolvorkommen stellen naturgemäß Räume geringer pflanzlicher Produktivität dar. Das landwirtschaftliche Potential ist äußerst gering. Allerdings besitzen die Bereiche mit tertiärem Sandstein mit ihrer sehr vielseitigen Reliefgestaltung, den steilen Stufen mit häufig anstehendem Sandstein unterschiedlicher Farben und den offenen Heidewaldbeständen mit blühenden Pflanzenarten in der Kraut- und Strauchschicht eine erhebliche Anziehungskraft für Erholung und „Kurzeittourismus“. Dabei darf nicht übersehen werden, daß diese Waldsysteme noch erheblich anfälliger für Belastungen sind als die klimatische Klimaxvegetation tropischer Wälder. Die Ausweisung als Schutzgebiete ist daher in Zusammenhang mit einem ökologisch abgesicherten Ressourcenmanagement unumgänglich.



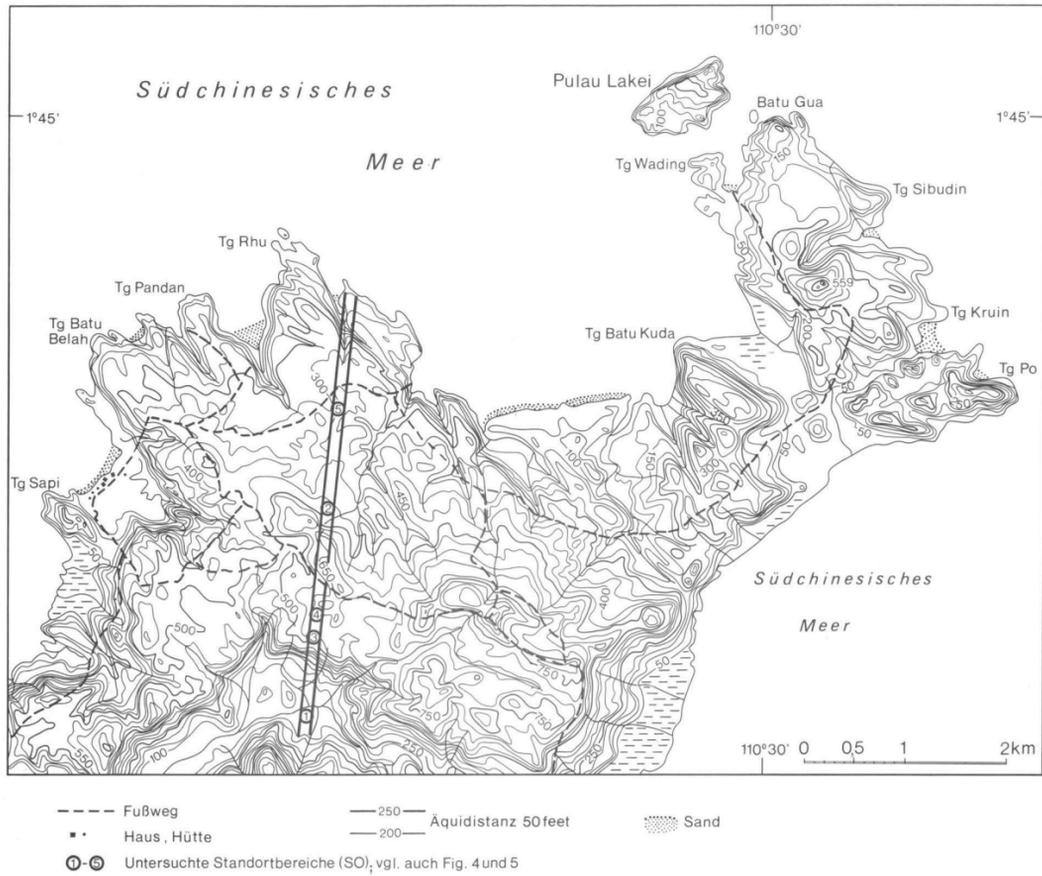
*Photo 5:* Küstennahe subrezent-holozäne Strandwallserien mit differenziertem Ökotopgefüge an der NW-Küste von Sabah (Nordborneo; Bildmaßstab ca. 1 : 20 000)

Subrecent-Holocene series of marine beach walls with different ecotopes on the NW-coast of Sabah (Pictorial scale 1 : 20,000)

