

# Ueber die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Dünensande Hollands und über die Wichtigkeit von Fluss- und Meeres-sanduntersuchungen im Allgemeinen.

Von

**J. W. Retgers.**

---

## 1. Einleitung.

Vor einiger Zeit ist von mir eine Untersuchung der Mineralien des Dünensandes der Westküste Hollands publicirt worden, auf welche später eine chemische Erforschung dieses Sandes gefolgt ist<sup>1</sup>.

Da beide Untersuchungen vielleicht den Leser dieses Jahrbuches interessiren werden, so erlaube ich mir, hier in etwas abgekürzter Form ihre Resultate wiederzugeben.

Allgemein bekannt ist, dass der Dünensand Hollands zum grössten Theil aus Quarzkörnern besteht. Dass er jedoch ausschliesslich aus solchen bestehen würde, ist schon a priori unwahrscheinlich, weil die festen Gesteine, welche den Quarz geliefert haben, jedenfalls auch andere Mineralien enthalten haben, welche ebenso hart sind wie Quarz und ebenso widerstandsfähig gegen mechanische und chemische Einflüsse.

---

<sup>1</sup> J. W. RETGERS, De Samenstelling van het Duinzand van Nederland. Verhandelingen der koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. 1891. — J. W. RETGERS, Essai d'une Analyse chimique du Sable des Dunes. Annales de l'Ecole Polytechnique de Delft 7. 161—186. 1892. — Beide Aufsätze vereinigt im Recueil des Travaux chimiques des Pays-Bas. 11. 169—257. 1893.

Ausserdem braucht man nur den Dünensand auf einen Bogen weissen Papiers auszustreuen, um schon mit unbewaffnetem Auge zwischen den zahlreichen farblosen oder weissen Quarzkörnern mehrere braune oder schwarze Körner zu entdecken, welche offenbar anderen Mineralien angehören.

Mineralogische Sanduntersuchungen haben bekanntlich schon mehrmals stattgefunden. Ich verweise auf die der Mineralien des Sandes des Mesvrinflusses bei Autun in Frankreich von MICHEL-LÉVY<sup>1</sup>, vom vulkanischen Sande Santorins von FOUQUÉ<sup>2</sup>, vom Sande der Sahara-Wüste von THOULET<sup>3</sup>, ausserdem von zahlreichen, durch bestimmte Mineralien interessante Sande, wie Gold- und Platinsande, Chromeisensteinsande, schwarze magnetitreiche Sande, die diamantführenden Monazitsande Brasiliens, mehrerer Gletschersande<sup>4</sup>, die Leucit- und Zirkon-führenden Küstensande West-Italiens<sup>5</sup> u. s. w.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> A. MICHEL-LÉVY, Notes sur quelques Minéraux contenus dans les Sables du Mesvrin, près Autun. Bull. soc. min. 1. 39. 1879.

<sup>2</sup> F. FOUQUÉ, Santorin et ses Eruptions. 1879.

<sup>3</sup> J. THOULET, Etude minéralogique d'un Sable du Sahara. Bull. soc. min. 4. 262. 1881.

<sup>4</sup> H. WICHMANN, Mineralogische Zusammensetzung eines Gletschersandes. TSCHERMAK's Mineral. Mitth. 7. 452. 1886; dies. Jahrb. 1887. 2. - 85-.

<sup>5</sup> G. UZIELLI, Sopra lo zircone della Costa tirrena. Atti R. Accad. Lincei. 3. 1876; dies. Jahrb. 1877. -303-. Besonders soll auf diese Arbeit als erstes Beispiel einer mineralogischen Meeressanduntersuchung die Aufmerksamkeit gelenkt werden. UZIELLI fand in dem Meeressande der tyrrhenischen Küste von Neapel bis Civita-vecchia Quarz, Plagioklas, Orthoklas, Augit, Olivin, Leucit, Magnetit, Apatit, Calcit und Zirkon.

<sup>6</sup> Eine der ersten mikroskopischen Untersuchungen von Sanden ist die bekannte Arbeit von H. C. SORBY, On the microscopical Characters of Sands and Clays. (The monthly microscopical Journal. March 1877; dies. Jahrb. 1880. 1. -216-.) Er wies neben dem Überfluss der Quarzkörner noch Feldspath-, Hornblende- und Turmalinkörner nach in den Sanden. — Mikroskopische Untersuchungen von Sandsteinen (wobei jedoch auch noch mehrere für eigentliche „Sande“ zutreffende Beobachtungen beschrieben sind) fanden statt von F. A. ANGER (Mikr. Studien über klastische Gesteine. TSCHERMAK's Miner. Mitth. 1875. 153; dies. Jahrb. 1876. -213-) und bekanntlich auf sehr gründliche Weise von G. KLEMM (Mikr. Untersuchungen über psammitische Gesteine. Zeitschr. der deutschen geolog. Ges. 34. 771. 1882; dies. Jahrb. 1883. 2. - 71-. Weiter schrieben hierüber A. DAUBRÉE, Etudes synthétiques de Géologie expérimentale. 248—289. 1878; dies. Jahrb. 1880. 2. -168-; J. A. PHILIPS, On the Constitution and History of Grits and Sandstones (Quart. Journ. Geol. Soc. 37. 6.

Bei all diesen Sanden hat man sich gewöhnlich begnügt mittelst Schlämmung einige interessante Mineralien zu isoliren und zu beobachten. Von einer systematisch durchgeführten sowohl qualitativen als quantitativen Untersuchung war hierbei keine Rede. — Beim Dünensande<sup>1</sup> hat man um so weniger an eine derartige Untersuchung gedacht, als die selteneren Mineralien desselben nur einige Procente betragen und sozusagen verloren sind in einer übergrossen Menge Quarzkörner und deshalb das directe Aussuchen der ersten fast unausführbar ist und eine Anreicherung mittelst Schlämmen stets mit grossem Verluste verbunden ist.

---

1881; dies. Jahrb. 1882. 2. -371-); E. KALKOWSKY, Über die Erforschung der archaischen Formationen; dies. Jahrb. 1880. 1. 1—28. H. O. LANG, Über Sedimentär-Gesteine aus der Umgegend von Göttingen (Zeitschr. d. deutsch. geolog. Gesellsch. 33. 217. 1881; dies. Jahrb. 1882. 2. -68-). Die jüngste petrographische Untersuchung von Sandsteinen ist wohl die von J. CHELUSSI, welche im eben erschienenen 4. Heft des 4. Bandes des Giornale di Mineralogia 1894 veröffentlicht ist. Er untersuchte einige Sandsteine der Provinz Aquila (Abruzzen) und wies mikroskopisch Quarz, Orthoklas, Plagioklas, Biotit, Muscovit, Chlorit, Granat, Epidot, Turmalin, Zirkon, Calcit und Magnetit hierin nach. Im Jahre 1892 erschien eine Arbeit von C. RIVA über einige Sandsteine der Appeninen im Giornale di Mineralogia 3. 250. 1892 (dies. Jahrb. 1893. 2. -494-). Er traf ausser den ebengenannten Mineralien noch Pyrit und Apatit an. Ebenfalls von einem italienischen Forscher, L. RICCIARDI (Ricerche sulle sabbie delle coste adriatiche. Atti Soc. Ital. d. sc. nat. 33. 1—22. 1890; dies. Jahrb. 1893. 2. -49-) wurden die Sande der adriatischen Küste von der Po-Mündung bis nach Bari untersucht, und ausser Quarz, Feuerstein, Kalkstein noch Augit nachgewiesen. Es darf wohl bemerkt werden, dass nicht bloss, wie im Referate nachdrücklich betont worden ist, die Untersuchungen die weitgehenden Schlüsse des Autors keineswegs rechtfertigen, sondern dass dieselbe auch in mineralogischer Hinsicht äusserst mangelhaft sind, indem ohne Zweifel viel mehr Mineralien in dem adriatischen Meeressand vorkommen werden. — Eine sehr gründliche Untersuchung des goldhaltigen Flusssandes des Tessin fand statt von E. ARTINI (Giorn. di Miner. 2. 1891; dies. Jahrb. 1892. 1. 515.)

