

Beiblatt zur Vierteljahrsschrift

der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich.

1934

No. 22

Jahrg. 79.

Das biologische Krakatauproblem.¹⁾

Von

ALFRED ERNST.

(Mit 2 Kartenskizzen und 24 Landschafts- und Vegetationsbildern.)

(Als Manuskript eingegangen am 20. August 1934.)

(Als Sonderabdruck ausgegeben am 31. Dezember 1934.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
I. Einleitung	3
II. Krakatau vor und nach der grossen Eruption von 1883	7
1. Geologische Geschichte der Krakatau-Inselgruppe	7
2. Angaben über Flora und Fauna vor 1883	10
3. Der Verlauf des grossen Ausbruches von 1883	12
4. Die Vernichtung von Flora und Fauna auf Krakatau	13
III. Exkursionen und Expeditionen zur Erforschung der neuen Flora und Fauna von 1886—1929	16
1. Studien über die neue Flora und Vegetation von 1886—1906	16
2. Die botanisch-zoologische Durchforschung von Krakatau im Mai 1908	19
3. Stand von Flora und Fauna im Jahre 1919	21
4. Periodische Durchforschung und Publikationen über Flora und Fauna von Krakatau von 1921—1929	23
IV. Bericht über den Besuch der Krakatau-Inselgruppe vom 27. Februar bis 3. März 1931	26
1. An der Nordostküste von Verlaten Eiland	28
2. An der Südostküste von Krakatau	36
3. Zwarte Hoek und Nordwand	42
4. Auf Lang Eiland	50
V. Die Ergebnisse der floristischen Durchforschung der Krakatau-Inseln von 1886—1931	53
1. Die Lebensbedingungen auf Krakatau	53
2. Neue Florenelemente nach den Befunden von 1886—1908	58
3. Die Bestandesaufnahme von 1919	64
4. Resultate der nach 1919 bis 1929 veranstalteten Exkursionen und Aufenthalte	66
VI. Die Ergebnisse der faunistischen Durchforschung der Krakatau-Inseln von 1908—1929	71
1. Die erste Bestandesaufnahme von 1908	72
2. Fortschritte der Faunistik bis 1921	72
3. Die Zusammensetzung der Fauna im Jahre 1929	78

¹⁾ Ergebnisse der mit Subventionen der JULIUS KLAUS-Stiftung für Vererbungsforschung, Sozialanthropologie und Rassenhygiene und der Stiftung für wissenschaftliche Forschung an der Universität Zürich von Prof. Dr. ALFRED ERNST und Dr. MARTHE ERNST-SCHWARZENBACH ausgeführten Indo-Malayischen Forschungsreise (28. Juli 1930 bis 16. April 1931) Nr. 4.

VII. Die Herkunft der neuen Floren- und Faunenelemente	81
1. Die Bedeutung des Wasser- und Windtransportes von Pflanzen für die Besiedelungsfrage	85
a) Der Transport von Pflanzen und Pflanzenkeimen durch die Meeresströmungen	85
b) Beförderung von Früchten und Samen, Sporen und Mikrophyten durch die Winde	88
2. Die Bedeutung des Wasser- und Windtransportes für die Entstehung der neuen Fauna	92
3. Frucht- und Samentransport durch Vögel und Fledermäuse in ihrer Bedeutung für Erstbesiedelung und Ausbreitung der neuen Florenelemente	102
4. Die Beeinflussung des Besiedelungsverlaufes der Krakatau-Inseln durch den Menschen	108
a) Unbewusste Einschleppung von Pflanzen und Tieren	109
b) Verbreitung von Pflanzen und Tieren aus menschlichen Siedlungen	111
c) Herkunft und Verbreitung von <i>Cocos nucifera</i> und <i>Carica Papaya</i> auf den Krakatau-Inseln	113
VIII. Haben Relikte der alten Flora und Fauna die Eruptionen von 1883 überdauert und Anteil an der Wiederbesiedelung der Krakatau-Inseln?	119
1. C. A. BACKER's Hypothese von der Überdauerung einzelner Bestandteile der alten Flora Krakataus	121
2. Die Hypothese R. F. SCHARFF's von der Überdauerung von Elementen der früheren Tierwelt Krakataus	127
3. Der Besiedelungsverlauf nach teilweiser oder vollständiger Vernichtung der Vegetation in andern vulkanischen Gebieten	134
a) Verlauf einiger Neubesiedelungen im Gebiete des malayischen Archipels	135
b) Die Wiederbesiedelung von <i>Volcano Island</i> im Bombonsee auf Luzon nach dem Ausbruch des Taal-Vulkans im Jahre 1911	141
c) Der Besiedelungsverlauf der verwüsteten Gebiete am Vulkan <i>Komagatake</i> auf Hokkaido nach dem Ausbruch von 1929	146
d) Die Besiedelung der Laven im Vulkangebiet des <i>Jorullo</i> (Mexiko), am Vulkan <i>Rumoka</i> (Kongo) und im Krater des <i>Kilauea</i> auf Hawaii	149
4. Reliktenfrage und Wiederbesiedelung von Krakatau im Lichte der Erfahrungen über den Verlauf der Besiedelungsvorgänge in andern Vulkangebieten	152
IX. Die Pflanzen- und Tiergesellschaften der neuen Flora und Fauna von Krakatau	157
1. Die Entstehung der Pflanzengesellschaften	158
2. Sukzessionen in den Pflanzengesellschaften	164
3. Saprophytismus und Parasitismus	168
4. Tiergesellschaften und Sukzessionen im Verlaufe der Entstehung der neuen Fauna	170
5. Entstehung und Vorkommen von Endemismen?	175
X. Rückblick und Ausblick	177
XI. Literaturverzeichnis	182

I. Einleitung.

Das Studium der erstmaligen Besiedelung eines Gebietes mit Pflanzen und Tieren, Feststellungen über Entstehung einer Flora und Fauna, von Assoziationen und Formationen und ihrer sukzessiven Veränderungen auf Neuland haben Anteil an der Schaffung der wichtigsten Grundlagen für die Beantwortung der komplexen Frage nach dem Ursprung und der Bildungsweise der Floren und Faunen überhaupt.