## Literatur

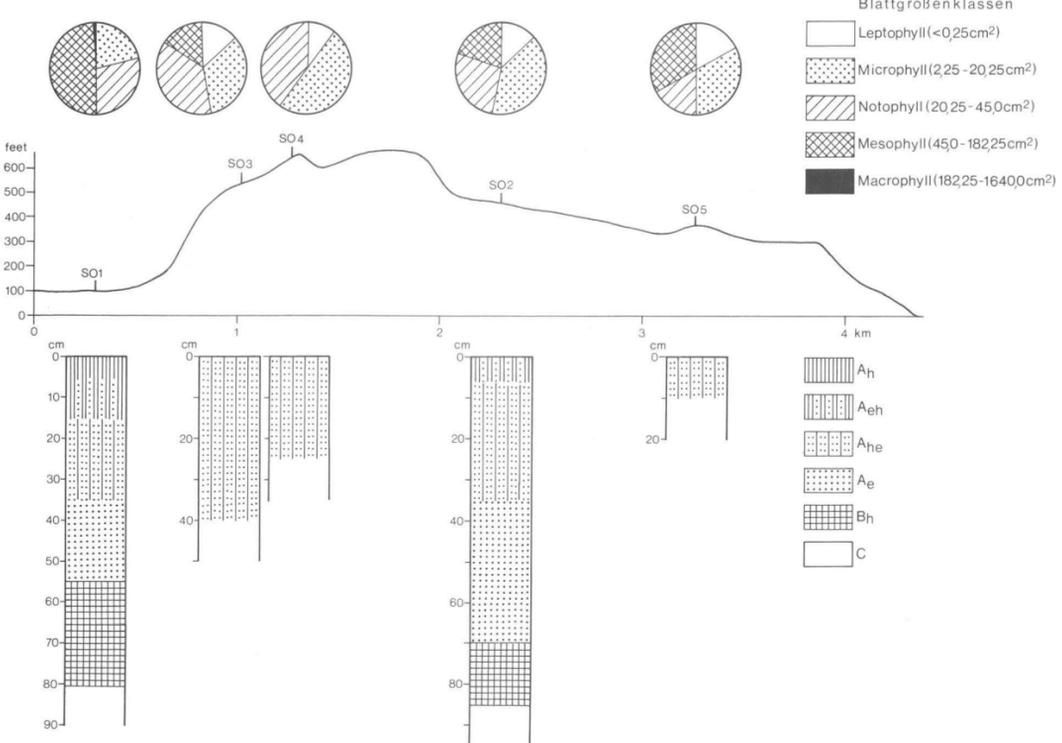
- ALTEMÜLLER, H.-J., KLINGE, H.: Mikromorphologische Untersuchungen über die Entwicklung von Podsolen im Amazonasbecken. In: JONGERIUS, A. (ed.), *Soil Micromorphology*. Amsterdam 1964.
- ANDRIESSE, J. P.: A study of the environment and characteristics of tropical podsolis in Sarawak (East-Malaysia). In: *Geoderma* 2, 1968/69, S. 201-227.
- Arbeitsgruppe Bodenkunde*: Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover 1982.
- ASHTON, P. S.: Ecological studies in the mixed Dipterocarp forests of Brunei. *Oxford Forestry Memoirs*, No. 25, 1964.
- BAKKER, J. P., MÜLLER, H. J.: Zweiphasige Flußablagerungen und Zweiphasenverwitterung in den Tropen unter besonderer Berücksichtigung von Surinam. In: *Stuttgarter Geogr. Studien* 69 (H. Lautensach-Festschrift), 1957, S. 365-397.
- BECCARI, O.: *Wanderings in the great forests of Borneo*. London 1904.
- BRÜNIG, E. F.: *Der Heidewald von Sarawak und Brunei*. Mitt. Bundesforschungsanstalt f. Forst- und Holzwirtschaft Nr. 68, Reinbek 1968.
- : Forestry on tropical podsolis and related soils. In: *Tropical Ecology* 10, 1969, S. 45-58.
- : Stand structure, physiognomy and environmental factors in some lowland forests in Sarawak. In: *Tropical Ecology* 11, 1970, S. 26-43.
- : On the ecological significance of drought in the equatorial wet evergreen (rain) forest of Sarawak (Borneo). In: FLENLEY, J. R. (ed.) *The water relations of Malesian forests*. Transactions of the First Aberdeen-Hull Symposium on Malesian Ecology, Hull (1970), 1971, S. 66-88.
- DUDAL, R., MOORMAN, F. R.: Major Soils of South-East Asia. In: *J. Trop. Geogr.* 18, 1964, S. 54-80.
- FICKEL, W.: Über tropische Podsolbildungen auf Strandwällen in Malaysia und Westafrika. In: *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 38, 1983, S. 491-494.
- FITTKAU, E. J.: Ökologische Gliederung des Amazonas-Gebietes auf geochemischer Grundlage. In: *Münster. Forsch. Geol. Paläont.* 20/21, 1971, S. 35-50.
- HERRERA, R., JORDAN, C. F., KLINGE, H., MEDINA, E.: Amazon ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. In: *Interciencia* 3 (4), 1978, S. 223-232.
- HEYLIGERS, P. C.: *Vegetation and soil of a white-sand savanna in Suriname*. Amsterdam 1963.