<sup>1</sup> Ich mache bei dieser Gelegenheit aufmerksam auf eine schon im Jahre 1884 in russischer Sprache erschienene Arbeit über Dünen von Herrn Landesgeologen SOKOLOW in Petersburg, welche nicht bloss die Stranddünen, sondern auch die Fluss- und Binnenland- (Wüsten-) Dünen behandelt. Eine deutsche Übersetzung dieser wichtigen Arbeit, welche Herr Prof. ARZRUNI bearbeitet, wird bald erscheinen.

Die einzige Art und Weise, bei welcher die Untersuchung Erfolg verspricht, ist die vollständige Trennung in mehrere Gruppen von den leichtesten bis zu den schwersten Mineralien mit schweren Flüssigkeiten und die optische und chemische Untersuchung der hierdurch isolirten Mineralien.

Ich habe auf diese Weise den Dünensand der Westküste Hollands bei Scheveningen untersucht. Die Proben wurden sämmtlich auf kurze Entfernung südlich des bekannten Badeortes, unweit des Leuchthurmes, am Westabhange der Dünenreihe gesammelt.

Indem ich für die Beschreibung der Methoden und der nachgewiesenen Mineralien auf die folgenden Seiten verweise, erlaube ich mir vorher noch einige Bemerkungen.

Man wird unter den dem Quarz beigemischten Mineralien zwar andere ebenfalls harte und feste gesteinbildende Mineralien, wie Granat, Spinell, Turmalin, Magnetit, erwarten, welche auch der Verwitterung gut Widerstand leisten können, jedoch keine leicht spaltbare, wie Feldspath und Hornblende, oder leicht zersetzbare und leicht lösliche, wie Olivin und Kalkspath.

Die Resultate der Untersuchung zeigten, dass diese Vermuthung nicht richtig war. Zwar bilden die harten Mineralien, wie Granat, Augit, Staurolith, Spinell, Zirkon, Rutil, Turmalin, Epidot die Hauptmasse; neben ihnen kommen jedoch nicht bloss leicht spaltbare, wie Feldspath und Hornblende, leicht zersetzbare, wie Olivin und Apatit, sondern auch sogar sehr weiche und leichtlösliche, wie der Kalkspath, vor, und zwar bilden diese ebenso grosse Körner wie die Quarzkörner selbst. Es ist dies wohl eine Folge davon, dass die Sandkörner keine gewaltsame Zertrümmerung erlitten haben, sondern mehr eine gegenseitige Abreibung, welche verhindert, dass die Körner unter ein gewisses Minimum der Grösse herabsinken.

Die Körner sind einer Abnutzung sowohl im Wasser als auch trocken (durch den Wind) ausgesetzt. Die Wirkung des letzteren ist bedeutend stärker als die des ersteren. Die abschleifende Kraft der Körner wird durch das Wasser selbst stark gehemmt<sup>1</sup>. Dagegen ist die abnutzende Kraft einer

<sup>1</sup> Ich verweise hier auf die bekannten Versuche von DAUBRÉE (Etudes synth. de géol. expér. 1879; Formation des galets, du sable et du limon,

durch Wind bewegten Sandmasse eine sehr starke. Am besten lässt sich dies am Dünenfuss selbst sehen, nicht bloss daran, dass Körper, wie z. B. Glasscherben, nach einigen Tagen vollkommen matt geschliffen werden, wenn sie auf trockenem Dünensande liegen, sondern auch daran, dass die härtesten Basalt- und Granitpflastersteine bald stark von vom Winde bewegtem Sande angegriffen werden. Auf dieser stark abnutzenden Kraft der vom Winde fortgeführten Sandkörner (welche sogar im Gesicht Schmerz verursachen, wenn man bei starkem Winde längs des Strandes geht) beruht ja die technische Methode des Glasätzens mittelst des Sandgebläses. Herr J. BOSSCHA Jzn.<sup>1</sup> hat sogar experimental bewiesen, dass diese Kraft so stark ist, dass Quarzkörner bei sehr lebhafter Fortbewegung mittelst eines Luftstroms durch ihre gegenseitigen Stösse in Stücke zerspringen, was unmöglich im Wasser stattfinden kann. Dies erklärt vielfach die oft nachgewiesenen scharfkantigen Quarzfragmente im Flugsand (z. B. in dem des Rheinalluviums, dies. Jahrb. 1892. 1. 224) und die eckigen Quarzsplitter im Löss, was ebenfalls für aeolische Bildung spricht. — Vergleicht man den Meeressand mit dem Dünensand, so ist ersterer stets bedeutend grobkörniger und die Körner sind eckiger. — Die bedeutendste Zerkleinerung erleiden die Körner somit im

---

248—258), welche deutlich die äusserst geringe Abnutzung im Wasser beweisen. Quarzsand bleibt eckig, sobald er nur aufgewirbelt werden kann, und verliert dann nicht mehr an Gewicht. (Auch die versuchsweise während langer Zeit in einem mit Wasser gefüllten gedrehten Cylinder herumgewirbelten Quarzstücke blieben eckig.) Deshalb die zahlreichen Sandsteine mit eckigen Sandkörnern. Solche traf ich zwar im Fluss- und Meeressande, jedoch nicht im Dünensande an. Windtransport rundet also bedeutend. Auch THOULET (Bull. soc. min. 4. 262. 1881) macht auf den auffallenden Unterschied des rundkörnigen Sahara-Sandes gegenüber dem eckigkörnigen Meeressand aufmerksam und schreibt auch hier dem Windtransport eine bedeutend stärkere abnutzende Wirkung als dem Wassertransport zu. Über die eigentlichen Sanddünen der Saharawüste handelt eine Arbeit von C. ROLLAND, Sur les grandes dunes de sable du Sahara (Bull. soc. géol. 10. 30. 1882).

<sup>1</sup> J. BOSSCHA Jzn., Het Zanddiluvium in Nederland. 1879. Leiden. S. 35—43. Ausser der bekannten Einwirkung des Wassers, des Windes und des Frostes auf die Sandkörner, will BOSSCHA auch die Sonnenhitze am Strande (Zersprengen der Quarzkörner durch Erhitzung der Einschlüsse vom liquiden CO<sub>2</sub>) annehmen als Ursache der Zertrümmerung.

Windtransport. Recht merkwürdig ist die Thatsache, dass diese Zerkleinerung durchaus nicht zur vollkommenen Zerreibung führt, sondern dass, wie gesagt, der Durchmesser der Dünensandkörner nicht unter eine bestimmte Grösse sinkt. Es scheint, als ob dieser Durchmesser eine bestimmte Function der mittleren Windstärke ist. Ich habe Dünensande von sehr abweichenden Orten der holländischen Küste (z. B. Scheveningen, Zandvoort, Helder, Vlieland, Schiermonnikoog) untersucht und immer dieselbe Grösse angetroffen. Ja, sogar an allen möglichen Stellen der Dünen (Innen- und Aussenseite, Fuss und Scheitel) hatte der Dünensand ungefähr gleiche Grösse (welche man im Mittel rund zu  $\frac{1}{4}$  mm Durchmesser annehmen kann)<sup>1</sup>. Die Abreibung scheint also im Laufe der Zeit nicht weiter zu gehen. Obwohl dies a priori nicht leicht einzusehen ist und man eher das Gegentheil annehmen sollte, wird es vielleicht erklärlich durch den Vergleich mit der Zerkleinerung eines Stabes, den man leicht in Stücke zerbrechen kann, wenn er lang ist, was jedoch immer schwieriger wird, wenn die Stücke kleiner werden, sodass sich schliesslich zwischen Körperkraft und Länge der Fragmente eine deutliche Abhängigkeit herausstellt. Ein derartiges Verhältniss besteht vielleicht auch zwischen mittlerer Windstärke und Sandkörner-Durchmesser<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> BOSSCHA (l. c. 48) hat Messungen an dem Scheveninger Dünensand angestellt: die Körnergrösse wechselte von  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{10}$  mm. Bei weitem die meisten Körner hatten  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{6}$  mm Durchmesser. Die Scheveninger Meeresande waren deutlich grobkörniger. Die Körner des Saharasandes hatten nach THOULET (l. c. 263) 0,2 bis 0,7 mm Diam., waren also grösser als die des Dünensands.