Gelegenheiten zu solchen Studien sind nicht allzuhäufig. Eigentliches Neuland sind nur aus Meeren oder Binnengewässern auftauchende Inseln. Sekundär entstehen organismenlose Gebiete durch Ueberschüttungen im Gefolge von Bergstürzen und Ueberschwemmungen, durch vulkanische Tätigkeit. Seit den grundlegenden Untersuchungen CH. DARWIN'S, während der Weltreise des «Beagle», über Entstehung und Besiedelung der Coralleninseln mit Pflanzen und Tieren, sind diese und andere weit abgelegene Inseln ein beliebtes Forschungsobjekt der Biogeographen geworden. A. R. WALLACE (1880) hat in seinem Werke «Island Life, or the phenomena and causes of Insular Faunas and Floras» ein gewaltiges Material zusammengetragen, welches die Fragen nach den Verbreitungs- und Besiedelungsmöglichkeiten von Neuland durch Pflanzen und Tiere weitgehend klärt. In derselben Richtung, insbesondere alles sammelnd, was die Inselfloren und ihren Ursprung anbetrifft, gehen die 1885 im ersten Band Botany der «Challenger Reports» erschienenen Abhandlungen von W. B. HEMSLEY: «Report on the present state of knowledge of various Insular Floras».

Ohne die Annahme einer Fernverbreitung von Früchten und Samen war die Zusammensetzung der von A. R. WALLACE, W. B. HEMSLEY und andern Forschern (vergl. u. a. A. ENGLER, 1882 und O. BECCARI 1878) studierten Inselfloren kaum zu erklären. Noch fehlten aber die Beweise, dass der vermutete Ferntransport in Wirklichkeit erfolgt und dass er allein auch völlig zur Neubesiedelung eines abgelegenen, vegetationslosen Gebietes ausreicht. Was über die Herkunft der Inselfloren aus direkten Beobachtungen erschlossen worden war, hatte ausschliesslich Bezug auf den Besiedelungsverlauf von Coralleninseln. «Courants océaniques et oiseaux voilà ainsi les deux agents auxquels sont redevables de leurs flores les îles de corail récemment émergées. Le vent ou des causes fortuites peuvent amener plus tard des spores ou des graines d'autres plantes, mais celles-ci trouveront alors le terrain préparé par leurs devancières apportées par la mer ou par

les oiseaux», so resümiert M. TREUB (1888, S. 216) den Stand der Besiedelungsfrage und fast 20 Jahre später wies O. BECCARI (1917, S. 39) nochmals ergänzend darauf hin, dass ausser im Gefolge der regelmässigen Strömungen in Wasser und Luft auch durch ungewöhnliche und nur selten auftretende Ereignisse eine Versorgung solcher Inseln mit Früchten und Samen möglich sei. "The transportation of seeds of plants to these coral islands may have been effected otherwise than by the usual ocean currents, by means of extraordinarily violent storms, by exceptionally high tides, and by the great waves that are occasionally produced by telluric movements, and which are of no rare occurrence in that part of the Pacific, wherein a good number of the islands appear to rest on volcanic bases."

Durch den gewaltigen Ausbruch des Krakatau vom 26.—28. August 1883, den grössten vulkanischen Ausbruch in historischen Zeiten, wurden im Zentrum des betroffenen Gebietes Krakatau und zwei benachbarte Inseln ihrer ganzen Lebewelt beraubt. Die Inseln boten somit Gelegenheit zum direkten Studium der bis anhin nur indirekt gelösten Frage: «Wie entstehen Flora und Fauna einer hohen vulkanischen Insel, die plötzlich aus dem Meere auftaucht?» durch die Feststellung des Besiedelungsverlaufes eines Inselvulkans, der durch eine Eruption seine ganze Pflanzen- und Tierwelt eingebüsst hat. Im besondern waren wichtige Aufschlüsse für die Beantwortung der folgenden Fragen zu erwarten:

In welcher Reihenfolge treten während der Besiedelung des völlig vegetationslos gewordenen Bodens die neuen Florenelemente auf, durch welche äusseren Faktoren erfolgte der Transport der zur Entwicklung gekommenen Keime, wann und wo gehen aus dem neuen Pflanzenbestand eigentliche Pflanzengesellschaften hervor, in welcher Weise schliesst sich an die Neubesiedelung mit Pflanzen diejenige durch Tiere an usw.

Es ist eines der vielen und grossen Verdienste einer der früheren Leiter der botanischen Institute zu Buitenzorg auf Java, des unvergesslichen Forschers und grosszügigen Förderes botanischer Studien in den Tropen, MELCHIOR TREUB, selbst das Studium der neuen Krakatauflorea begonnen und die weitere Erforschung der neuen Lebewelt in die Wege geleitet zu haben. M. TREUB's kurze Mitteilung an der Sitzung der holländischen Akademie der Wissenschaften in Amsterdam vom 28. Januar 1888, welche noch im gleichen Jahre als «Notice sur la nouvelle flore de Krakatau» in den «Annales du Jardin botanique de Buitenzorg» (Band VII, 1888) er-

schienen ist, wurde zum Ausgangspunkt im Lösungsversuch des biologischen Krakatauproblems. Dieser ersten Veröffentlichung über TREUB's eigene Untersuchungen im Jahre 1886 haben sich 1902 diejenige von O. PENIZG über eine Krakatauexkursion im Jahre 1897 und 1907 meine Mitteilung über die Ergebnisse einer Exkursion auf die Krakatauinseln im Frühjahr 1906 angeschlossen. Im Jahre 1908 wurde die botanische Forschung auf Krakatau durch C. A. BACKER (1909) bei Gelegenheit länger andauernder topographischer Vermessungen auf der Inselgruppe fortgesetzt und zum ersten Male durch einen Zoologen, E. R. JACOBSON (1909), der Tierbestand aufgenommen. Seit 1919 ist die botanische Durchforschung der Inselgruppe in ungefähr zweijährigen Intervallen unter Leitung von W. M. DOCTERS VAN LEEUWEN, die zoologische Durchforschung unter Leitung von K. W. DAMMERMAN durchgeführt worden. Die Resultate ihrer Untersuchungen sind in einer grösseren Zahl von Publikationen niedergelegt.

