

- Civita, V. (Editor) (1977):* Guia Quatro Rodas do Brasil 1978. — São Paulo 1977 (Editora Abril Ltda.).
- Colombel, P., & Orloff, N. (1981):* Botschaft aus Brasiliens Vorzeit. — Galerie der Künste, 1: 30–37; Hamburg.
- Dardenne, M. A., & Walde, H. G. (1979):* A Estratigrafia dos Grupos Bambuí e Macaúbas no Brasil Central. — Atas do I Simpósia de Geologia de Minas Gerais — Geologia do Espinhaço, Bol. No. 1: 43–53; Belo Horizonte.
- Guba, I. (1980):* Die Höhlen von Maquiné in Minas Gerais/Brasilien. — Vortrag zur 22. Jahrestagung des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V. in Oberkochen/Baden-Württemberg, Vortragszusammenfassung und Tagungsunterlagen, 21 S., unveröffentl.; Clausthal-Zellerfeld.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1939):* As Grutas de Minas Gerais. — Departamento Geral de Estatística 1939.
- Lund, P. (1836):* Primeira Memória. — Copenhague.
- Moraes, L. J. (1937):* Geologia Geral. In: Geologia Econômica do Norte de Minas Gerais. — DNPM, Serv. Fom. Prod. Min., Bol. 19: 7–111; Rio de Janeiro.
- Silveira, A. da (1922):* Memórias Corográficas. — Vol. 2: 551–557.
- Valle, C. M. C.: A Gruta ou Lapa Nova do Maquiné. —* Departamento Geral de Estatística, Brasil.

Auswirkungen rezenter Vertikalbewegungen auf die Entstehung einer Brackwasserquelle im nordwestlichen Sumatra (Provinz Aceh, Indonesien)

Von Thomas Reimer (Wiesbaden)

Abstract

The brackish water spring, forming the source of the Raba river, occurs near the village of Lho'nga about 3 km inland from the sea. The water appears below the water level of the river from a crevice at the base of a 150 m high cliff of massive limestone. The estimated rate of flow is 2,000–2,500 l/sec and the sea water content varies between 23–60%.

The spring is fed from a karst aquifer, the outflow exerting a strong suction on a sea water aquifer consisting of sand and rubble and covered by impervious muds in the plain below the limestone cliff. The brackish nature of the water is established within the spring itself through mixing of the two components. Originally the spring did not contain sea water as the sea level was considerably below the spring level. Subsequently the sea level rose to about 7–8 m above its present position and the spring flowed into a lagoon. Relatively recent rises of the coast line led to a retreat of the sea and to the establishment of the present spring mechanism.

The water of the spring to a large extent represents the outflow of a 25 km² large karst valley to the southeast which does not have a surface exit. Further rises of the coast-line will re-establish the original non-brackish nature of the Raba spring.

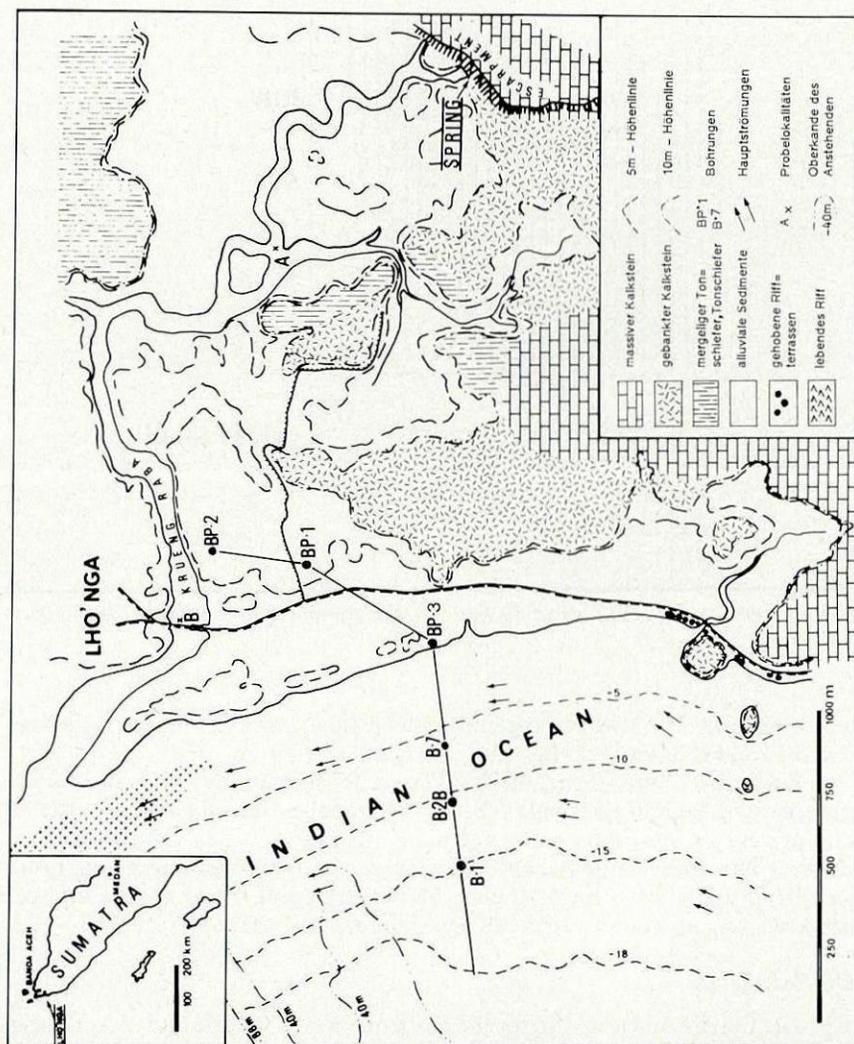


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte des Gebietes um Lho'nga.