<sup>2</sup> Schon DAUBRÉE (l. c. 256—257) constatirte ein derartiges Dimensions-Minimum („Dimension limite“) für in Wasser bewegte Sandkörner, welches Minimum eine Function ist von der Geschwindigkeit des Wassers und welche die auffallende Gleichheit der Grösse der Sandkörner in Sandsteinen erklärt. Ob dies auch für Dünensand und Wüstensand gilt, ist fraglich. Während Flussand kommt im Meere wieder zur Ruhe und deshalb die eckigen Formen behält, ist Dünen- und Wüstensand in fortwährender Bewegung. Sowohl Land- als Meeresdünen verschieben sich und werden gründlich umgewühlt. Hier ist also die Existenz eines Dimensions-Minimums viel unerklärlicher. — Richtige Feinreibung, also Zertrümmerung von Gesteinskörnern bis zu der äussersten Grenze, findet eigentlich nur in dem stark zerriebenen Gletschersande statt. Jedoch selbst hier muss man immer ein Minimum

Die von mir im Dünensande nachgewiesenen Mineralien lassen sich, was die Häufigkeit ihres Vorkommens betrifft, eintheilen in:

a) Hauptminerale: Quarz, Granat, Augit, Hornblende, Turmalin, Epidot, Staurolith, Rutil, Zirkon, Magnetit, Ilmenit, Orthoklas, Kalkspath, Apatit.

b) Untergeordnete Minerale: Plagioklas, Mikroklin, Cordierit, Titanit, Sillimanit, Olivin, Disthen, Korund, Spinell.

Sehr leicht kann man am von Meereswasser bei Ebbe und Fluth abwechselnd gespültem Strande (z. B. in Scheveningen) die drei (nach dem Quarz) wichtigsten Minerale an ihrer Farbe unterscheiden: die rothen (bei auffallendem Lichte sogar kupferrothen) Granatkörner, die grünen Augitkörner und die schwarzen Eisenerzkörner häufen sich durch Schlämmung in Pfützen an und ziehen leicht die Aufmerksamkeit auf sich.

Die meisten Körner dieser Mineralien sind stark abgerundet, obwohl vollkommene Kugeln nicht vorkommen<sup>1</sup>.

der Körnergrösse haben, welches von der angewandten Kraft abhängt. Kann man doch sogar Quarz in einem Achatmörser nicht unter einer gewissen Dimension zerkleinern, wie die Untersuchung des Pulvers u. d. M. lehrt.

<sup>1</sup> G. KLEMM giebt in seiner bekannten Arbeit über psammitische Gesteine (Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 34. 771. 1882) an, dass einer der untrüglichsten Charaktere für klastische Mineralkörner in den „zerhackten Umrissen liege, welche die Durchschnitte klastischer Körner in Folge der während des Transports erlittenen Oberflächenverletzungen zeigen,“ auch soll die Oberfläche selbst dieses „verletzte“ Äussere besitzen. Ich habe dies Äussere an den Quarzkörnern des Dünensandes nicht deutlich beobachten können. Auch kommt mir diese „Einkerbung“ der Oberfläche durch Verletzung etwas fraglich vor. Die Körner erleiden während des Wassertransportes in die Flüsse und durch die Brandung am Strande eine ziemlich sanfte gegenseitige Abnutzung. Von einem starken Einschneiden oder Verletzen kann kaum die Rede sein. Anstatt ein „zerhacktes Äussere“ zu bekommen, werden die Körner durch Wassertransporte immer runder und glatter. Ja, sogar der Windtransport, der, wie vorhin erwähnt, bedeutend stärker die Oberfläche der Körner angreift, giebt durchaus nicht zu derartigen Einkerbungen Veranlassung. Ich glaube, dass, wo die Körner das „zerhackte Äussere“ zeigen, dies vielleicht eine Folge ist der früheren eckigen und unregelmässig bröckeligen Oberfläche, welche der Gesteinsgrus immer zeigen wird. Diese wird durch die Abnutzung eher verschwinden als zunehmen. Nur wenn man die Körneroberfläche mit absolut glatten und spiegelnden Krystallflächen vergleicht, z. B. bei Zirkon, sind die abgerundeten Theile immer etwas rauher. Von „zerhackt“ ist hierbei jedoch kaum die Rede.

Auch dies ist wiederum ein Beweis, dass die Abreibung durchaus nicht ihr Maximum erreicht hat. Manchmal begegnet man im Gegentheil noch schönen Krystallen, an welchen die Facetten sehr gut erhalten sind. Am auffallendsten ist dies bei den Zirkonen der Fall, welche oft höchstens eine Kantenabrundung erlitten haben. Ausserdem zeigen auch Spinell (Oktaëder), Magneteisen (Oktaëder) und manchmal Granat (Rhombendodekaëder) ihre früheren Krystallformen.

Die specifischen Gewichte der verschiedenen Mineralien sind sehr abweichend: von den leichten Feldspath- und Quarzkörnern (2,5—2,7) bis zu den schwereren Augit-, Hornblende- und Granatkörnern (3,0—4,2) und den schwersten Rutil-, Zirkon- und Eisenerzkörnern (4,2—5,2) sind alle Abstufungen der Dichte vertreten<sup>1</sup>. Dennoch trifft man im Dünensande durchaus keine Separation nach der Dichte an. Wenn eine solche stattfinden könnte, würde man sie leicht in den Dünen selbst beobachten können, da die schwersten Mineralien durch ihren Eisenreichthum die am dunkelsten gefärbten sind und man also z. B. schwarze magnetitreichere Schichten alternirend mit weissen magnetitarmen Schichten antreffen müsste. Vom Winde wird jedoch alles aufgewirbelt und ohne Ordnung abgesetzt. Auch dies ist eine der Thatsachen, die man a priori nicht erwartet hätte, indem man sicher Luftseparation annehmen würde. Auch am Strande im Meereswasser selbst findet keine eigentlich gründliche Separation nach der Dichte statt (zwar stellenweise kleine Separationen, wie z. B. die vorhin erwähnte in Pfützen, jedoch niemals in dicken Schichten). Die für eine Separation nöthige langdauernde Bewegung des ganzen Sandes (wie sie z. B. in Setzkästen in Aufbereitungsanstalten stattfindet) fehlt eben am Strande.

Erwähnen möchte ich noch, dass im Dünensande keine Glimmerblättchen vorkommen, welche man jedoch wohl im

---

<sup>1</sup> Nach dem zunehmenden specifischen Gewichte geordnet sind die Mineralien des Dünensandes: Orthoklas (2,56), Mikroklin (2,56), Plagioklas (2,6—2,7), Cordierit (2,6—2,7), Quarz (2,65), Kalkspath (2,71), Apatit (3,2), Amphibol (3,1—3,3), Turmalin (3,0—3,3), Pyroxen (3,3—3,6), Epidot (3,3—3,5), Titanit (3,4—3,6), Sillimanit (3,2—3,3), Olivin (3,3—3,5), Granat (3,6—4,2), Staurolith (3,4—3,8), Disthen (3,5—3,7), Korund (3,9—4,0), Spinell (3,6—4,1), Rutil (4,2—4,4), Zirkon (4,4—4,8), Ilmenit (4,8—5,0), Magnetit (5,0—5,2).

Meeressande antrifft. Ich kann dies nicht anders erklären, als dadurch, dass bei der kräftigen Abnutzung beim Windestransport die zarten Glimmerblättchen zerbrochen und ihre Fragmente vom Winde weit zerstreut werden.

## 2. Untersuchungsmethoden.

Das Hauptverfahren besteht aus einer Trennung der Mineralkörner in Gruppen nach allmählich steigendem specifischen Gewichte mittelst schwerer Flüssigkeiten.