So liegt über das biologische Krakatauprobem bereits eine stattliche Literatur vor, die wohl nirgends unerwähnt geblieben ist, wo Besiedelungsfragen und verwandte Gebiete der genetischen Pflanzen- und Tiergeographie erörtert worden sind.

Durch M. TREUB's Krakatauarbeit sind ferner zahlreiche weitere Studien über Neubesiedelungen in anderen vulkanischen Gebieten direkt und indirekt angeregt worden. Nur auf einige wenige der darüber erschienenen Arbeiten sei schon an dieser Stelle in Kürze verwiesen, von andern wird in den nachfolgenden Ausführungen ausführlich die Rede sein:

In Europa setzte das Studium der Besiedelung der Lavaströme im süditalienischen Vulkangebiet mit den Untersuchungen von O. COMES (1888/89) über «Le lave, il terreno vesuviano e la loro vegetazione» ein. Auf den Philippinen schuf der grosse Ausbruch des Taal-Vulkans auf Taal- oder Volcano-Island im Bombon-See auf Luzon zunächst F. C. GATES (1914) und hernach W. H. BROWN, E. D. MERRILL and H. S. YATES (1917) Gelegenheit zum Studium der Neubesiedelung von Aschenfeldern und Lavaströmen. Für die javanischen Vulkane lagen schon in den älteren Werken von F. JUNGHUHN und anderen längst wertvolle Angaben über die Vegetation verschiedenster vulkanischer Gebiete vor. Ueber die Vegetation der Laven am Gunong Guntur haben, von M. TREUB's Arbeit beeinflusst, W. SCHIMPER (1891) und A. ERNST (1909) berichtet. Seither sind auf Java i. b. von S. H. KOORDERS (1895) und W. M. DOCTERS VAN LEEUWEN (1930) sowie von andern Buitenzorger Bo-

tanikern Untersuchungen über die Pflanzenwelt der Vulkangipfel und über den Besiedelungsverlauf von Brandstellen, neuen Aschenfeldern und neuen Lavaströmen, am Soembing, Sindoro, Merapi etc. durchgeführt oder begonnen worden.

Aus A l a s k a liegen R. F. GRIGGS (1917) spannende Berichte vor über Neubesiedelungen im Gebiete des Mount Katmai (Eruption im Jahr 1912), von T. ANDERSON und J. S. FLETT (1903 und 1908) über die verwüsteten Gebiete um den Vulkan Soufrière auf St. Vincent und des Mont Pelée auf Martinique. In Mexiko sind die verwüsteten Gebiete um den Vulkan Jorullo und ihre Wiederbesiedelung mit Pflanzen und Tieren eingehend von H. GADOW (1930) studiert worden. Im Herzen A f r i k a s hat der Vulkan Rumoka im Jahre 1912 ein Gebiet von 17—18 km² mit Laven überdeckt, über dessen Neubesiedelung mit Pflanzen W. ROBYNS (1932) die erste Mitteilung veröffentlicht hat. Diese und zahlreiche weitere vor oder nach dem Ausbruch des Krakatau entstandenen Gelegenheiten zu Studien über Wiederbesiedelungen in den vulkanischen Gebieten von Alaska, Japan, Neu-Seeland, auf Hawai u. a. O. haben ebenfalls interessante Aufschlüsse ergeben. Für die Beantwortung der Grundfragen des Besiedelungsproblems haben sie sich aber ausnahmslos als weniger geeignet erwiesen als Krakatau, schon deshalb, weil in mehreren dieser Gebiete die Zerstörung der früheren Lebewelt nachgewiesenermassen unvollständig geblieben war, die neu zu besiedelnden Gebiete unmittelbar an intakt gebliebene angrenzten oder solche, wie z. B. im Rumokagebiet (vergl. W. ROBYNS, 1932, S. 13) sogar einschlossen. Der grössere Abstand Krakatau's von besiedelt gebliebenen Gebieten, von Java und Sumatra je zirka 40 km, von der nächsten, ebenfalls grösstenteils verwüsteten Insel Sebesy zirka 20 km, hat für die Wiederbesiedelung von Krakatau einzig gebliebene Bedingungen geschaffen.

In enthusiastischer Weise sind in der pflanzengeographischen Literatur die ersten Mitteilungen über die Neubesiedelung von Krakatau begrüsst und gefeiert worden. W. THISELTON-DYER (1909) hielt die Richtigkeit der Vorstellungen, welche sich CH. DARWIN auf Grund seiner Untersuchungen über Inselfloren vom Besiedelungsverlauf einer solchen vegetationslos gewordenen Insel gemacht hatte, durch die Krakatau-Forschung für weitgehend bewiesen. "In the proceeding pages I have", schrieb er (1909, S. 317) in einem Postscriptum zu seinem Essai, "Geographical distribution of plants" in dem von A. C. SEWARD herausgegebenen Festbande "Darwin and

modern science", "traced the laborious research by which the methods of Plant Dispersal were established by Darwin. In the island of Krakatau nature has supplied a crucial experiment which, if it had occurred earlier, would have at once secured conviction of their efficiency". Auch hinsichtlich der Aufschlüsse über den Besiedelungsverlauf wird die Bedeutung der Krakatauforschung voll auf anerkannt. "When I visited, during the voyage of H. M. S. 'Beagle' the Galopagos Archipelago, I fancied myself brought near to the very act of creation", hatte CH. DARWIN begeistert geschrieben. Krakatau, führt W. THISELTON-DYER nun weiter aus, "shows us an earlier stage and how by simple agencies, continually at work, that stock might be supplied. It also shows us how the mixed and casual elements of a new colony enter into competition for the ground and become mutually adjusted". Diese Wertschätzung ihrer Resultate ist der Krakatauforschung — die wenigen Ausnahmen, von denen im Nachfolgenden zu sprechen sein wird, bestätigen nur die Regel — auch späterhin in der genetischen Pflanzengeographie geblieben und ihr in der genetischen Zoogeographie ebenfalls zuteil geworden.