Einführung

Brackwasserquellen sind eine bemerkenswerte Erscheinung gebirgiger Küstengebiete, wie sie etwa an den jugoslawischen und griechischen Teilen der Adria und am Tyrrhenischen Meer auftreten. Sie kommen jedoch auch in den flachen verkarsteten Küstengebieten Floridas vor. Die Entstehung dieser Quel-

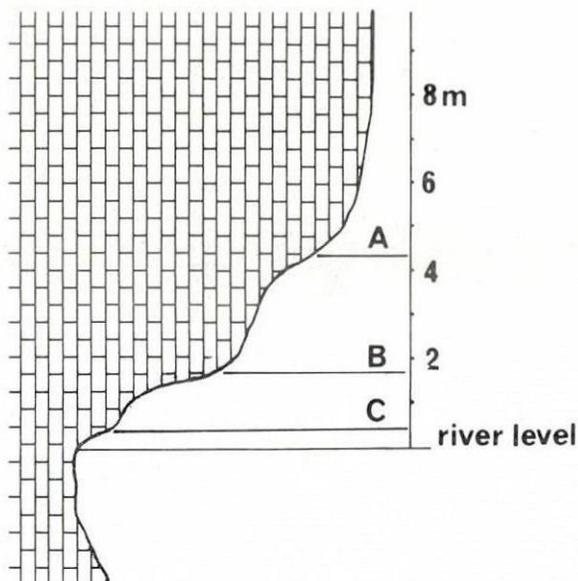


Abb. 2: Schematischer Schnitt durch die Basis des Kalksteinmassivs an der Raba-Quelle (Buchstaben s. Text).

len ist eng mit den Schwankungen des Meeresspiegels in der jüngsten geologischen Vergangenheit verknüpft.

Bei Explorationsarbeiten in der Provinz Aceh im nordwestlichen Sumatra (Indonesien) wurde eine starke Brackwasserquelle südöstlich der Ortschaft Lho'nga etwa 3 km landeinwärts von der Küste des Indischen Ozeans entdeckt (Abb. 1). Die vorliegende Arbeit behandelt geologische Beobachtungen, Bohrlochdaten und chemische Analysen, die zur Erklärung dieser Quelle und der jüngeren geologischen Geschichte des Gebietes beitragen.

Die Raba-Quelle

Die Quelle bildet den Ursprung des Krueng (Fluß) Raba und entspringt in einem großen Felsüberhang an der Basis einer etwa 150 m hohen senkrechten Steilwand aus massivem Kalkstein. Der Überhang (Abb. 2) setzt sich in einer Spalte fort, die anscheinend entlang des Kontaktes zwischen dem massiven und einem mehr geschichteten Kalkstein verläuft. Die Spalte erstreckt sich über mindestens 15 m in das Gestein hinein, und das Wasser tritt in ihrem unteren Teil unterhalb des Wasserspiegels aus.

Da der Mund der Quelle nicht direkt beobachtet werden konnte, mußte die Schüttung in dem relativ unregelmäßig geformten Austrittskanal geschätzt werden. Im Jänner 1977 betrug sie 2000 bis 2500 l/sec. Da dies zum Höhepunkt der

Regenzeit war, ist zu vermuten, daß der Jahresdurchschnitt niedriger liegt, da starke jahreszeitliche Schwankungen in der Schüttung von Karstquellen durchaus normal sind (ZÖTL 1978). Die Daroy-Quelle, etwa 4 km südlich von Banda Aceh und etwa 10 km nordöstlich der Raba-Quelle, hatte im Jänner 1977 eine Schüttung von 800 bis 1000 l/sec, versiegt jedoch häufig während der Trockenzeit (Juni–Juli).

Am Fuße der Steilwand ist der Raba etwa 3 m tief und fließt träge zur Küste, wo seine Mündung teilweise durch Sandbänke blockiert wird. Bei Ebbe beträgt die Wassertiefe hier höchstens etwa 0,7 m. Bei Flut steigt der Wasserspiegel an der Brücke südlich von Lho'nga etwa 0,4 m und an der Raba-Quelle etwa 0,3 m an (Abb. 1). Der mittlere Tidenhub des Ozeans beträgt etwa 0,7 m (MARVIS 1977). Die kleinen Bäche, die von Norden her in den Raba münden, sind mit kleinen Wehren gegen ein Eindringen des brackigen Wassers in die Reisfelder bei außergewöhnlich hohem Wasserspiegel geschützt.

Von besonderem Interesse ist das Auftreten von angewachsenen Schalen von austernähnlichen Muscheln entlang des Raba, wo sie sich an Brückenpfeilern, Wurzeln größerer Bäume sowie an der Basis der Kalksteinwand an der Raba-Quelle finden. Ihre intensivste Verbreitung liegt etwa im Bereich der mittleren Hochwassermarken, wobei jedoch einzelne Exemplare bis zu 0,4 m darüber auftreten können. Die Schalen zeigen deutliche Lösungsanzeichen. Der Fluß muß von den Muscheln besiedelt worden sein, als sein Salzgehalt relativ hoch war, d. h. zu einer Zeit, als der Süßwasserzufluß zur Raba-Quelle geringer als heute war. Dies könnte während einer Dürreperiode in den vergangenen 30 bis 40 Jahren der Fall gewesen sein. Niederschlagsdaten über diesen Zeitraum waren jedoch nicht zu erhalten, und eine Befragung der lokalen Bevölkerung ergab ebenfalls keine Hinweise. Dieser Zustand muß jedoch noch nach 1905 geherrscht haben, als die Brücke über den Raba südlich von Lho'nga gebaut wurde, da die Muscheln auch an den Pfeilern dieser Brücke wuchsen.

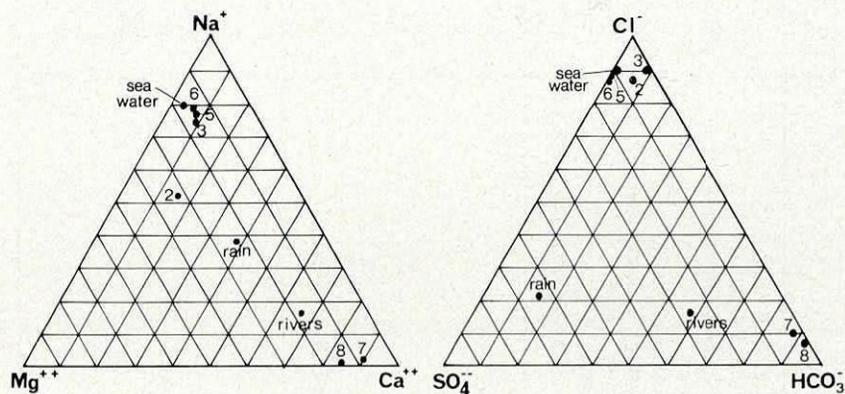


Abb. 3: Chemische Zusammensetzung von Wässern des Lho'nga-Gebietes (in Milliäquivalent, Nummern wie in Tabelle 1).