- KANTOR, W.: Genese und Bioelementgehalt von zwei Verwitterungsprofilen aus tonigen Sedimenten unter primärem Urwald im Amazonasbecken von Brasilien. In: *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 22, 1975, S. 607-620.
- KENNORTHY, J. B.: Water balance in the tropical rainforest: a preliminary study in the Ulu Gombak Forest Reserve. In: *Mal. Nat. J.* 22, 1969, S. 129-135.
- KLINGE, H.: Podzol soils in the Amazon Basin. In: *J. Soil Sci.* 16, 1965, S. 95-103.
- : Report on tropical podzols. F.A.O. Rome 1965.
- : Verbreitung tropischer Tieflandpodsole. In: *Naturwiss.* 53, 1966, S. 442-443.
- KLINGE, H., MEDINA, E., HERRERA, R.: Studies on the ecology of Amazon Caatinga Forest in Southern Venezuela. I. General features. In: *Acta Cient. Venezolana* 28, 1977, S. 270-276.
- LIECHTI, P.: The geology of Sarawak, Brunei and the western part of North Borneo. *Geol. Surv. Dep. Brit. Territ. in Borneo, Bull.* 3, Vol. 1, Kuching 1960.
- NIUWOLT, S.: Evaporation and water balances in Malaya. In: *J. Trop. Geogr.*, 1965, S. 34-53.
- NOSSIN, J. J.: Geomorphology of the surroundings of Kuantan (Eastern Malaya). In: *Geologie en Mijnbouw* 43, 1964, S. 159-182.
- RICHARDS, P. W.: Lowland tropical podzols and their vegetation. In: *Nature* 148, 1941, S. 129-131.
- : *The Tropical Rainforest*. Cambridge 1964.
- SCHNÜTGEN, A., BREMER, H.: Die Entstehung von Decksandden im oberen Rio Negro Gebiet. In: *Z. Geomorph. N. F.* 56, 1985, S. 55-67.
- SIOLI, H.: *Amazonien, Grundlagen der Ökologie des größten tropischen Waldlandes*. Stuttgart 1983.
- SIOLI, H., KLINGE, H.: Über Gewässer und Böden des brasilianischen Amazonasgebietes. In: *Die Erde* 92, 1961, S. 205-219.
- STEIN, N.: Coniferen im westlichen malayischen Archipel. Studien zu ihrer Verbreitung und Ökologie innerhalb der vollhumiden südostasiatischen Tropen. *Biogeographica* 11. Den Haag - Boston - London 1978.
- WHITMORE, T. C.: *Tropical rain forests of the Far East*. Oxford 1975.
- WIECHMANN, H.: Stoffverlagerung in Podsolen. *Hohenheimer Arb.* 94. Stuttgart 1978.
- WILFORD, G. E.: The geology and mineral resources of Brunei and adjacent parts of Sarawak. *Geol. Surv. Dep. Brit. Territ. in Borneo Mem.* 10. Brunei 1961.
- WINKLER, H.: Die Pflanzendecke Südost-Borneos. In: *Bot. Jb.* 50, 1914, S. 188-208.