Ueber die neue Flora und Vegetation von Krakatau habe ich erstmals in den Jahren 1907—1909 berichtet. Es ist mir vergönnt gewesen, Krakatau im Jahre 1931 — ein Vierteljahrhundert nach dem ersten Besuch im Jahr 1906 — zum zweiten Male besuchen zu können. Zwischen den beiden Krakatauexkursionen liegt für mich ein Vierteljahrhundert wissenschaftlicher Tätigkeit auf verschiedenen Teilgebieten der Botanik. Mit voller Unbefangenheit — völlig unbelastet mit floristischen und pflanzengeographischen Detailkenntnissen werden einzelne Leser vielleicht urteilen — aber mit einer aus zeitlicher Distanz und anderweitig gesammelten wissenschaftlichen Erfahrungen erwachsenen Objektivität komme ich nochmals auf das Besiedelungsproblem zurück, um in den nachfolgenden Seiten eine Zusammenfassung der Resultate aller bisherigen Untersuchungen zum biologischen Krakatauprobem zu versuchen.

II. Krakatau vor und nach der grossen Eruption von 1883.

1. Geologische Geschichte der Krakatau-Inselgruppe.

Die durch den gewaltigen Ausbruch des Jahres 1883, an den im August vergangenen Jahres wieder alle Tageszeitungen erinnert haben und in den letzten Jahren durch die Entstehung eines neuen

submarinen Vulkans weltbekannt gewordene Vulkaninsel Krakatau liegt inmitten der Sundastrasse zwischen Java und Sumatra. Sie gehört der langen Kette von Vulkanen an, welche Sumatra der Länge nach durchzieht und in Westjava ihre Fortsetzung findet, zugleich aber auch einer zweiten kürzeren, dazu ungefähr senkrecht stehenden Vulkanreihe, die im Nordosten Südsumatras beginnt und südwestlich von Java in Prinsen-Eiland endigt.

Die Krakatau-Inselgruppe besteht aus drei grösseren Inseln, Krakatau oder Rakata, Lang Eiland (malayisch Poeloe Rakata ketjil) und Verlaten Eiland oder Poeloe Sertoeng, zu denen sodann noch eine steile Felsengruppe hinzukommt, welche als Bootsmansrots bekannt ist. Krakatau erreicht mit seinem halbierten Kegel die Höhe von 813 m, Verlaten Eiland von 182 m und Lang Eiland von 172 m. Alle drei Inseln kehren ihre höchsten Partien der zentral zwischen ihnen gelegenen, kreisförmigen Meeresfläche zu, die ungefähr 7 km Durchmesser hat (vergl. Abb. 1, S. 9).

Geologie und Geschichte von Krakatau sind erstmals in dem grundlegenden Werk von R. D. M. VERBEEK (1885) behandelt worden. Seine Untersuchungen sowie zahlreiche neuere geologische Studien haben, wie CH. E. STEHN (1929) in seiner trefflichen Uebersicht über Geologie und Vulkanismus der Krakatau-Inselgruppe ausgeführt, die Annahme von nicht weniger als sechs verschiedenen, teils aufbauenden, teils zerstörenden Perioden in der Geschichte Krakataus notwendig gemacht. Sie umfassen:

1. Die Entstehung eines hypothetischen Einzelvulkans von ungefähr 2000 m Höhe, dessen letzte Lavaströme und Auswurfsmaterialien aus Hypersthen-Andesith mit Tridymith bestanden. Als Reste dieses durch Zusammenbruch verschwundenen grossen Vulkanes blieben basale Teile der jetzigen Inseln Krakatau, Verlaten-Eiland und Lang-Eiland, sowie die kleine Insel «Poolsche Hoed», westlich von Lang Eiland, zurück, die zusammen ein zentrales Seebassin unbekannter Tiefe umschlossen.

2. Die Entstehung eines neuen Eruptionskegels auf dem der gegenwärtigen Krakatauinsel angehörenden Stück des ältesten Vulkans. In seiner Tätigkeit alternieren Lavaströme mit Auswurf von Bomben, Lapilli und Aschen, die zusammen schliesslich ein neues Gebirge von mehr als 800 m Höhe auftürmen.

3. In dem Seebecken zwischen den drei Inseln beginnt an verschiedenen Punkten submarine vulkanische Tätigkeit. Zwei neue Vulkane tauchen schliesslich auf, Perboewatan im Norden, Danan mehr im Zentrum. Unbekannt blieb die Reihenfolge ihres Erscheinens, die Tiefe, aus der sie kamen und weiter blieb unsicher, ob ausser diesen beiden neuen Vulkanen ursprünglich noch ein dritter vorhanden war. Bald nach ihrem Auftauchen verschmolzen Perboewatan und Danan zu einer Insel und der jedenfalls aktivere Danan, er war 1883 450 m hoch, gegen 120 m Höhe des Perboewatan, schloss seinerseits an Rakata an. So entstand eine Insel, deren grösste Länge 9 und deren grösste Breite