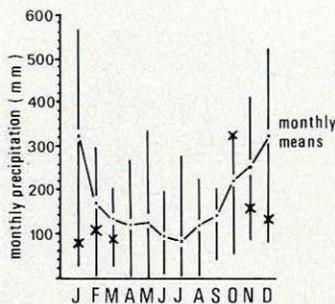


Abb. 4: Monatsmittel des Niederschlags für Banda Aceh (Kreuze = Werte für Oktober 1976 bis März 1977).

Chemische Zusammensetzung der Wässer

Die chemische Zusammensetzung verschiedener Wässer aus der Gegend von Lho'nga ist in Tabelle 1 angegeben, die relativen Gehalte (in Milliäquivalent/l) zeigt Abb. 3. Die Raba-Quelle ist durch ein Ca-Mg-Verhältnis von etwas unter 1,0 sowie durch hohen Sulfatgehalt gekennzeichnet. Es besteht keinerlei Ähnlichkeit mit salzreichen Quellwässern, wie sie z. B. in CLARKE (1921) angegeben werden. Das Wasser der Raba-Quelle ist daher am ehesten als eine Mischung aus Süßwasser und Meerwasser zu erklären.

Da die Süßwasserkomponente (Tabelle 1, Analyse 7–8) einen vernachlässigbar geringen Gehalt von gelöstem Material im Vergleich zum Meerwasser enthält, kann der Anteil des letzteren an der Quelle abgeschätzt werden. Er schwankte von etwa 50% im November 1976 über 23% im Jänner 1977 bis 60% im März desselben Jahres, bei einem Durchschnitt von 43%. Die durchschnittlichen Niederschlagsdaten für Banda Aceh sind in Abb. 4 zusammen mit den Werten für den Zeitraum Oktober 1976 bis März 1977 dargestellt. Während dieser Zeit war der Niederschlag meist unterdurchschnittlich, was den hohen Meerwassergehalt erklären könnte.

Es ist zu vermuten, daß am Ende der Regenzeit, d. h. Juni bis August, der Meerwassergehalt der Raba-Quelle am höchsten ist. Die Schüttung der Quelle dürfte ähnliche Schwankungen aufweisen wie der Niederschlag. Änderungen des Salzgehaltes der Quelle gehen mit ähnlichen Änderungen weiter stromab einher. Im Jänner 1977 betrug der errechnete Meerwassergehalt des Raba am Punkt A (Abb. 1) etwa 38%. Im März des gleichen Jahres betragen die Werte an der Quelle etwa 60%, am Punkt A etwa 70% und an der Brücke (Punkt B in Abb. 1) etwa 80%.

Geologische Situation

Die Gegend um Lho'nga wird von gefalteten permischen Sedimenten aufgebaut. Die Abfolge beginnt mit graugrünen, stellenweise kohlenstoffreichen Tonschiefern mit einigen Sandsteinbänken im unteren Teil. Darüber folgen mergelige Tonschiefer, die in eine gebankte Wechsellagerung aus kieseligen Kalksteinen mit mergeligen Tonschiefern übergehen. Massige reine Kalksteine beenden die Abfolge. Wegen der komplizierten tektonischen Situation ist die

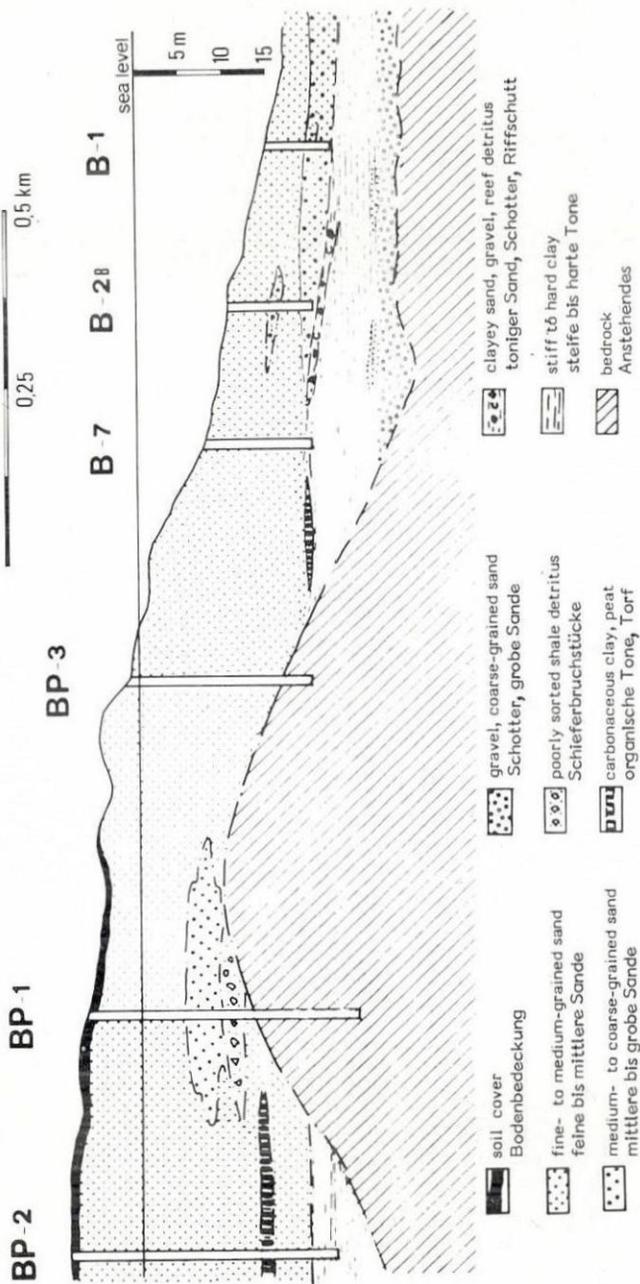


Abb. 5: Geologisches Profil durch die Küste südlich von Lhoinga.

Gesamtmächtigkeit nicht festzustellen, sie wird jedoch sicherlich mehrere hundert Meter betragen. Mehrere Faltungsphasen lassen sich nachweisen. Die Tonschiefer und gebankten Kalksteine streichen meist N-S und fallen mäßig bis steil zur Küste hin ein, während die massiven Kalksteine nahezu senkrecht stehen. Die von letzteren unterlagerten Gebiete weisen eine typische tropische Karstlandschaft auf; große Einbruchstrukturen und Dolinen nehmen bis zu 10% des in Abb. 8 gezeigten Gebietes ein. Im Vergleich dazu sind im Karst östlich von Triest etwa 5% Dolinen, etwa 12% im Otavi-Bergland im nördlichen Namibia (WAGNER 1952).