Abb. 3



Halbinsel Bako (Sarawak; NW-Borneo); Lage des Profils und der untersuchten Standortbereiche (PD1-PD5 in Abb. 4 und Abb. 5)  
Bako Peninsula (Sarawak; NW-Borneo); location of the profile and the sites investigated (PD1-PD5 in Fig. 4 and Fig. 5)

Abb. 4

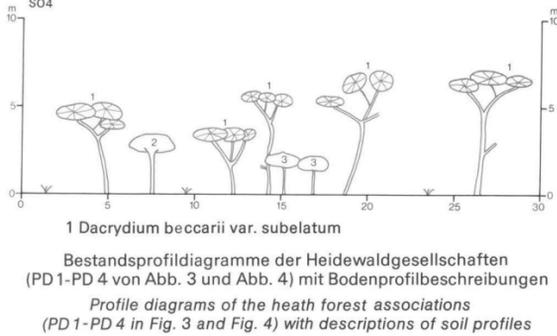
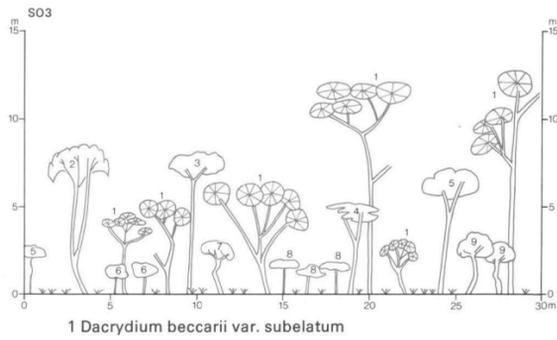
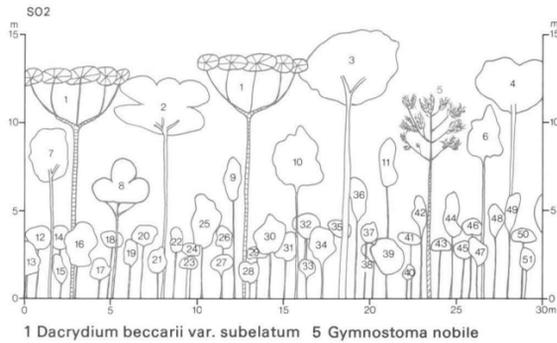
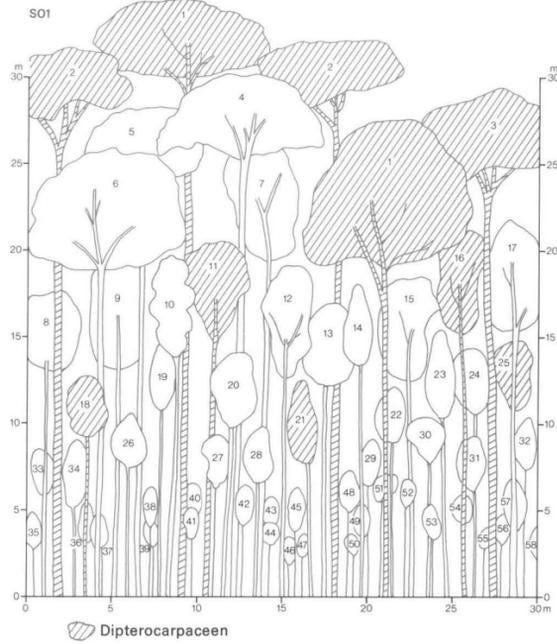


Bodenprofile und Blattgrößenklassen von Waldgesellschaften im Bako Nationalpark  
Soil profiles and leaf size classes of forest associations in the Bako National Park