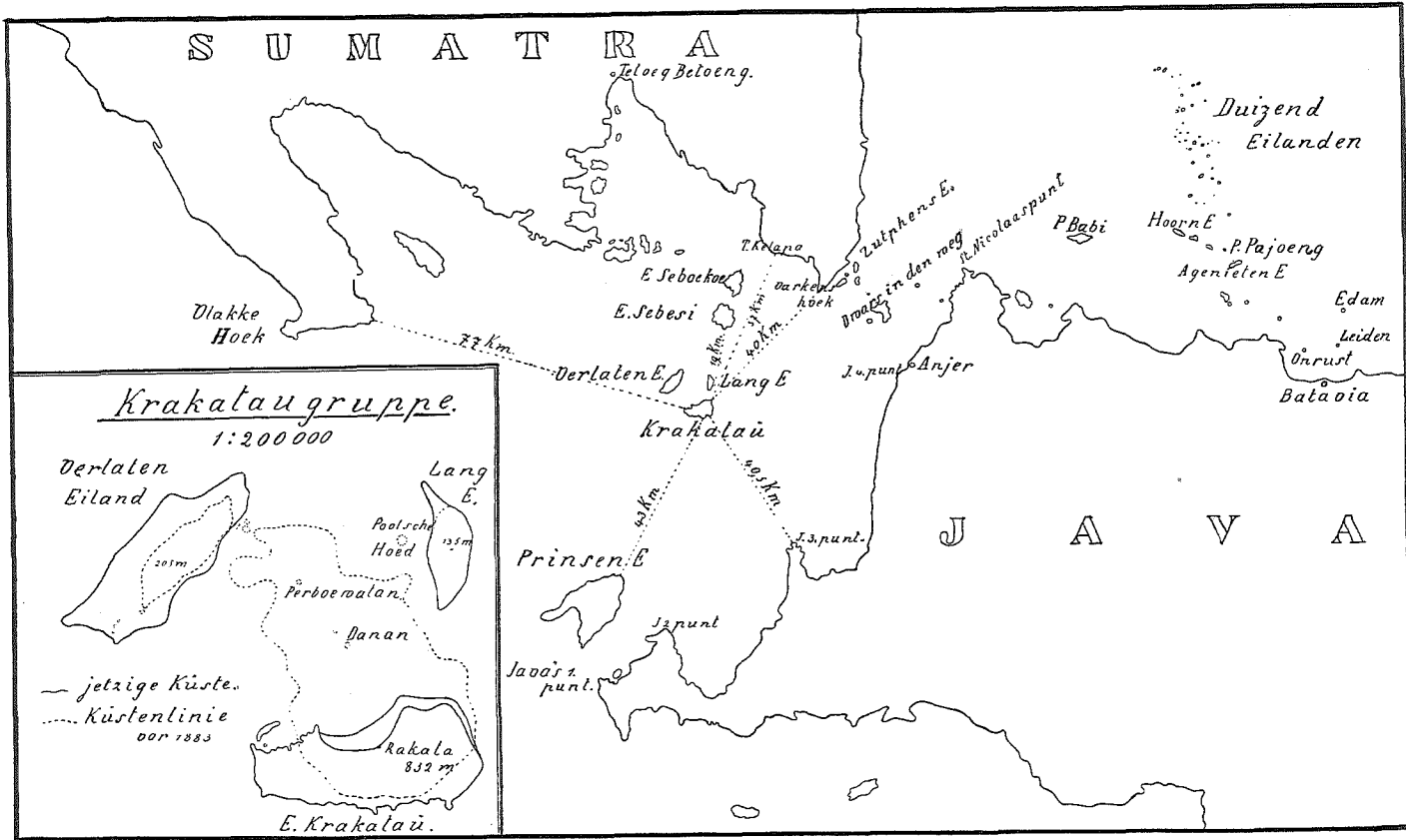


Abb. 1. Kartenskizzen der Sundastrasse (Maßstab 1:1 750 000) und der Krakatauinseln (nach VERBEEK) Maßstab 1:200 000.

ungefähr 5 km betrug. Die eruptive Tätigkeit der drei Vulkane dieser Insel erlosch nach einem letzten Ausbruch in historischer Zeit, im Mai 1680, der vermutlich vom Perboewatan aus den nordwestlichen Teil der Insel mit ausgeworfenem Bimsstein überdeckte und einige Lavaströme hinterliess. Andere Ausbrüche vulkanischer Tätigkeit in dieser Inselgruppe sind in historischer Zeit (vergl. N. P. VAN DEN BERG, 1884) offenbar nicht mehr erfolgt.

4. Der Beginn der rezenten Eruptionstätigkeit auf Krakatau fällt auf den 20. Mai 1883. Nur von kurzen Pausen unterbrochen, erreicht sie am 26.—28. August 1883 ihr Maximum. Die drei Inseln Rakata, Verlaten Eiland und Lang Eiland erfahren durch die Ueberschüttung mit Auswurfmaterial eines andesithischen Magmas, Obsidian, Bimsstein, Asche und Felsstücken eine beträchtliche Erhöhung. Die Tätigkeit endigt mit der vollständigen Zerstörung der Vulkane Perboewatan und Danan, dem Absinken des halben Kegels des Pik von Rakata, der Bildung eines 279 m tiefen Bassins zwischen den drei Inseln und dem Verschwinden der kleinen Insel Poolsche Hoed.

5. Unmittelbar nach der Entstehung ihrer neuen, lockern Oberflächenschichten setzen auf allen drei Inseln Erosion durch Regenwasser und Abrasion durch Wellen und Strömungen ein. Tiefe Furchen und Schluchten werden im Verlaufe weniger Monate in die neuen Schichten gegraben und grosse Materialmengen an die Küsten hinuntergespült. An der Westküste von Krakatau und an West- und Südküste von Verlaten Eiland findet durch die Abrasion i. b. in den ersten Jahren nach der Eruption, in vermindertem Ausmasse aber bis in die Neuzeit fortwährend Landverlust statt. Das abgeschwemmte Material wird durch die Strömungen hauptsächlich nordwärts verschoben und wenigstens teilweise im Norden Verlaten Eilands abgelagert. Dieses ist infolgedessen um eine an Ausdehnung immer noch zunehmende nördliche Landzunge vergrössert worden, welche zunächst eine Lagune, später einen und seit 1928 einen zweiten Salz- oder Brackwassersee einschliesst (vergl. Abb. 3, S. 29).

6. Erneute submarine Tätigkeit setzt im Juni 1927 ein und führt zur Entstehung eines submarinen Kegels aus aufgeschütteten basaltischen Bomben, Aschen und altem Material. Am 26. Januar 1928 taucht er erstmals über die Wasserfläche empor. Durch Wellen und Strömungen wird er wieder zerstört, ist aber seither zu wiederholten Malen wieder aufgetaucht und verschwunden.