Hinweise auf die alluvialen Lockersedimente wurden aus Bohrungen für Baugrunduntersuchungen an Land und unter dem Meeresspiegel gewonnen (Abb. 5). Die Sandwälle entlang der Küste werden von einem schmalen Rücken aus gebanktem Kalkstein unterlagert, der auch die mit etwa 2° seewärts einfallende Erosionsplattform bildet, auf der die jüngeren Sedimente abgelagert wurden. Deren Basis liegt, wie seismische Untersuchungen zeigen, zwischen 24 und 30 Metern unter dem Meeresspiegel (MARVIS 1977).

Nur im nordwestlichen Teil des in Abb. 1 gezeigten Gebietes wird diese Fläche unregelmäßig mit stellenweise steileren Gefällen. Bei den seismischen Untersuchungen wurden eine schmale, NE-SW verlaufende Rinne beobachtet sowie der Südrand einer bis zu 40 m tiefen Rinne, bei der es sich möglicherweise um einen Vorläufer der Raba handelt. Kreisförmige, 20–40 m breite und bis zu 15 m tiefe Einsenkungen in der Erosionsplattform dürften auf verschüttete Dolinen zurückzuführen sein. Die Erosionsplattform selbst wird von Schotter mit einer Mächtigkeit bis zu 5 Metern und von groben Sanden mit einzelnen Geröllen und Riffschutt überlagert, gefolgt von bis zu 10 Meter mächtigen steifen bis harten, sandig bis schluffigen Tonen von dunkelgrauer bis gelbbrauner Farbe. Im unteren Teil treten vereinzelt Sandlinsen auf, die zum Hangenden hin an Korngröße und Häufigkeit zunehmen.

Im submarinen Teil des untersuchten Gebietes werden die Tone stellenweise von einer tonigen Schotterlage mit groben Sanden überlagert, die bis zu 1 Meter mächtig ist und einzelne Korallen- und Sandsteinbruchstücke enthält. Es handelt sich dabei vermutlich um eine Sturmflutablagerung. Stellenweise enthält diese Lage auch „cap rock“, d. h. unterschiedlich stark zementierte Sande, die durch Aufwärtsbewegung und anschließendes Verdunsten von Grundwasser zu einer Zeit entstanden, als diese Zone eine Landoberfläche bildete (MARVIS 1977).

In den westlichsten Bohrungen wird dieser Horizont von mittel- bis grobkörnigen Sanden aufgebaut, die zur Küste hin auskeilen. Sie werden von mittel- bis feinkörnigen Sanden überlagert. Im unteren Teil der feinkörnigen Sande, die äolischer Entstehung zu sein scheinen, wurde in einem Bohrloch etwa 1,5 m stark organischer Schluff mit Holzfragmenten angetroffen. Etwa 1,1 m Torf und organische Tone wurden im Bohrloch BP-2 in einer vergleichbaren Position durchteuft.

Die mittel- bis feinkörnigen Sande sind meist dunkel- bis rotbraun und enthalten stellenweise Kalksteingerölle und Muschelbruchstücke. Sie zeigen eine

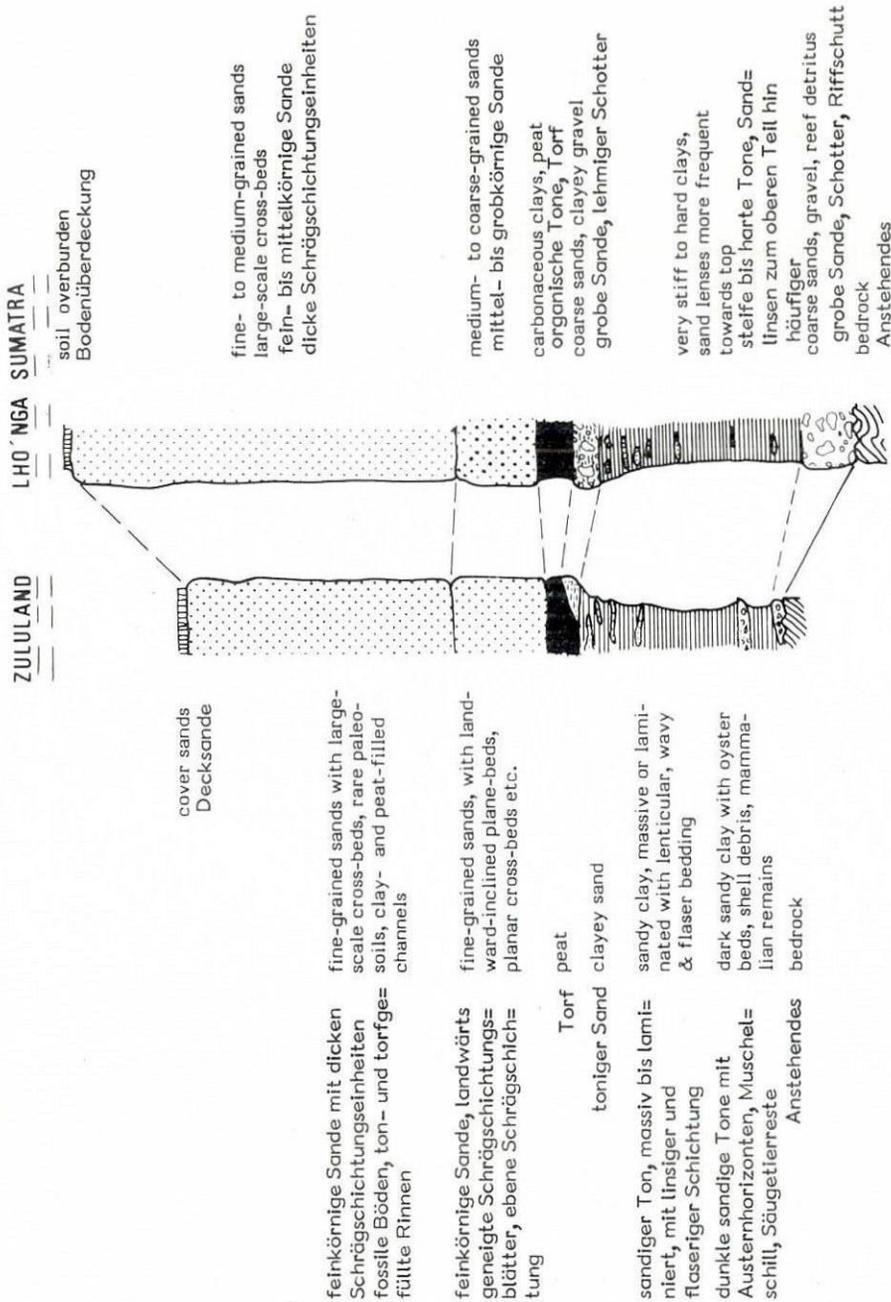


Abb. 6: Vergleichendes stratigraphisches Profil für die Küste von Zululand (Südafrika) und Lho'nga.