- zu SO1
- 1: *Shorea ovata*
  - 2: *Dipterocarpus borneensis*
  - 3: *D. crinitus*
  - 4: *Whiteodendron moultonianum*
  - 5: *Tetramerista crassifolia*
  - 6: *Sindora* sp.
  - 7: *Diospyros evenis*
  - 8: *Myristica lowiana*
  - 9: *Horsfieldia crassifolia*
  - 10: *Knema kunstleri*
  - 11: *Shorea venulosa*
  - 12: *Neesia malayana*
  - 13: *Parkia singularis*
  - 14: *Melanorrhoea aptera*
  - 15: *Tristania elliptica*
  - 16: *Shorea havilandii*
  - 17: *Tristania maingayi*
  - 18: *Cotylelobium retusum*
  - 19: *Calophyllum retusum*
  - 20: *Gardenia pterocalyx*
  - 21: *Dipterocarpus kutaianus*
  - 22: *Palaquium ridleyi*
  - 23: *Garcinia bancana*
  - 24: *Parishia insignis*
  - 25: *Shorea* sp.
  - 26: *Agrostistachys borneensis*
  - 27: *Garcinia brevipes*
  - 28: *G. umbellata*
  - 29: *Canthium didymum*
  - 30: *Eugenia havilandii*
  - 31: *Schuurmansiella angustifolia*
  - 32: *Gaertnera racemosa*
  - 33: *Carallia brachiata*
  - 34: *Cinnamomum iners*
  - 35: *Garcinia celebica*
  - 36: *Gonystylus affinis*
  - 37: *Aetoxylon sympetalum*
  - 38: *Adinandra* sp.
  - 39: *Sterculia cuspidata*
  - 40: *Palaquium rostratum*
  - 41: *Urophyllum hirsutum*
  - 42: *Ixora havilandii*
  - 43: *Linociera cuspidata*
  - 44: *Canthium umbelligerum*
  - 45: *Eugenia kuchingensis*
  - 46: *Gonystylus calophyllum*
  - 47: *Aquilaria beccariana*
  - 48: *Eugenia cerina*
  - 49: *Horsfieldia motleyi*
  - 50: *Gymnacranthera* sp.
  - 51: *Calophyllum floribundum*
  - 52: *Eugenia* sp.
  - 53: *Baccaurea bracteata*
  - 54: *Garcinia umbellulata*
  - 55: *Carallia* sp.
  - 56: *Aporosa polycarpa*
  - 57: *Parishia polycarpa*
  - 58: *Gaertnera borneensis*

- zu SO2
- 1: *Dacrydium beccarii* var. *subelatum*
  - 2: *Stemonurus umbellatus*
  - 3: *Dillenia excelsa*
  - 4: *Melanorrhoea beccarii*
  - 5: *Gymnostoma nobile*
  - 6: *Stemonurus dolychophyllum*
  - 7: *Memecylon lanceolatum*
  - 8: *Xanthophyllum palembanicum*
  - 9: *Sindora* sp.
  - 10: *Cotylelobium malayanum*
  - 11: *Garcinia bancana*
  - 12: *Garcinia lanceolata*
  - 13: *Elaeocarpus beccarii*
  - 14: *Barringtonia anacardifolia*
  - 15: *Ixora borneense*
  - 16: *Memecylon laevigatum*
  - 17: *Santiria rubiginosa*
  - 18: *Ctenolophon parvifolium*
  - 19: *Arthrophyllum rubiginosum*
  - 20: *Ormosia microsperma*
  - 21: *Elaeocarpus beccarii*
  - 22: *Arthrophyllum blumeianum*
  - 23: *Eugenia obtusifolius*
  - 24: *Garcinia* sp.
  - 25: *Knema galeata*
  - 26: *Horsfieldia polyspherula*
  - 27: *Santiria apiculata*
  - 28: *Eugenia* sp.
  - 29: *Stemonurus lanceolatus*
  - 30: *Cratoxylum glaucum*
  - 31: *Garcinia* sp.
  - 32: *Longetia malayana*
  - 33: *Xerospermum muricatum*
  - 34: *Payena lerii*
  - 35: *Eugenia* sp.
  - 36: *Timonius escherianus*
  - 37: *Lithocarpus* sp.
  - 38: *Garcinia merguensis*
  - 39: *Xanthophyllum kingii*
  - 40: *Fagraea* sp.
  - 41: *Diospyros* sp.
  - 42: *Eugenia tetraptera*
  - 43: *Gaertnera borneensis*
  - 44: *Elaeocarpus obtusifolius*
  - 45: *Gardenia resinifera*
  - 46: *Xanthophyllum* sp.
  - 47: *Eugenia attenuata*
  - 48: *Decaspermum* sp.
  - 49: *Ormosia bancana*
  - 50: *Diospyros* sp.
  - 51: *Garcinia* sp.

Abb. 5



- zu SO3
- 1: *Dacrydium beccarii* var. *subelatum*
  - 2: *Eugenia tetraptera*
  - 3: *Calophyllum canum*
  - 4: *Dillenia excelsa*
  - 5: *Castanopsis* sp.