Im nachfolgenden wird in der Hauptsache nur von der **v i e r t e n** und **f ü n f t e n** Periode der geologischen Geschichte von Krakatau, also den durch den Ausbruch von 1883 primär und sekundär geschaffenen Verhältnissen, eingehend die Rede sein.

2. Angaben über Flora und Fauna vor 1883.

Aelteren Mitteilungen von Seefahrern, die bis 1680 zurückgehen (vergl. N. P. VAN DEN BERG, 1884), ist zu entnehmen, dass Krakatau und alle andern Inseln inmitten der Sundastrasse, zum mindesten während der beiden Jahrhunderte vor dem grossen Ausbruch, stark bewaldet waren und bis in das 19. Jahrhundert hinein auch spärlich bewohnt worden sind.

Ueber die Zusammensetzung von Pflanzen- und Tierwelt Krakataus allerdings ist begreiflicherweise fast nichts bekannt gewor-

den. Der unermüdlische F. JUNGHUHN, dem wir so umfassende Beiträge zur Naturgeschichte des malayischen Archipels verdanken, erwähnt (1854, S. 3) nur, dass die ganze Insel vom Strand bis auf die Spitze des Rakata von Wäldern bedeckt sei. R. D. M. VERBEEK, der die Insel im Juli des Jahres 1880, also nur drei Jahre vor dem grossen Ausbruch, besuchte, bestätigte die Richtigkeit jener Aussage F. JUNGHUHN's für den südlichen Teil der Insel, welchen er von einer so dichten Vegetation überdeckt fand, dass es schwer gehalten hätte, weit in das Innere vorzudringen. Dagegen stellte er im nördlichen, seither verschwundenen Teil der ausdrücklich als unbewohnt bezeichneten Insel einige bis zur Küste reichende Lavaströme mit wenig verwitterter Oberfläche und nur spärlichem Pflanzenkleid fest. Diese Laven im Gebiete des Perboewatan entstammten, wie er annahm, wahrscheinlich dem einzigen durch schriftliche Ueberlieferung bekannt gewordenen frühern Ausbruch im Jahre 1680.

Von den grossen Botanikern und Sammlern, die vor und nach der Mitte des 19. Jahrhunderts in Buitenzorg tätig waren, hat zum mindesten J. E. TEYSMANN Krakatau besucht. Fünf von ihm auf Krakatau gesammelte Pflanzen sind (vergl. C. A. BACKER, 1929, S. 16) in F. A. W. MIQUEL's Flora Indiae Batavae, Sumatra (1862) erwähnt, nämlich zwei parasitische Loranthaceen, auf die an anderer Stelle noch zurückzukommen sein wird, zwei strandbewohnende Leguminosen und mit *Dysoxylum arborescens* Miq. ein baumförmiger Vertreter der Meliaceae. Ueber die Zusammensetzung des frühern Urwaldes und ganz besonders über die Vegetation des Inselinnern und des Rakatakegels, von dem 1883 die südliche Seite erhalten blieb, ist also leider so gut wie nichts bekannt. Man wird aber annehmen dürfen, dass sie von derjenigen der nächsten Gebiete der beiden grossen Inseln Java und Sumatra nicht oder nur wenig verschieden gewesen sein wird.

Auch über die Tierwelt Krakataus liegen aus der Zeit vor der grossen Eruption nur spärliche Angaben vor. Sicher steht, dass die Insel vor 1883 ebenfalls von einigen Zoologen zu Sammelzwecken besucht worden ist. Von der Ausbeute dieser Einsammlungen ist aber (vergl. K. W. DAMMERMAN, 1928, S. 86) nur das eine, allerdings wichtige Resultat bekannt, dass VON MARTENS im Jahre 1867 auf Krakatau vier Molluskenarten, darunter zwei stattliche Formen aus dem Formenkreise der *Hemiplecta*, gesammelt hat.

3. Der Verlauf des grossen Ausbruches von 1883.

Die vulkanische Tätigkeit auf Krakatau galt seit langem als völlig erloschen. Am 20. Mai 1883 aber öffnete sich plötzlich unter heftigen, weit über Java und Sumatra hin hörbaren Detonationen zunächst ein neuer Krater am Perboewatan, dessen Auswurfsmaterial, Bimsstein und Asche, schon nach wenigen Tagen einen grossen Teil der Insel, ebenso Teile von Verlaten Eiland mit einer bis 1 m hohen Schicht überdeckte. Auf der Nordseite des hohen Hauptgipfels und auf dem ganzen nördlichen Teil von Krakatau ragten hie und da noch einige Baumstämme, armselige Reste des früheren üppigen Waldes, aus der grauen Decke hervor, während auf der Südseite des Kegels, auf Lang Eiland und Poolsche Hoed die Vegetation noch wenig gelitten hatte.

Im Juni tat sich ein zweiter, Asche und Bimsstein auswerfender Krater am Fusse des Danan auf. Anfang August bildete sich ein dritter Krater und zahlreiche dampf- und rauchausstossende Spalten entstanden an dem Südabhang des Danan, welcher später vollständig einstürzte und den Hauptkrater für die letzten Eruptionen bildete. Die Heftigkeit der Ausbrüche steigerte sich am 26. und 27. August zu der furchtbaren Katastrophe, deren Auswirkungen sich zum Teil über die gesamte Erdoberfläche erstreckten.

Die Detonationen wurden über das Gebiet des ganzen malayischen Archipels hinaus auch in Ceylon, Birma, Manila, Neu-Guinea und an der Westküste Australiens gehört. In Batavia und Buitenzorg auf Java, 150 km vom Explosionsort entfernt, wirkten sie wie heftige, aus nächster Nähe abgefeuerte Artilleriesalven. Der erzeugte Luftdruck machte die Fensterscheiben klirren und erschütterte die Häuser so stark, dass Gegenstände von Tischen und Gestellen heruntergeworfen wurden.