Abnahme der Korngröße zum Hangenden hin. Linsen aus gröberkörnigen Sanden treten vereinzelt auf. Die Mächtigkeit nimmt von 18 Meter an der Küste allmählich seawärts ab. Auf der Ostseite des Kalksteinrückens erreichen die Sande in der Bohrung BP-2 eine Mächtigkeit von 22 Metern. Sie werden von 0,5 bis 1 m mächtigen, dunkelbraunen schluffigen Sanden mit einem hohen Gehalt an organischem Material überlagert.

Eine bemerkenswert ähnliche lithologische Abfolge wurde von HOBDDAY & JACKSON (1979) auf der gegenüberliegenden Seite des Indischen Ozeans an der Küste von Zululand bei Richards Bay (Südafrika) beobachtet. Die pleistozäne Port Durnford Formation überlagert hier ältere äolische Sandsteine mit einer Basis aus dunklen sandigen Tonen mit Austernschalenhorizonten, Muschelschill, fossilem Holz und Säugetierresten. Hierüber folgen massive Tone, die zum Hangenden hin in sandige massive und gebänderte Tone übergehen, die als lagunäre Ablagerungen gedeutet werden. Darüber folgt ein toniger Sandhorizont mit Torf und organischen Tonen. Diese wieder werden von feinkörnigen Sanden überlagert, über denen äolische Sande mit großmaßstäblicher Schrägschichtung folgen, die als Wurzelhorizonte gedeutete kohlenstoffreiche Tonlagen enthalten. Nach HOBDDAY & JACKSON (1979) wurde der untere Teil der Abfolge während des letzten Interglazials (Sangamon) abgelagert, als der Meeresspiegel etwa 8 Meter höher lag als heute. Die äolischen Sande bildeten sich in küstennahen Dünenfeldern während der nachfolgenden Wisconsin-Regression (Abb. 6).

Ein stellenweise bei Ebbe trockenfallendes Korallenriff ist der Raba-Mündung vorgelagert und begleitet die Küste nördlich von Lho'nga über etwa 2,5 km im Abstand von 250 bis 500 Metern. Der Meeresboden fällt nur langsam nach Westen ab und erreicht eine Tiefe von 36 m erst etwa 10 km vor der Küste. Riffterrassen, die bis etwa 1,5 m über den gegenwärtigen mittleren Meeresspiegel angehoben sind, treten entlang des Strandes auf (Abb. 1). Eine Zone untereinander verbundener Hohlräume mit einer unteren Grenze bei etwa 1,5 m über dem mittleren Meeresspiegel ist in den kleinen Kalksteininseln südwestlich von Lho'nga entwickelt. Gehobene pleistozäne Strandterrassen finden sich an verschiedenen Stellen entlang der Westküste Sumatras bis zu einer Höhe von 100 m über dem Meeresspiegel (BOEN & WANGSADINATA 1971). Es gibt somit weitverbreitete Anzeichen positiver und negativer Verlagerungen des Meeresspiegels, die zum Teil auf eustatische Bewegungen während des Pleistozäns und zum Teil auf tektonische Ereignisse entlang der Westküste Sumatras zurückzuführen sind.

Mechanismus der Quelle

Obwohl die Quelle augenblicklich unterhalb des Meeresspiegels entspringt, handelte es sich ursprünglich um eine normale Karstquelle, die zu Zeiten eines niedrigeren Meeresspiegels während pleistozäner Perioden erhöhter Niederschläge an der Oberfläche entsprang. Als Folge des Anstieges des Meeresspiegels und der allmählichen Auffüllung des Gebietes westlich der

Quelle mit alluvialen Sedimenten entspringt sie jetzt am Kontakt zwischen Kalkstein und Alluvium.

Im Gegensatz dazu ist die Beimischung von Meerwasser schwieriger zu erklären. In der Nähe von Brackwasserquellen im Küstenkarst von Jugoslawien und Griechenland läßt sich stets eine Verbindung zwischen dem Kalkstein-aquifer und dem Meer zeigen. Im Falle der Raba-Quelle treten jedoch alluviale Sedimente zwischen den Kalkstein und das Meer (Abb. 5). Ein direkter Zufluß des Meerwassers durch die Alluvionen hindurch in ein älteres Karstsystem auf einem tieferen Niveau ist wegen der abdichtend wirkenden Tone, die in den Bohrungen angetroffen wurden, unwahrscheinlich. Wenn das Meerwasser überhaupt durch einen Karstaquifer zur Quelle gerät, dann müßte die Zutrittsstelle außerhalb des in Abb. 1 gezeigten Gebietes liegen.

Da es somit unwahrscheinlich ist, daß der Karstaquifer bei der Versorgung der Quelle mit Meerwasser eine Rolle spielt, bleiben dafür nur die alluvialen Sedimente um Lho'nga übrig. Der vermutete Quellmechanismus ist in Abb. 7 dargestellt. Der Boden des Flusses ist von Tonen geringer Permeabilität bedeckt, unter denen Sande liegen. Ein zweiter undurchlässiger Horizont liegt in dem untersten Ton- und Torfhorizont vor, der vermutlich groben Verwitterungsschutt und Sande überlagert. Durch die Sande zwischen den beiden Tonschichten sowie durch den Schutt und die Sande an der Basis kann Meerwasser landeinwärts fließen. Die Menge des Meerwassers, das der Quelle zur Verfügung steht, hängt von der Breite der Lücke ab, durch die der Fluß westlich von Punkt A (Abb. 1) fließt. Nimmt man hier eine Breite von 400 m an, eine Mächtigkeit des entsprechenden Aquifers von 8 m und ein Porenvolumen von 25% (d. h. 10% Lücken in der Schnittebene), so ergibt sich eine mögliche Durchflußfläche von 320 m². Wie weiter unten noch zu zeigen sein wird, betrug der Meerwasseranteil der Quelle im Jänner 1977 etwa 78.000 m³ pro Tag. Der größte Teil davon wird durch die erwähnte Lücke zugeführt worden sein, woraus sich eine Fließgeschwindigkeit von etwa 250 m pro Tag oder etwa 3 mm pro Sekunde ergibt.