Für eine derartige Trennung ist gerade der Sand der Dünen ausnahmsweise geeignet. Er besteht nämlich aus ziemlich glatten Körnern, welche nicht zu klein sind, leicht durch die verschiedenen Flüssigkeiten benetzt werden und deshalb rasch sinken und steigen. Sowohl die feine „Erde“ der pelitischen Gesteine, wie Thon, Lehm, Löss, als auch das bei zertrümmertem festen Gestein immer auftretende „Gesteinsmehl“, welche beide bekanntlich so schwierig sich absetzen, dass ihre Trennung mittelst schwerer Flüssigkeiten fast vollkommen unmöglich ist, fehlen hier. Das äusserst feine Reibungsmehl, welches durch die starke gegenseitige Reibung der Körner entsteht, wenn sie durch den Wind in Bewegung gesetzt sind, ist nicht mehr vorhanden, weil es durch den Wind weit zerstäubt ist. Andererseits sind die Dimensionen der Dünensandkörner nicht zu gross, so dass hierdurch der grosse Vortheil erreicht wird, dass fast jedes Korn aus einem einzigen Mineral, ja meistens sogar aus einem Krystallindividuum besteht. Die bei grösseren Körnern<sup>1</sup> oder bei absichtlich zertrümmertem festen Gestein auftretenden, aus zwei Mineralien bestehenden Fragmente, welche bei Trennungen mittelst schwerer Flüssigkeiten die unangenehmen Zwischenproducte liefern, die jedesmal aufs Neue zertrümmert und getrennt werden müssen, fehlen glücklicherweise beim Dünensande so gut wie vollkommen. Die Natur hat also hier für eine Präparirung gesorgt, die wir uns günstiger nicht denken können. Die ganze Untersuchung trägt deshalb auch einen rein mineralogischen Charakter<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Wie z. B. oft in grobem Flusssand der Fall.

<sup>2</sup> Im gewissen Sinne mag dies als ein Nachtheil zu betrachten sein, weil eben die Associationen der Mineralien uns oft die wichtigsten Auf-

Weil die leichtesten Mineralien im Dünensande die Feldspäthe, die schwersten die Eisenerze sind, haben wir eine Differenz im specifischen Gewichte von ungefähr 2,5—5,2, welches Intervall in mehrere Gruppen getheilt werden soll.

Es schien mir rathsam, diese Gruppeneintheilung auf dem Princip zu gründen: Möglichst wenig und möglichst scharf getrennte Gruppen. Das Ideal einer derartigen Untersuchung: „Jedes Mineral für sich zu isoliren“, ist in aller Strenge unerreichbar, weil die verschiedenen Mineralien kein beständiges specifisches Gewicht besitzen (wie z. B. der reine Quarz), sondern theilweise wegen isomorpher Beimischungen schwererer (eisenreicher) und leichterer (eisenfreier) Bestandtheile, theilweise wegen bald leichter, bald schwerer Einschlüsse immer einigermaassen schwankend sind in ihrer Dichte, so dass die verschiedenen Mineralgruppen mit ihren Extremen ein wenig in einander greifen werden.

Nach längeren vorläufigen Versuchen habe ich mich für folgende Eintheilung, als die praktischste, entschieden.

Denke man sich die zahlreichen Quarzkörner, welche ungefähr 95 % des Dünensandes ausmachen und welche eigentlich die erste grosse Gruppe (I) bilden sollen, entfernt, so lassen sich die schwereren Mineralkörner in die vier folgenden Gruppen theilen:

II.	Die Amphibol-Pyroxen-Gruppe.	Spec. Gew.	3,0—3,6.
III.	„ Granat-Gruppe.	„ „	3,6—4,2.
IV.	„ Rutil-Zirkon-Gruppe.	„ „	4,2—4,8.
V.	„ Eisenerz-Gruppe.	„ „	4,8—5,2.

Diese Gruppeneintheilung bildet die Hauptbasis der Untersuchung; die Grenzen sind genügend scharf und die Gruppen bestehen aus den wichtigsten und charakteristischsten petrographischen Mineralien.

Man kann jedoch auch hierbei noch etwas weiter gehen und jede Gruppe in Unterabtheilungen trennen. Diese Trennung wird jedoch eine viel weniger scharfe, als die der Hauptgruppen und deshalb ist der Nutzen dieser Nebengruppe ein

---

schlüsse über ihre Herkunft liefern. Andererseits wird dieser Mangel jedoch ersetzt durch die oft auftretenden, für die Abstammung charakteristischen Einschlüsse.

ziemlich problematischer. So lässt sich die Amphibol-Pyroxen-Gruppe (3,0—3,6) trennen in die leichtere Amphibol-Gruppe (3,0—3,3) und in die schwerere Pyroxen-Gruppe (3,3—3,6). Diese Gruppen bestehen selbstverständlich nicht ausschliesslich, sondern nur vorwiegend (z. B.  $\frac{3}{2}$ — $\frac{3}{4}$ ) aus Hornblende, resp. Augit.

Auch die Rutil-Zirkon-Gruppe (4,2—4,8) lässt sich auf ähnliche, unvollkommene Weise in die leichtere Rutil-Gruppe (4,2—4,4) und die schwerere Zirkon-Gruppe (4,4—4,8) spalten.

Ausser den Hauptmineralien, nach welchen die Gruppen benannt worden sind, giebt es in jeder Gruppe noch zahlreiche andere Mineralien, wie den Epidot (spec. Gew. 3,4—3,5), der grösstentheils in die Pyroxen-Gruppe, den Turmalin (3,0—3,2), welcher besonders in der Amphibol-Gruppe, den Staurolith (3,4—3,8), welcher fast ganz in der Granat-Gruppe sich findet u. s. w.

Eine besondere Berücksichtigung verdient noch die grosse Quarz-Gruppe (spec. Gew. 2,50—3,00). Obwohl der reine Quarz das beständige und sehr scharf bestimmte spezifische Gewicht von 2,650 besitzt<sup>1</sup>, sind die Quarzkörner im Dünen- sande durchaus nicht alle so ideal rein, dass sie nur diese Dichte zeigen. Wie die mikroskopische Untersuchung ergab, bestehen die Quarzkörner des Dünen- sandes Hollands grossentheils aus Granit- und Gneissquarz, sie führen also oft reichlich die bekannten Schnüre von Gas- und Flüssigkeit- einschlässen, welche die Dichte beträchtlich erniedrigen. Andererseits kommen schwerere Einschlässe vor, wie Amphibolnadeln, Granat- und Eisenerzkörnchen, welche die Dichte beträchtlich erhöhen.

Dies alles veranlasste mich, die grosse Menge der sämtlichen Quarzkörner des Dünen- sandes, welche mit einer schweren Flüssigkeit von 3,00 spec. Gew. (eigentlich bildet diese Zahl die Hauptgrenze in der ganzen Untersuchung, indem hierdurch der quarzhaltige Theil des Sandes von dem quarzfreien getrennt wird) abgeschieden war, auf folgende Weise näher einzutheilen. Die Hauptgruppe wurde begrenzt durch die Dichtigkeits- zahlen 2,60 und 2,70 (welche absichtlich symmetrisch (—0,05 und +0,05) in Bezug auf den absolut reinen Quarz gewählt

<sup>1</sup> V. GOLDSCHMIDT, dies. Jahrb. 1881. Beil.-Bd. 1. 197; Annalen des k. k. naturhistor. Hofmuseums Wien. 1. 127. 1886.

wurden). Hierdurch wurde wiederum die Hauptmasse des Quarzes, 85 %, abgetrennt, und zugleich der Beweis geliefert, dass fast sämtliche Quarzkörner des Dünensandes sehr rein waren. Die beiden kleineren Quarz-Gruppen, 2,50—2,60 und 2,70—3,00, bestanden also hauptsächlich aus unreinem Quarze. Die nähere mikroskopische Untersuchung derselben ergab, dass die erstere zahlreiche Feldspathkörner (hauptsächlich viel Orthoklas, resp. Mikroklin und nur sehr wenig Plagioklas) und einige verhältnissmässig sehr seltene Cordieritkörner enthielt. Die schwerere Gruppe bestand neben zahlreichen einschlussführenden Quarzkörnern aus mehreren Kalkspathkörnern und Muschelfragmenten. Ich habe deshalb die erste Gruppe Quarz-Orthoklas-Gruppe, die zweite Quarz-Kalkspath-Gruppe genannt.