Während seiner letzten Ausbrüche überschüttete der Vulkan die ganze Umgebung bis in eine Entfernung von 35 km mit glühenden Steinen und heisser Asche. Was nahe lag, wie die Dörfer auf der von zweitausend Menschen bewohnten Insel Sebesy, erlitt das Los von Herculanium und Pompeji. Ein dichter Aschenregen fiel über ganz Süd-Sumatra, nordwärts bis Benkoelen und Palembang, in Westjava bis über Batavia und die Preanger Regentschaften hinaus; feiner Aschenstaub wurde über eine noch grössere Fläche, etwa 600,000 Quadratkilometer, hingestreut. In südwestlicher Richtung erstreckte sich der Aschenregen sogar 1200 km weit und allbekannt ist, dass allerfeinste Teilchen vermenget mit Wasserdampf in die obersten Luftschichten gelangten, durch Luftströmungen

über die ganze Erde verbreitet wurden und die prächtigen Dämmerungserscheinungen veranlassten, die im Dezember 1883 überall zu beobachten waren.

Die Gesamtmenge der von den Kratern der Krakatauinsel vom Mai bis August 1883 ausgeworfenen Massen wurde von R. D. M. VERBEEK auf Grund eingehender Berechnungen auf 18 Kubikkilometer geschätzt. Durch diesen ungeheuren Materialverlust wurden der Hauptkrater und die benachbarten Teile der Insel unterhöhlt und am Morgen des 27. August erfolgte die Hauptkatastrophe: ein grosser Teil der Insel und des umgebenden Meeresgrundes stürzte gleich einem mangelhaft unterstützten Gewölbe zusammen. Den Trümmern nach drängte wie in einen Trichter von allen Seiten die See, türmte sich über dem versunkenen Krater im Zusammenprall wieder empor und erzeugte gewaltige Flutwellen, die, gegen 40 m hoch und Felsblöcke bis zu 300 Kubikmeter Inhalt mit sich führend, zu wiederholten Malen über die benachbarten Küsten Javas und Sumatras hereinbrachen. Mehrere Kilometer landeinwärts wurde alles zerstört, ganze Dörfer verschwanden und gegen 30,000 Menschen fanden in der tobenden See den Tod. In der flachen Javasee drang die Flutwelle nur mit geringer Gewalt vor. Immerhin erlitten die niedrigen Inseln in der Bucht von Batavia beträchtlichen Schaden, und in Tandjong Priok, dem Hafen von Batavia, wurden am 27. August von Mittag an während der nächsten 36 Stunden nicht weniger als 18 Flutwellen verzeichnet, von denen die erste und stärkste eine Höhe von mehr als 2 m besass. Viel günstigere Bedingungen für ihr Fortschreiten fand die Welle im tiefen Wasser des indischen Ozeans. Noch am gleichen Tage wurden in allen Häfen desselben heftige Stosswellen wahrgenommen. Am 28. August hatte die Flut bereits den Weg in den nordatlantischen Ozean gefunden und wurde in Rochefort, Cherbourg, Havre und anderen Orten verspürt.

4. Die Vernichtung von Flora und Fauna auf Krakatau.

Die topographisch-geologische Expedition, die zwei Monate nach der Eruption unter Leitung von R. D. M. VERBEEK (1885) die Untersuchung der Inselgruppe vornahm, konstatierte ungeheure Veränderungen. Die kleine Insel «Poolsche Hoed», ein Stück von Lang Eiland, sowie zwei Drittel der Hauptinsel mit einer Fläche von 22,85 Quadratkilometern waren versunken. Die Bruchfläche ging mitten durch den Rakata, dessen höchster Punkt erhalten geblieben war. Vom Gipfel an fiel der Berg jetzt in steiler, fast senkrechter

Wand bis zum Meeresboden ab. An seinem Fuss, wie auch draussen in dem neuen Meeresteil, der zwischen den früher dicht beisammen liegenden Inseln entstanden war, erreichte das Lot erst bei 100, 200, stellenweise 300 m Länge den Grund (vergl. Abb. 1 u. 3).

Lava schien während des ganzen Ausbruchs nicht geflossen zu sein, dagegen sind die drei Inseln von Bimsstein- und Aschenmassen überdeckt worden, welche auf Verlaten Eiland eine Höhe bis 100 m, auf Lang Eiland von \pm 45 m erreichten. Auf Krakatau selbst war die Mächtigkeit der Schichten sehr ungleich, im Mittel wohl 30 m, in den untersten Zonen betrug sie 60 m und mehr, an den Bergabhängen soll sie stellenweise nur 1—2 m betragen haben. Die beiden kleineren Inseln Lang Eiland und Verlaten Eiland waren höher geworden, letzteres hatte überdies rings an Ausdehnung gewonnen. Auch an der Südwest- bis zur Südostküste der Krakatauinsel hatte sich ein neuer Randgürtel gebildet; zu den erhalten gebliebenen 10,7 Quadratkilometern waren 4,6 Quadratkilometer Neuland hinzugekommen.

In der kurzen, seit der Eruption verstrichenen Zeit von zwei Monaten, waren durch die Tätigkeit des Wassers schon tiefe Täler und Schluchten, teilweise mit 6 bis 8 m hohen, senkrechten Wänden, in die lockeren Schichten eingeschnitten worden. In der Nähe des Gipfels, wo die neuen Schichten von Anfang an am schwächsten gewesen sein mussten, war hie und da ein Stück der alten Fels-oberfläche mit gestürzten und verkohlten Baumstämmen blossgelegt. Ueberall aber waren, das hebt R. D. M. VERBEEK ausdrücklich hervor, die letzten Reste pflanzlichen Lebens, welche die ersten Ausbrüche noch überdauert hatten, völlig vernichtet worden. Die ehemals grünen Inseln lagen als Wüste traurigster Art da, einsam — 19 bis 25 km entfernt von den benachbarten, gleichfalls halb verödeten Inseln Sebesy und Seboekoe, 35 bis 45 km von den nächstgelegenen Punkten der javanischen und sumatranischen Küste — unbewohnt und aller Wahrscheinlichkeit nach auch für lange Zeiten unbewohnbar.