Die geologisch jüngste Vergangenheit der Gegend um Lho'nga begann mit

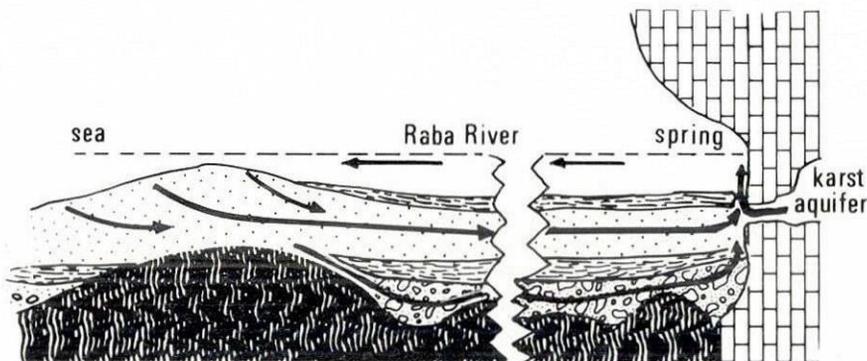


Abb. 7: Schematische Darstellung des Quellsystems.

einer marinen Erosionsterrasse, die sich zu einer Zeit bildete, als der Meeresspiegel mindestens 25 m unter seiner heutigen Position lag. Während einer Periode noch niedrigeren Meeresspiegels wurde die oben erwähnte Rinne in diese Plattform eingeschnitten, vermutlich durch einen Vorläufer des Raba. Nach Osten wurde diese Plattform durch einen flachen Höhenrücken begrenzt, den ein weites Tal von den Kalksteinmassiven weiter im Osten trennte. Auf dieser Erosionsterrasse wurde, wahrscheinlich zeitweilig begleitet von starken Stürmen, grober Verwitterungsschutt abgelagert. Darüber folgten sandige Tone, bei denen es sich um Ablagerungen einer Lagune handeln dürfte, die nach Westen durch einen Sandwall vom Meer getrennt wurde. Über den Tonen folgen grobe Sande mit einzelnen Geröllen und Riffschutt, möglicherweise wieder als Produkt von Sturmfluten. Darüber folgen weitere Sande sowie die weitverbreitete Lage aus organischen Tonen und Torf. Es dürfte sich dabei um Ablagerungen küstennaher Marschen handeln. Zu diesem Zeitpunkt war der Meeresspiegel noch 18 bis 20 m unter seiner heutigen Position. Die Raba-Quelle dürfte bereits aktiv gewesen sein, allerdings ohne die Meerwasserkomponente, da sie oberhalb des Meeresspiegels lag.

Danach begann der Meeresspiegel allmählich zu steigen, und der äußere Teil der Lagune wurde von fein- bis mittelkörnigen Sanden überdeckt, die bis in den inneren Teil hinter den Kalksteinrücken vorstießen. Bei den hohen Sandrücken entlang der Küste handelt es sich um fossile Dünenfelder, die durch jüngere Vegetation fixiert wurden. Diese Dünen blockierten den Weg des Vorläufers des Raba zur Küste. Hinter ihnen bildete sich nun eine kleinere Lagune, deren Wasserspiegel, wie die Form des Felsüberhangs an der Raba-Quelle (A in Abb. 2) andeutet, etwa 4–4,5 m über der heutigen Position lag. Der starke Zufluß von Süßwasser aus dem Hinterland ließ schließlich eine Verbindung zum Meer in Form einer fast rechtwinkelig zu den Dünen verlaufenden Erosionsrinne entstehen, die sich mit steilen Seitenwänden immer mehr in die Dünen einschneidet, je mehr sich der Meeresspiegel in der Folgezeit zurückzog. Starke küstenparallele Strömungen, die wie die heutigen nach Norden gerichtet waren, verschoben dann die Mündung des Raba durch Bildung einer Sandbarre allmählich nach Norden. Die Brackwassernatur der Quelle wird sich zu dieser Zeit herausgebildet haben.

Die erkennbare Regression des Meeres ist zum Teil auf eine absolute Absenkung des Meeresspiegels zurückzuführen, zum weitaus größeren Teil jedoch auf eine allgemeine Hebung der Küste, wie sich aus den verschiedenen gehobenen Strandterrassen entlang der Küste von Sumatra südlich von Lho'nga ablesen läßt. Diese Regression wird zu einer Abnahme des Druckes im Meerwasser-aquifer im Quellsystem des Raba geführt haben und damit wohl auch zu einer Abnahme des Meerwasseranteils.

Während einer Periode relativer Stabilität bei etwa 1,5 m über dem gegenwärtigen Meeresspiegel bildete sich das ausgedehnte Höhlensystem in den Kalksteininseln südwestlich von Lho'nga, während der Felsüberhang an der Raba-Quelle erweitert wurde (B in Abb. 2). Eine weitere Periode der Ruhe bestand bis in die jüngste Zeit bei einem Wasserstand von etwa 0,5 m über dem heutigen

Stand. Die kleine Einbuchtung am Überhang der Raba-Quelle (C in Abb. 2) dürfte aus dieser Zeit stammen. Der Fluß muß zu dieser Zeit sehr brackisch gewesen sein, wie die intensive Besiedelung durch die austernähnlichen Muscheln beweist. Dieser Zustand dauerte mindestens bis zum ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts. Ein geringerer Süßwassergehalt der Quelle, möglicherweise bei einer längeren Trockenperiode, dürfte zu der brackischen Natur der Quelle beigetragen haben. Außerdem lag die Öffnung der Quelle etwa 0,5 m tiefer unter dem Wasserspiegel, wodurch auch der Druck im Meerwasseraquifer höher war.

Die Vertikalbewegungen der Küste waren im wesentlichen allmählicher Natur, jedoch müssen zeitweilig bei Erdbeben auch plötzliche Niveauänderungen stattgefunden haben. So ereignete sich am 2. April 1964 ein Erdbeben der Stärke VIII der modifizierten Mercalli-Skala etwa 70 km nordöstlich von Band Aceh im Indischen Ozean. Als Folge davon wurde beobachtet, daß in Ulelheue, dem Hafen nördlich von Banda Aceh (Abb. 1), ein unter Wasser liegendes Gebiet „von mehreren Quadratkilometern des inneren Hafens etwa 0,5 m angehoben worden war“ (SOEKARMAN 1964).