Zusammengestellt bekommen wir folgende übersichtliche Eintheilung der Mineralkörner des Dünensandes:

Dichte	Gruppen	Procentischer Betrag des Sandes	
2,50—2,60	Quarz-Orthoklas-Gruppe . . . . .	2,5	} 95,0
2,60—2,70	Reine Quarz-Gruppe . . . . .	85,0	
2,70—3,00	Quarz-Kalkspath-Gruppe . . . . .	7,5	
3,00—3,30	Amphibol-Gruppe . . . . .	1,5	} 2,5
3,30—3,60	Pyroxen-Gruppe . . . . .	1,0	
3,60—4,20	Granat-Gruppe . . . . .		2,4
4,20—4,50	Rutil-Gruppe . . . . .		} 0,05
4,50—4,80	Zirkon-Gruppe . . . . .		
4,80—5,20	Eisenerz-Gruppe . . . . .		0,05

Die hinter diesen verschiedenen Gruppen stehenden Zahlen, welche den procentischen Betrag des Dünensandes angeben, sind abgerundete Mittelzahlen. Wie ich durch jedemale Wägung der einzelnen Gruppen nachweisen konnte, sind diese Zahlen nicht constant, sondern wechseln bei jeder neuen Portion des Sandes, welchen man untersucht, mehr oder weniger, wie man denn auch schon a priori hier keine absolut festen Zahlen erwarten kann. Dennoch geben sie uns einen sehr guten Begriff von der procentischen Wichtigkeit der verschiedenen Mineralien des Sandes.

Die eben beschriebene Trennung wurde mittelst schwerer Flüssigkeiten und schwerer Schmelzen ausgeführt. Die wichtigste schwere Flüssigkeit bildet hierbei die klassische THOULET'sche Lösung. Ihre Dichte reicht jedoch bekanntlich nur höchstens zu 3,2. Sie wurde deshalb ausschliesslich für die Trennung der drei Quarz-Gruppen (also unterhalb 3,0) verwendet, was in so weit auch recht zweckmässig ist, weil sie die billigste der schweren Flüssigkeiten ist und man bei der Trennung der grossen Quarzmasse immer bedeutende Verluste an Flüssigkeit erleidet.

Die quarzfreien Mineralien muss man mit schwereren Flüssigkeiten, resp. mit schweren Schmelzen behandeln.

In einer im vorigen Jahre veröffentlichten Arbeit<sup>1</sup> wies ich nach, wie äusserst schwierig es ist, neue schwere Flüssigkeiten zu entdecken. Versuche, die bestehenden Flüssigkeiten mit darin löslichen schweren festen Substanzen zu sättigen, führten mich zu keinem Resultate, indem die Dichte hierdurch meistens nur unbedeutend erhöht wurde. Ja, fast scheint es, als ob wirklich eine physikalische Grenze für die Dichte von Flüssigkeiten (bei gewöhnlicher Temperatur) bestände, indem es nicht möglich scheint, über 3,7—3,8 hinaus zu kommen und man jede Hoffnung, eine Flüssigkeit von über 4,0 zu erhalten, fast sicher aufgeben kann<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> J. W. RETGERS, Die Darstellung neuer schwerer Flüssigkeiten. Zeitschr. f. physik. Chemie. 11. 328—344. 1893. Als schwerste Flüssigkeiten unter den vielen untersuchten wurden hierbei erhalten: eine gesättigte Lösung von  $\text{SnJ}_4$  in  $\text{AsBr}_3$ , spec. Gew. 3,73 bei  $15^\circ \text{C}$ ., und eine gesättigte Lösung von  $\text{AsJ}_3$  und  $\text{SbJ}_3$  in einem Gemisch von  $\text{AsBr}_3$  und  $\text{CH}_2\text{J}_2$ , spec. Gew. 3,70 bei  $20^\circ \text{C}$ . Wahrscheinlich hat auch die Lösung von Selen in Selenbromür ( $\text{SeBr}$ ) ein spec. Gew. von ca. 3,70. Auch die allerdings noch problematische, flüssige Verbindung Jodal ( $\text{CJ}_3 \cdot \text{CHO}$ ) würde, wenn ihre Darstellung gelänge, eine Dichte von 3,7—3,8 haben. Ich mache hier zugleich darauf aufmerksam, dass das neuerdings dargestellte Bleitetrachlorid  $\text{PbCl}_4$  (Ber. d. deutsch. chem. Ges. 26. 1434. 1893) eine klare, gelbe Flüssigkeit ist, die erst bei  $-15^\circ \text{C}$ . erstarrt und das hohe spec. Gew. 3,18 bei  $0^\circ \text{C}$ . besitzt. Das analoge  $\text{PbBr}_4$  würde also vielleicht die Dichte 3,5 besitzen und auch durchsichtig sein. — Eine etwas theure, schwere Flüssigkeit würde vielleicht durch Lösen von Goldbromid ( $\text{AuBr}_3$ ) in Arsenbromid ( $\text{AsBr}_3$ ) zu erhalten sein, weil, wie L. LINDET (Compt. rend. 101. 1492) fand,  $\text{AuCl}_3$  sich leicht in  $\text{AsCl}_3$  löst.

<sup>2</sup> Man sollte ja nicht meinen, dass die Existenz des Quecksilbers mit der bekannten hohen Dichte von 13,6 hiermit im Widerspruch steht,

Wir können also nur den Antheil der Sandkörner von der Dichte 3,0—3,6 mit schweren Flüssigkeiten trennen; bei dem Rest mit dem spec. Gew. 3,6—5,2 sind wir auf Schmelzen angewiesen.

Weil reines Jodmethylen bei gewöhnlicher Temperatur ungefähr die Dichte 3,3 besitzt, welche gerade als Grenze zwischen der Pyroxen- und der Amphibolgruppe erwünscht ist, so ist diese im Gebrauch überhaupt höchst angenehme Flüssigkeit<sup>1</sup> für unseren Zweck sehr geeignet. Die Grenze 3,0 erhalten wir durch Verdünnung des  $\text{C}_2\text{H}_5\text{J}_2$  mit Xylol, obwohl dies eigentlich nicht nöthig ist, indem diese Dichte schon mit THOULET'scher Flüssigkeit erhalten war, so dass man mit unverdünntem Jodmethylen arbeiten kann.

Früher<sup>2</sup> wies ich nach, wie man durch Sättigen des Jodmethylen mit Jodoform und Jod eine schwere Flüssigkeit vom spec. Gew. 3,60—3,65 erhalten kann. Sie ist recht dünnflüssig und deshalb sehr brauchbar. Zwar ist sie vollkommen undurchsichtig (nur in dünnen Schichten dunkelbraun); dies ist jedoch durchaus von keinem Nachtheile im Gebrauch<sup>3</sup>.

---

denn die zwischen 4,0 und 13,6 liegenden Flüssigkeiten fehlen vollständig, was sogar für die Amalgame gilt. Das Quecksilber ist also eigentlich als eine „physikalische Anomalie“ zu betrachten. Nach Recht und Regel sollte es eigentlich ein festes Metall sein. Es ist nach meiner Ansicht also die Dichte 4,0 bestimmt eine Grenze für den flüssigen Aggregatzustand bei gewöhnlicher Temperatur. Für höhere Temperaturen verschiebt sich natürlich diese Grenze immer mehr, so dass bei den Schmelzpunkten der Metalle keine Grenze und auch keine Lücke mehr angetroffen wird.

<sup>1</sup> Man würde natürlich auch ausschliesslich mit Methylenjodid arbeiten können, also die THOULET'sche Flüssigkeit auch im Anfang der Dünensandtrennung ganz umgehen. Die Kostspieligkeit des Jodmethylen und der immer auftretende ansehnliche Verlust dieser theuren Flüssigkeit durch Verdampfung während des Arbeitens machen dies jedoch aus praktischen Gründen nicht empfehlenswerth.

<sup>2</sup> J. W. RETGERS, dies. Jahrb. 1889. 2. 188.