“It has become a time-honoured custom to begin a paper on the new flora or fauna of Krakatao with stating something like that in 1883 'the island was completely devastated, stripped of all animal and vegetable life' schreibt spottend C. A. BACKER (1929, S. 275), 46 Jahre nach der Katastrophe von Krakatau. Die von C. A. BACKER an den Prämissen der biologischen Krakatauforschung geübte Kritik soll an späterer Stelle eingehend auf ihre Berechtigung geprüft werden. Hier aber möge es vorerst genügen, die Angaben zusammen-

zustellen, welche wir von den erste Besuchern der Krakatauinseln über das Schicksal der frühern Pflanzen- und Tierwelt Krakataus erhalten haben.

Völlige Vernichtung allen Lebens war der allgemeine Eindruck, den die verwüstete Inselgruppe in den ersten Monaten nach dem die ganze Welt erschütternden Ereignis auf alle Besucher machte, denen die seltene Gelegenheit geboten war, Krakatau zu besuchen.

Zwei Monate nach der Eruption, im Oktober 1883, fand R. D. M. VERBEEK bei seiner Begehung der Krakatauinsel, die ihn bis auf die Spitze des Rakata führte, keine einzige Pflanze. Wären damals auf den durch Erosion bereits frei gelegten Stellen anstehenden Gesteins irgendwelche Stockausschläge überdauerter Pflanzenstrünke oder sonstiges frisches Grün vorhanden gewesen, so wäre dies auch dem geschulten Auge eines Geologen gewiss nicht entgangen. Erst ein Jahr später stellte R. D. M. VERBEEK auf Krakatau einige wenige Gräser fest. Inzwischen hatte auch bereits der französische Reisende E. COTTEAU (1885, S. 106) Ende Mai 1884, also neun Monate nach dem grossen Ausbruch, auf allen drei besuchten Inseln ebenfalls umsonst nach Spuren tierischen Lebens gesucht. "Notwithstanding all my researches, I was not able to observe any symptom of animal life. I only discovered one microscopic spider — only one; this strange pioneer of the renovation was busy spinning its web." Dass E. COTTEAU im Mai 1884 auch noch keine Spuren pflanzlichen Lebens auf Krakatau festgestellt hat, geht indirekt wohl aus seinem anschliessenden Satze hervor, "it would be extremely interesting to follow, step by step, the progress of the development of a new life on this land, now barren, but which in a very few years, thanks to the intense heat of the sun and the abundance of tropical rains, will be again transformed, and will be covered with verdure". Wirklich haben sich in der Folge die Pioniere neuen pflanzlichen und tierischen Lebens überraschend bald eingestellt. Schon drei Jahre später waren vom Strande bis hinauf zum Gipfel des Rakata, wie M. TREUB (1888) berichtet, die Spuren neuen Pflanzenlebens sichtbar. Vor Ablauf eines Vierteljahrhunderts waren die Inseln von einem neuen Pflanzenkleid überzogen, stellenweise in solcher Ueppigkeit, dass es des Haumessers bedurfte, um mühsam einen Weg durch dasselbe zu bahnen. Heute, ein halbes Jahrhundert nach dem verheerenden Ausbruch vom 26./28. August 1883, sind die Krakatauinseln grösstenteils wieder von Wäldern bedeckt, die von den «Urwäldern» anderer Küsten-

genden des malayischen Archipels sich noch in der artlichen Zusammensetzung, dagegen kaum mehr in Dichte und vor allem nicht in der Ueppigkeit individueller Entwicklung einzelner Bäume unterscheiden.

III. Exkursionen und Expeditionen zur Erforschung der neuen Flora und Fauna von 1886—1929.

Die Lage der Krakatauinseln, inmitten der Sundastrasse mit ihren für kleine Schiffe schwierigen Strömungs- und Windverhältnissen, weitab von einem grösseren Hafen, war für die Erforschung der neuen Flora und Fauna nicht günstig. Mit den einfachen Segelschiffen der Eingeborenen sind die Inseln nicht sicher, jedenfalls nicht in jeder Jahreszeit erreichbar. So waren die Biologen, wenigstens im ersten Vierteljahrhundert der Krakatauforschung, auf die Benutzung der kleinen Regierungsdampfer angewiesen, welche die Sundastrasse zu andern Zwecken (Verproviantierung der Leuchttürme, Vermessungen etc.) besuchten und ihre Fahrt zu Gunsten der begleitenden Biologen durch den Umweg über Krakatau um einen oder mehrere Tage verlängerten. Von einer gründlichen Erforschung der neuen Flora und Fauna konnte unter diesen Bedingungen weder hinsichtlich Zahl, Aufeinanderfolge und Dauer der einzelnen Aufenthalte wohl die Rede sein. Dankbar sei aber anerkannt, was M. TREUB durch die Problemstellung, seine eigene Betätigung und durch die Aufmunterung anderer für die Förderung der Krakatauforschung getan hat. Dankbar sei ebenfalls anerkannt, dass seine Nachfolger in der Leitung der Buitenzorger Institute, J. C. KONINGSBERGER und W. M. DOCTERS VAN LEEUWEN das Problem ebenfalls weiter im Auge behielten und seine weitere Bearbeitung ermöglichten. Erst von 1919 an ist die Krakatau-Inselgruppe von Biologen, Botanikern und Zoologen, in regelmässigen Intervallen von zwei Jahren besucht und während mehrtägiger Aufenthalte, eingehender als es je zuvor möglich gewesen war, untersucht worden.

1. Studien über die neue Flora und Vegetation von 1886—1906.

Die ersten Besuche auf Krakatau zum Zwecke biologischer Forschung erfolgten im Juni 1886 durch MELCHIOR TREUB selbst, in Begleitung des Geologen R. D. M. VERBEEK und acht weiterer Europäer, von denen leider kein zweiter ebenfalls Botaniker war. Die Exkursionisten wurden in den Tagen vom 19.—24. Juni zweimal auf Krakatau ausgebootet. Die Landung erfolgte beide