- zu SO4
- 1: *Dacrydium beccarii* var. *subelatum*
  - 2: *Eugenia perparvifolium*
  - 3: *Wikstroemia* sp.

Ah	0-15 cm	Mittelgründiger Humuspodsol mit Vergleyung im Unterboden Lockerer, krümeliger, stark durchwurzelter, graubrauner (7,5 YR 4/2), lehmiger Mittel- bis Feinsand und lehmiger Sand
Ahe	15-25 cm	Krümeleriger, gut bis mäßig durchwurzelter, braungrauer (7,5 YR 7/2), lehmiger Mittelsand
Ae	25-40 cm	Grauweißer (5 YR 8/1), schwach bis mäßig durchwurzelter, lehmiger Mittelsand; in Rissen und Wurzelkanälen mäßig humuseingefärbt
Bh1	40-50 cm	Schwach verfestigter, bräunlich-grauer (7,5 YR 6/1), lehmiger Mittel- bis Feinsand; mäßig durchwurzelt
Bh2	50-60 cm	Schwach bis mäßig verfestigter graubrauner (7,5 YR 4/2) schluffiger Mittelsand; mäßig durchwurzelt
Bh/C	60-70 cm	Schluffig lehmiger, gelblich-brauner (10 YR 5/6) Fein- bis Mittelsand; kaum durchwurzelt; in Rissen und Wurzelkanälen starke Humuseinschwämmung
GoC	70 cm +	Fahlgelber (2,5 YR 7/4) Lehm bis sandiger Ton; rötlich-gelbe (5 YR 7/6) Flecken
LOfOh	8- 0 cm	Mittelgründiger Humuspodsol aus Sand über sandigem Ton Viele Feinwurzeln und Holzreste; viele Moosreste
Ah	0-20 cm	Dunkler graubrauner (10 YR 3/2) lehmiger Feinsand; mäßig durchwurzelt
Ahe	20-40 cm	Bräunlich-grauer (7,5 YR 6/1) schwach lehmiger Feinsand; locker; gut durchwurzelt
Ae	40-60 cm	Hellgrauer (5 YR 7/1) Mittel- bis Feinsand; locker; mäßig durchwurzelt
(Bh)C	60-70 cm	Graubrauner (5 YR 6/2) sandiger Lehm; schwach verfestigt; wenig durchwurzelt; insbesondere in Rissen und Wurzelgängen Humuseinlagerungen
C	70 cm +	Rötlich-gelber (7,5 YR 6/6) sandiger Ton

LOfOh	5(3)-0 cm	Flachgründiger Humuspodsol über grauweißem Sandstein (harter Schichtkopf)
Ah	0-10 cm	stark wechselnde Streu
Ahe	10-15 cm	Schwärzlich rotbrauner (5 YR 2/3) Mittelsand, krümelig; viele Quarzkörner; stark durchwurzelt
Ae	15-30 cm	Graubrauner (10 YR 4/1) Mittelsand, gut durchwurzelt; Einzelkornstruktur
AeBh	30-40 cm	Hellgrauer (2,5 YR 7/1) Mittelsand; gut durchwurzelt; locker; Einzelkornstruktur
C	40 cm +	Heller bräunlich-grauer (5 YR 6/1) Mittelsand, gut durchwurzelt; mäßig verfestigt
LOfOh	4- 0 cm	Flachgründiger (Pseudogley-) Humuspodsol aus Sand über gelbem, sandigem Ton
Ah	0- 8 cm	Viele Zweiglein von <i>Dacrydium beccarii</i> var. <i>subelatum</i>
Ae	8-30 cm	Dunkelbrauner (7,5 YR 2/3) Mittelsand; locker; Einzelkornstruktur; mäßig durchwurzelt
(Sd)BhC	30-40 cm	Graubrauner (7,5 YR 6/2) schluffiger Mittelsand; schwach bis mäßig verfestigt; Humuseinschwemmung in Rillen und Wurzelröhren; mäßig durchwurzelt
C	40 cm +	Hellbrauner (5 YR 6/4) sandig-toniger Lehm; schwache Bleichflecken; stark verfestigt; schwach durchwurzelt
		Braungelber (10 YR 7/8) sandiger Ton, mit vielen größeren Quarzkörnern; keine Wurzeln