<sup>3</sup> Wie ich in der vorhin citirten Arbeit (Zeitschr. f. physik. Chemie. 11. 330. 1893) nachwies, ist das Vorurtheil gegen undurchsichtige, schwere Flüssigkeiten unbegründet. Obwohl natürlich bei gleicher Dichte eine durchsichtige Flüssigkeit immer vorzuziehen ist, braucht man eine sehr schwere, undurchsichtige Flüssigkeit durchaus nicht als unbrauchbar zu verwerfen, indem Mineraltrennungen und sogar Dichtebestimmungen mit einer solchen recht gut vorgenommen werden können. Die vorhin erwähnten schwersten Flüssigkeiten mit einem spec. Gew. von ca. 3,70 ( $\text{SnJ}_4$  in  $\text{AsBr}_3$  etc.) sind fast sämmtlich undurchsichtig.

Man operirt am besten auf folgende Weise: Man bringt die Körner<sup>1</sup> in einen Porcellantiegel, welchen man auf eine flache Glasschale (z. B. ein grosses Uhrglas) gestellt hat, giesst die jodhaltige Flüssigkeit bis dicht an den Rand des Tiegels und lässt einige Zeit ruhig stehen. Es trennen sich die Körner in die leichteren Augitkörner, welche aber auf der Flüssigkeit schwimmen, und in die schwereren Granatkörner, welche am Boden des Tiegels ruhen bleiben. Man giesst darauf sehr vorsichtig mehr Flüssigkeit zu, bis diese anfängt, über den Rand des Gefässes zu strömen und mit den mitgeführten Körnern in die untenstehende Glasschale fliessen. Man hört hiermit erst auf, wenn die Oberfläche der Flüssigkeit vollkommen rein von Körnern ist. Da diese stark glänzend ist wie Quecksilber, so kann man hier leicht feststellen, ob die Trennung beendet ist. Auf diese Weise geht die Trennung ebenso glatt und scharf vor sich, wie in einer durchsichtigen Flüssigkeit. Ein Nachtheil der jodhaltigen Flüssigkeit ist, dass sie nicht durch Filtrirpapier filtrirt werden kann. Man trennt sie jedoch leicht von den Körnern in einem kleinen Scheidetricher, dessen Hahn nur so wenig geöffnet wird, dass die Flüssigkeit tropfenweise ausfliesst. Die jodhaltige Flüssigkeit darf niemals verdünnt werden. Sie muss ihre ursprüngliche Dichte immer behalten, weil dies bequem ist beim Arbeiten, indem man nicht immer das lästige Einstellen auf die gewünschte Dichte zu besorgen hat. Deshalb darf man auch die durch Reinigung der Körner mit Benzol erhaltene Flüssigkeit nicht eindampfen, sondern giesst diese einfach weg. Weil die Menge der Granat- und Pyroxenkörnern ziemlich gering ist, ist der hieraus entstehende Verlust an Flüssigkeit nicht sehr gross.

Die in der jodhaltigen Flüssigkeit gesunkenen Körner bestehen hauptsächlich aus rosarothem Granatkörnern. Um die hierin enthaltenen recht geringen Mengen der Minerale der Rutil-, Zirkon- und Eisenerzgruppe zu isoliren, bedient man sich der schweren Schmelzen.

Als solche hat man glücklicherweise nicht mehrere, sondern nur eine einzige nöthig, nämlich das von mir em-

---

<sup>1</sup> Es handelt sich hierbei um die Trennung von Augit- und Granatkörnern.

pfohlene<sup>1</sup> Thalliumsilbernitrat, welches wasserfrei bei ca. 75° C. schmilzt und das man durch Verdünnen mit etwas Wasser leicht mit wechselnden Dichten von 3,6 bis ca. 5,0 erhalten kann. Die für die Trennungen des Dünensandes gewünschten Dichten 4,2 und 4,5 bekommt man leicht approximativ mittelst Indicatoren (grosse Rutil- und Zirkonkrystalle). Die wasserfreie Schmelze<sup>2</sup> ist geeignet, um die Eisenerzgruppe abzutrennen<sup>3</sup>.

Auf die oben beschriebene Weise würde also der Sand in neun Gruppen getrennt. Jede dieser Gruppen wurde mikroskopisch untersucht, um die verschiedenen in ihnen enthaltenen Mineralien zu erkennen und nachher chemisch analysirt.

Es sei mir, was die mikroskopisch-optische Untersuchung betrifft, noch Folgendes zu beschreiben erlaubt.

Eine Untersuchung derartiger runder oder abgerundeter Mineralkörner unterscheidet sich in mancher Beziehung von der gewöhnlichen Dünenschliffuntersuchung fester Gesteine. Die in letzteren oft zur Diagnose so wichtige äussere Form fehlt hier. Dem Quarz, welcher oft an seiner Dihexaëderform, dem Augit, welcher an seinen oktagonalen, dem Hornblende, welche an seinen spitz-rautenförmigen Durchschnitten in Gesteinsschliffen so leicht zu erkennen sind, begegnen wir hier sämmtlich als runden Körnern. Die Auslöschungsschiefe, welche gewöhnlich an einer den Längsseiten (z. B. Prismen- oder Pinakoidenkante) gemessen wird, ist hier auf diese Weise

<sup>1</sup> J. W. RETGERS, dies. Jahrb. 1893. 1. 90.

<sup>2</sup> Es braucht wohl nicht gesagt zu werden, dass nach jeder Trennung die Körner durch langdauerndes Auskochen mit Wasser (resp. durch wiederholtes Ausspülen mit Benzol) von den anhaftenden Theilchen der Trennungsflüssigkeit resp. Schmelze gereinigt werden sollen.

<sup>3</sup> Später werde ich zeigen, dass man eine schärfere Bestimmung des Eisengehaltes im Dünensand bekommt auf chemischem Wege, indem man sämmtliche Körner von 3,6 aufwärts (also Granat-, Rutil-, Zirkon- und Eisenerz-Gruppe) längere Zeit mit starker Salzsäure auskocht, bis im Rückstand u. d. M. kein schwarzes Erz mehr zu beobachten ist, und in der Lösung das Eisen als  $Fe_2O_3$  bestimmt und zu  $Fe_3O_4$  umrechnet. — Die Anwendung der elektromagnetischen Trennung Fouqué's habe ich nur beschränkt auf eine Isolirung des schwach magnetischen Ilmenits. Ihre Ausdehnung auf die übrigen eisenhaltigen Dünensandmineralien schien mir dagegen keinen Erfolg zu versprechen, ich habe sie deshalb nicht angewendet.

unbestimmbar. Dazu kommt noch, dass wir bei Dünnschliffen gewöhnt sind, die so charakteristische Grösse der Doppelbrechung unter Berücksichtigung der Dünne der Dünnschliffe (also  $\frac{1}{50} - \frac{1}{100}$  mm) an den Interferenzfarben zu bestimmen. Bei der viel beträchtlicheren Dicke der Dünensandkörner (im Durchschnitt  $\frac{1}{4}$  mm) ist uns dies nicht möglich, und wir können kaum Quarz von Orthoklas oder Pyroxen von Olivin unterscheiden, indem die blassen Farben höherer Ordnung viel zu stark in fast allen Fällen vorherrschen.

Es ist also dringend geboten, die Mineralien der Sandkörner zu Dünnschliffdünne zu bringen. Dies mittelst Einkitten in später erhärtende Cemente (wie z. B. nach THOULET<sup>1</sup> in Zinkoxyd und Wasserglas, oder nach P. MANN<sup>2</sup> in Zinkoxyd und Phosphorsäure, oder nach J. BOSSCHA<sup>3</sup> in Wood's Legirung, oder nach BEHRENS<sup>4</sup> in mit etwas Kaliumbichromat versetzten Leim, oder nach PEARCEY<sup>5</sup> und J. BOSSCHA<sup>6</sup> in Copalgummi) und nachheriges Dünnschleifen zu bewerkstelligen, ist nach meiner Ansicht unpraktisch<sup>7</sup> und umständlich. Man erreicht den Zweck viel besser durch einfaches Zertrümmern der Körner. Dies geschieht am besten in einem Achatmörser. Man zertheilt die Körner durch kurzes kräftiges Drücken mit dem Pistill in einige kleine Fragmente. Die Zertheilung darf durchaus nicht weiter gehen. Das Feinreiben der Mineralien, wie solches für eine chemische Analyse nothwendig ist, muss hier vermieden werden; äusserst feines Mineralpulver würde uns nichts lehren.