Ursprung des Quellwassers

In Anbetracht der großen in der Raba-Quelle umgewälzten Wassermengen wurde versucht, die Herkunft dieses Wassers zu lokalisieren. Eine eingehende Auswertung der topographischen Karten zeigte südöstlich der Quelle ein Gebiet, dessen Entwässerung von einem etwa 25 km² großen Tal ohne oberflächlichen Abfluß beherrscht wird (Abb. 8). Der in diesem Tal fließende Bach, interessanterweise ebenfalls *Krueng Raba* genannt, versickert im nördlichen Teil, über den hinaus er ursprünglich weiter nach Norden und Nordwesten zum Ozean floß. Im März 1977 führte dieser Bach etwa 350 l/sec Wasser. An seiner tiefsten Stelle liegt das Tal etwa 35 m über dem Meeresspiegel, während der ursprüngliche Weg nach Norden durch einen etwa 120 m hohen Kalksteinrücken blockiert wird. Dies obere Raba-Tal ist in Abb. 8 durch den Verlauf der 120-m-Höhenlinie angedeutet. Eine zweite, kleinere Bachversickerung wurde nur wenig nördlich der erwähnten Kalksteinbarriere beobachtet (Abb. 8).

Die gegenwärtige Form des Tales wurde durch den Einbruch von Höhlensystemen im Bereich der augenblicklichen Versickerung angelegt. Normale Erosion, vermutlich unterstützt durch Zusammenbruch weiterer Hohlräume entlang tektonisch vorgezeichneter Zonen parallel zum Streichen der massiven Kalksteine, führte dann zur jetzigen Form des Tales. Solche Einbruchsstrukturen sind in dem vom massiven Kalkstein unterlagerten Gebiet häufig. Das Tal wird auf seiner Ostseite von einem etwa 3 km breiten Gebietsstreifen begleitet, der von einer Vielzahl von Einbruchsstrukturen bedeckt wird und keinen oberflächlichen Abfluß aufweist. Dieses Gebiet, dessen Grenze zum oberen Raba-Tal in Abb. 8 angedeutet ist, erstreckt sich über etwa 15 km². Es läßt sich nicht mit Sicherheit sagen, zu welchem Entwässerungssystem das Wasser dieses Gebiets fließt, ein beträchtlicher Teil dürfte jedoch unterirdisch zum oberen Raba Zutritt haben.

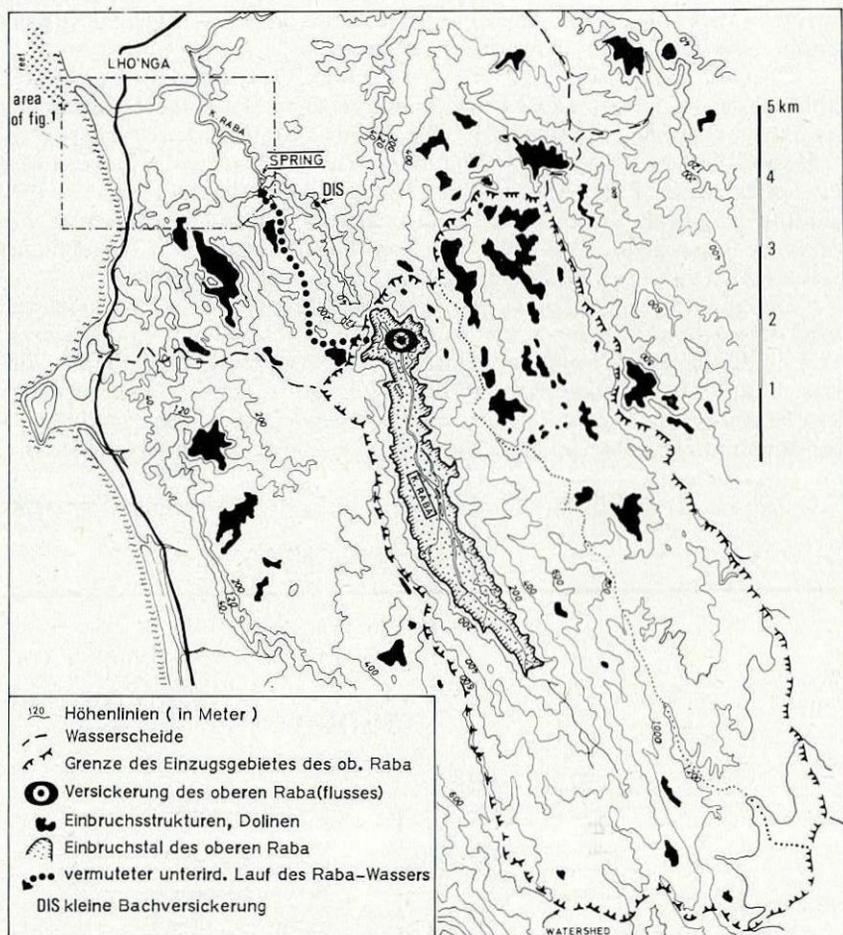


Abb. 8: Übersichtskarte des oberen Raba-Tales und der Umgebung.

Das Alter dieses Tales kann annähernd abgeschätzt werden. Unter der Annahme, daß der unter 120 m liegende Teil des Tales durch Lösung erodiert wurde, ergibt sich bei einer Fläche von 25 km^2 und einer durchschnittlichen Tiefe von 60 m ein Volumen von $1,5 \times 10^9 \text{ m}^3$. Wenn davon ursprünglich bereits etwa 20% von einem Höhlensystem eingenommen wurden, bleibt insgesamt eine Masse von $3,1 \times 10^9 \text{ t}$, die durch Lösung entfernt wurde. Wenn als Transportmedium Lösungen von der Zusammensetzung des Krueg Pineung (Nr. 8 in Tab. 1) angenommen werden, ergibt sich ein erforderliches Wasservolumen von $7,8 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Bei einer Süßwasserschüttung der Raba-Quelle von etwa $1,1 \text{ m}^3/\text{sec}$

entspricht dies einem Zeitraum von etwa 250.000 Jahren, was gleichzeitig das Mindestalter des Quellsystems darstellen dürfte.