Die durch Zertrümmerung entstandenen Fragmente sind für die Beobachtung höchst werthvoll. Die Interferenzfarben treten an den dünnen Stellen derselben in der uns vertrauten Stärke auf. Einschlüsse und Krystallstructur sind an den

<sup>1</sup> J. THOULET, Bull. soc. min. 2. 188. 1879.

<sup>2</sup> P. MANN, dies. Jahrb. 1884. 2. 187.

<sup>3</sup> J. BOSSCHA, Het Zanddiluvium in Nederland. 1879. S. 14.

<sup>4</sup> H. BEHRENS, ebenda S. 15.

<sup>5</sup> F. G. PEARCEY, Proc. Roy. Soc. Edinburgh. 8. 295. 1885.

<sup>6</sup> J. BOSSCHA, dies. Jahrb. Beil.-Bd. 5. 128. 1887.

<sup>7</sup> Wenn es auch gelingt, auf diese Weise die Quarzkörner dünn zu schleifen, so erreicht man diesen Zweck nicht bei den viel härteren Zirkon-, Spinell- und Korundkörnern, die beim Schleifen gewöhnlich aus dem Kitt losbröckeln.

Splittern bedeutend besser zu beobachten als an den runden Sandkörnern. Sehr wichtig ist ausserdem der Vortheil, dass hierbei die Existenz von Spaltungsdurchgängen scharf hervortritt und muschelrig brechende Mineralien, wie Quarz und Augit, deutlich von leicht spaltbaren, wie Feldspath, Calcit und Hornblende, zu unterscheiden sind. An den geradlinig umgrenzten Spaltungsblättchen der letzteren ist ausserdem die Grösse der Auslöschungsschiefe leicht zu bestimmen.

Zur Beobachtung sowohl der ursprünglichen Körner als auch in noch höherem Grade der kleinen Fragmente, ist das Eintauchen derselben in ein stark brechendes Medium durchaus nothwendig. Mag man zur Anfertigung von Dauerpräparaten auf den Canadabalsam ( $n = 1,54$ ) angewiesen sein, so machen doch die stark brechenden Mineralien, sowohl als auch der bisweilen auftretende Wunsch, ein beobachtetes Mineral Korn zu isoliren, was sich höchst unbequem in dem Balsam ausführen liesse, die Beobachtung in stark brechenden Flüssigkeiten unumgänglich.

Als praktisch stellte sich Folgendes heraus: Von jeder durch schwere Flüssigkeiten isolirten Gruppe wurde ein wenig auf ein flaches Uhrglas mit Benzol ( $n = 1,50$ ) übergossen. Dies klärt die meisten Körner, jedenfalls zu einer vorläufigen Diagnose, genügend auf. Benzol ist sehr angenehm im Gebrauch, weil es leicht verdunstet und die Körner hierbei jedesmal rein zurückbleiben<sup>1</sup> und keinen unangenehmen Geruch, wie z. B. Schwefelkohlenstoff, besitzt. In dem Benzolbade lassen sich ausserdem äusserst rasch sehr viel Sandkörner untersuchen. Dies ist besonders erwünscht, wenn man nach seltenen Mineralien im Dünensande sucht. Als Beispiel führe ich den Glaukophan an, der leicht durch seine himmelblaue Farbe ins Auge fällt, oder den Mikroklin und Plagioklas, welche durch ihre Gitterung resp. Streifung direct ins Auge fallen. Man kann diese Mineralien, welche nicht immer gleich in der ersten Portion angetroffen werden, immer finden, indem man zahlreiche (z. B. 20) Uhrgläser mit einigen wenigen Körnern

---

<sup>1</sup> Als solches ziehe ich das Benzol bei weitem dem bisweilen vorgeschlagenen Glycerin vor. Ist für etwas länger dauernde Beobachtungen das Benzol zu leicht flüchtig, so nimmt man das weniger flüchtige Xylol.

der betreffenden Gruppe, mit Benzol benetzt, rasch hinter einander unter dem Mikroskop untersucht.

Für die stärker lichtbrechenden Mineralien genügt Benzol nicht. Man nimmt für die Pyroxen-Amphibolgruppe und die Granatgruppe am besten Jodmethylen ( $n = 1,74$ ), weil hierdurch alle Silicate inclusive Granat ( $n = 1,77$ ) genügend von ihrem Relief und Randschatten befreit werden.

Bei den Zirkon- ( $n = 1,99$ ) und Rutilkörnern ( $n = 2,76$ ) genügt jedoch Jodmethylen nicht und man muss eine noch stärker brechende Flüssigkeit anwenden. Man kann hierzu Phenylsulfid ( $n = 1,95$ ) oder Quecksilbermethyl ( $n = 1,93$ ), oder, wie ich neuerdings zeigte<sup>1</sup>, mit vielem Vortheil Phosphor ( $n = 2,14$ ), oder eine concentrirte Lösung desselben in Schwefelkohlenstoff ( $n = 1,95$ ) anwenden<sup>2</sup>.

Nachdem auf oben beschriebene Weise die mikroskopisch-optische Bestimmung der verschiedenen Mineralien sowohl an den ursprünglichen Körnern als auch an ihren Zertrümmerungsfragmenten ausgeführt war, wurden auch an einigen derselben mikrochemische Beobachtungen angestellt. So der Nachweis des Kaligehaltes in Orthoklaskörnern, der  $P_2O_5$ -Gehalt in Apatitkörnern, der  $CO_2$ -Gehalt in Calcitkörnern, der  $TiO_2$ -Gehalt in Rutilkörnern etc.

Am besten isolirt man hierzu mittelst einer Präparirnadel die betreffenden Körner, welche man schon u. d. M. bestimmt hat. In einigen Fällen ist sogar die Isolirung nicht nöthig, da man den Calcit durch das Aufbrausen mit Salzsäure der Gruppe 2,7—3,0, den Apatit durch Auslaugung der Amphibolgruppe mit starker  $HNO_3$  und Zufügen von Ammoniummolybdat zu der klaren Lösung, den Kaligehalt des Orthoklases durch Aufschliessen der ganzen Gruppe 2,5—2,6 nachweisen kann.

<sup>1</sup> Dies. Jahrb. 1893. 2. 130.

<sup>2</sup> Einen noch stärkeren Brechungsexponenten als der Phosphor hat vermuthlich der Schwefelphosphor, eine Flüssigkeit, die man recht leicht erhält, indem man ein Körnchen Phosphor mit etwas Schwefelpulver und Wasser zwischen Object- und Deckglas schwach erhitzt. Beide Elemente verbinden sich sehr leicht zu einer schwach gelben Flüssigkeit. — Auch der Selenphosphor ( $P_4Se$ ) bildet angeblich (GRAHAM-OTTO'S Anorg. Chemie. 2. 437. 1881) eine dunkelgelbe Flüssigkeit. Im Hinblick auf die ungemein starke Lichtbrechung des Selens ( $n_D = 2,98$ ) dürfte jene wohl vorläufig die stärkste lichtbrechende Flüssigkeit darstellen.

### 3. Beschreibung der Mineralien.

Orthoklas. Das niedrige spec. Gew. desselben (2,56) ist Ursache, dass die im Dünensande nicht ganz seltenen Orthoklaskörner in die leichteste Gruppe 2,50—2,60, wo sie neben zahlreichen Quarkörnern vorkommen, vereinigt werden können.

Von den Quarkörnern unterscheiden sie sich durch ihre schwächere Doppelbrechung, was besonders nach der Zertrümmerung ins Auge fällt. Die hierbei auftretenden Spaltungslamellen mit der geraden Auslöschung auf  $P = (001)$  oder der geringen Auslöschungsschiefe von  $5^\circ$  auf  $M = (010)$  mit Bezug auf die Kante  $P/M$ , unterscheiden sich leicht von den unregelmässigen Splintern des muschelig brechenden Quarzes. Auch eine bisweilen auftretende geringe Trübung (Verwitterungsanfang) der Orthoklaskörner unterscheidet sie oft von den meist wasserklaren Quarkörnern<sup>1</sup>.