Die vermutete Verbindung zwischen der Raba-Quelle und dem genannten Einbruchstal wird durch eine Mengenbilanz gestützt. Das Haupteinzugsgebiet des oberen Raba umfaßt etwa 25 km², während das östlich anschließende abflußlose Gebiet etwa 15 km² mißt. Wenn davon nur die Hälfte zum Raba entwässert, beträgt dessen Einzugsgebiet etwa 33 km². Von Oktober 1976 bis März 1977 empfing das Aceh-Gebiet durchschnittlich etwa 150 mm Niederschlag pro Monat, entsprechend etwa 5 mm pro Tag. Daraus ergibt sich ein täglicher Niederschlag von etwa 165.000 m³ für das Einzugsgebiet des Raba.

Die Quelle wies im Jänner 1977 eine Schüttung von 2 bis 2,5 m³/sec auf. Wird der niedrigere Wert genommen und ein Süßwassergehalt von 55% angesetzt, ergibt sich eine Gesamtschüttung von etwa 95.000 m³ pro Tag für den Süßwasseranteil. Da der obere Raba zu dieser Zeit vor seiner Versickerungsstelle etwa 30.000 m³ pro Tag führte, müssen die übrigen 65.000 m³ aus dem Karst des Kalksteinmassivs selbst geliefert werden. Eine Bilanz der verschiedenen Zu- und Abgänge ist in Abb. 9 dargestellt. Insgesamt ergibt sich ein Überschuß von 70.000 m³ auf der Zufuhrseite. Ein Teil davon dürfte durch kleinere nicht erfaßte

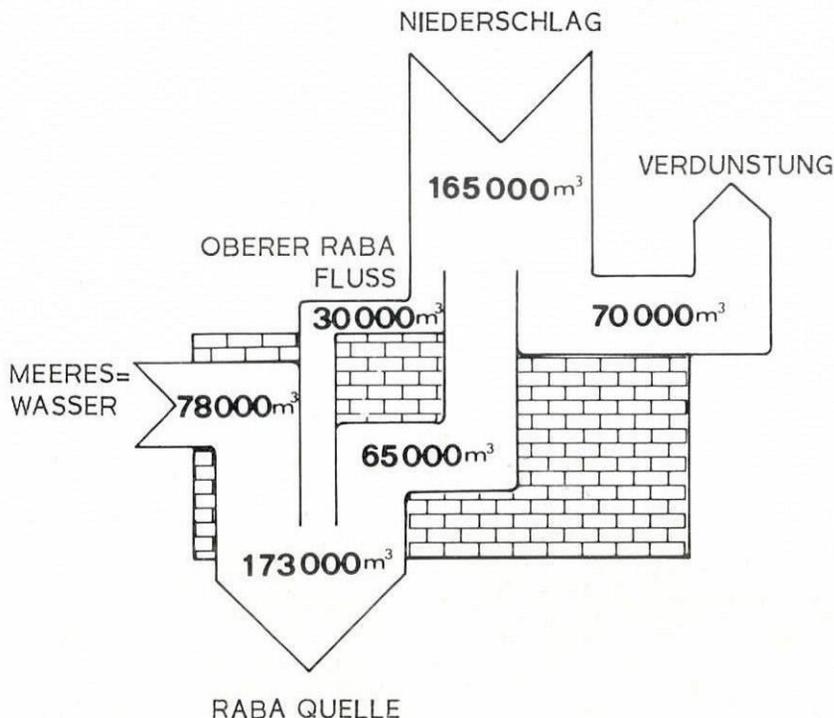


Abb. 9: Bilanzdiagramm des Raba-Entwässerungssystems.

Quellen entweichen, der größte Teil dürfte jedoch in die Atmosphäre zurückkehren. GARRELS & MACKENZIE (1974) geben eine mittlere Verdunstungsrate von 63% für die kontinentalen Niederschläge an. Der geringere Wert von 40% für das Raba-System dürfte auf die dichte Urwaldbedeckung zurückzuführen sein und auf die große Porosität und Permeabilität des Kalksteinmassivs.

Obige Bilanz unterstützt die Wahrscheinlichkeit des vorgeschlagenen Quellmodells, d. h., daß die Raba-Quelle vom oberen Raba-Tal durch ein ausge dehntes unterirdisches Entwässerungssystem gespeist wird. Die vermutete Hauptfließrichtung ist in Abb. 8 dargestellt. Beweise für diese Hypothese ließen sich sicherlich durch Färbetests erbringen, wofür jedoch während der Besuche sowohl Zeit als auch technische Voraussetzungen fehlten.

Danksagungen

Die Erlaubnis der Firma P. T. Rencong Aceh Semen (Jakarta) zur Veröffentlichung dieser Ergebnisse ist dankbar vermerkt sowie auch die Unterstützung der Herren J. Patti peilohi und R. Soeroso im Gelände. Prof. A. Soeria (Bandung) stellte freundlicherweise zusätzliche chemische Daten zur Verfügung.

Erwähnte Literatur:

- Boen, T., Wangsadinata, W. (1971): A brief outline of seismicity and earthquake engineering problems in Indonesia. — Meteor. & geophys. Inst., Jakarta, 27 pp., 7 fig.
- Clarke, F. W. (1921): The data of geochemistry. — US Geol. Surv., Bull., 491, 782 pp.
- Garrels, R. M., Mackenzie, F. T. (1971): Evolution of sedimentary rocks: a geochemical approach. — Norton, New York, 397 pp.
- Hobday, D. K., Jackson, M. P. A. (1979): Transgressive shore zone sedimentation and syndepositional deformation in the Pleistocene of Zululand. — J. Sed. Petrol., 49, 145–158.
- Marvis, P. T. Rencong Mas, Proyek Semen Band Aceh (1977): Study of port facilities. — Unpubl. report, Amersfoort (Netherlands).
- Soekarman, R. S. (1964): Preliminary notes on the Aceh earthquake of April 2, 1964. — Geophysical Notes (Bandung/Indonesia), 3.
- Wagner, G. (1950): Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. — Rau Verlag, Öhringen, 664 pp.
- Zötl, J. G. (1974): Karsthydrogeologie. — Springer Verlag, Berlin, 315 pp.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [032](#)

Autor(en)/Author(s): Reimer Thomas

Artikel/Article: [Auswirkungen rezenter Vertikalbewegungen auf die Entstehung einer Brackwasserquelle im nordwestlichen Sumatra \(Provinz Aceh, Indonesien\) 130-145](#)