An einigen mittelst der Präparirnadel unter dem Mikro-

---

<sup>1</sup> Weil der Brechungsindex des Orthoklases ( $n = 1,52$ ) ungefähr dem des Quarzes ( $n = 1,55$ ) gleichkommt, liegt hierin kein Unterscheidungsmerkmal. Beide verlieren in Benzol oder Canadabalsam fast vollständig ihr Relief. — Orthoklaskörner in Sanden wurden von THOULET im Wüstensande der Sahara, von SORBY im englischen, von UZIELLI im italienischen Meeresande nachgewiesen. Der Saharasand soll nach THOULET sogar 9,4 % Orthoklas enthalten, was ich jedoch kaum glauben kann. Die Zahl beruht auf einer Separation mittelst THOULET'scher Lösung, wobei man, meiner Erfahrung nach, niemals die Orthoklaskörner von den Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse-haltigen Quarkörnern gut trennen kann. Die so nothwendige und sehr leichte Kalibestimmung der abgeschiedenen Gruppe ist nicht gemacht, sie würde jedenfalls einen viel geringeren Orthoklasgehalt ergeben haben. (Die von einem Militärapothecker, Namens WEILL, gemachte Analyse jenes Saharasandes [l. c. p. 262] ist jedenfalls sehr ungenügend.) Den hohen Gehalt von 9,4 % Orthoklas im Saharasand (wodurch dieser also viel Orthoklas-reicher wäre als der holländische Dünensand, welcher kaum 1 % Orthoklas enthält) bezweifle ich um so mehr, als der Saharasand durchaus kein Granitgrus ist, sondern entstanden aus der Zersetzung von tertiären und cretaceischen Sanden, welche fast überall den Untergrund der Sahara bilden (ZITTEL, dies. Jahrb. 1884. 2. 41). Zwar stammen diese aus dem fast überall durch jüngere Formationen bedeckten, aus Granit und Gneiss bestehenden Urboden der Saharawüste (ZITTEL, dies. Jahrb. 1881. 2. 41), bei dieser Umwandlung müsste jedoch jedenfalls fast aller Feldspath verloren gegangen sein.

skop isolirten Orthoklaskörnern konnte man nach Lösen in  $\text{HFl} + \text{H}_2\text{SO}_4$  leicht den Kaligehalt mittelst  $\text{PtCl}_4$  mikrochemisch nachweisen. Sogar quantitativ liess sich, wie ich später zeigen werde, der  $\text{K}_2\text{O}$ -Gehalt der ganzen Gruppe 2,50—2,60 zu 3,6 % bestimmen, was also einem Orthoklasgehalt von ca. 21 % in dieser Gruppe und von ca. 0,7 % im Dünensande entspricht<sup>1</sup>.

**Mikroklin.** Neben den vielen Orthoklaskörnern entdeckt man, besonders wenn man auf die vorhin angegebene Weise mehrere Partien der Quarz-Orthoklasgruppe mit Benzol benetzt und mikroskopisch durchmustert, bald einige Mikroklinkörner, welche durch ihre charakteristische Gitterstructur leicht ins Auge fallen.

---

<sup>1</sup> Über die mechanische und chemische Abnutzung des Feldspaths in Sanden während des Wassertransportes hat DAUBRÉE (Etudes synth. de géol. expérim. 1879. 251 u. 271) wichtige Untersuchungen angestellt. Er liess Quarz- und Feldspathfragmente in einem mit Wasser gefüllten, um seine Axe drehbaren Cylinder in horizontaler Lage rotiren und fand, dass die Feldspathstücke 10mal stärker abgenutzt wurden als die Quarz- oder Feuersteinstücke. Aus Granitsand verschwanden auch die Feldspathkörner bald zum grössten Theil, indem sie fast vollkommen zu Schlamm wurden, was wohl weniger Folge der geringeren Härte als der leichteren Spaltbarkeit ist. Auch zeigte DAUBRÉE (l. c. p. 268—279), wie stark der Feldspath chemisch im Wasser angegriffen wird. (3 kg Orthoklas während 192 Stunden im Cylinder mit 5 l destillirten Wassers gedreht, wobei die zurückgelegte Weglänge zu 460 km berechnet wurde, gaben an das Wasser ab: 12,6 g Kali, 0,15 g Thonerde und nur 0,1 g  $\text{SiO}_2$ , während 2,7 kg Schlamm gebildet wurde.) Hierbei ist zu bemerken, dass die chemische Einwirkung des Wassers besonders stark ist auf den fein suspendirten Feldspathschlamm (dieser wird fast momentan zersetzt; nach ein paar Stunden hat man schon deutlich alkalische Reaction des Wassers); die directe chemische Einwirkung auf die grösseren Fragmente kann jedoch lange nicht so gross sein. Noch muss hervorgehoben werden, dass es besonders destillirtes Wasser ist, welches den Feldspath so angreift. Sobald Salze im Wasser gelöst sind, ist die Einwirkung bedeutend schwächer. In Kochsalzlösung oder Meereswasser ist der chemische Angriff viel geringer. Kohlensäurehaltiges Wasser greift, wie zu erwarten, den Feldspath auch stark an. Jedenfalls erklären die DAUBRÉE'schen Versuche, weshalb der holländische Dünensand, welcher sicher ursprünglich Granit- und Gneissand gewesen ist, also vielleicht 20—40 % Orthoklas enthalten hat, jetzt nur ca. 0,7 % Orthoklas enthält. Eine weitere Ursache der Verringerung des Feldspathgehalts des Dünensandes ist die Verwitterung in den Dünen selbst, welche zwar an der Aussenseite trocken, im Innern jedoch immer feucht sind.

Plagioklas. Die Plagioklaskörner lassen sich nicht wie die Orthoklaskörner in eine Gruppe vereinigen. Ihr spezifisches Gewicht (zwischen denen des Albits 2,62 und des Anorthits 2,75 gelegen) fällt, wenigstens für die mittleren Plagioklase (Oligoklas, Andesin, Labrador) ungefähr mit dem des Quarzes 2,650 zusammen. Deshalb sind die an sich schon recht seltenen Plagioklaskörner des Dünensandes nicht von der übergrossen Masse des Quarzes zu trennen. Weil sie jedoch durch ihre Zwillingsstreifung so leicht ins Auge fallen, begegnet man ihnen sicher, wenn man nur zahlreiche Portionen der reinen Quarzgruppe 2,60—2,70 rasch unter dem Mikroskop durchsieht. In einem Fall konnte ich sogar an Spaltungsblättchen eines zertrümmerten Plagioklaskorns die Auslöschungsschiefe gegen die Zwillingsnaht als  $11-12^{\circ}$  bestimmen<sup>1</sup>.

Nach langem Suchen trifft man auch äusserst selten einige Plagioklaskörner in den beiden Nachbargruppen (2,50—2,60 und 2,70—3,00) an.

Die Thatsache, dass verhältnissmässig sehr viel Orthoklaskörner und recht wenig Plagioklaskörner im Dünensande angetroffen werden, ist ein deutlicher Beweis, dass Orthoklasgesteine das hauptsächlichste Urmaterial gewesen sind. Besonders der charakteristische Mikroklin weist deutlich auf Granit und Gneiss als Urgestein des Dünensandes hin. — Wie wir später sehen werden, wird dieses Ergebniss noch durch zahlreiche andere Minerale bestätigt.

Cordierit. Das Mineral kommt selten in einer der drei Quarzgruppen vor. Man erkennt die Körner theilweise

---

<sup>1</sup> Auch THOULET traf im Saharasande Plagioklas an, bestimmte ihn doch wohl unrichtig als Albit, bloss auf Grund der etwas geringeren Dichte als Quarz, ohne Messung der Auslöschungsschiefe an Spaltungslamellen. Ich glaube, dass dieser Plagioklas viel eher zu den in den Gesteinen am meisten verbreiteten mittleren Plagioklasen (z. B. Oligoklas oder Andesin) gehört haben wird und vielleicht durch Flüssigkeitseinschlüsse oder beginnende Verwitterung etwas leichter als der Quarz geworden ist. — Ob der Plagioklas des Saharasandes aus den unterliegenden Sandsteinen oder, was weniger wahrscheinlich, aus den vereinzelt jung-eruptiven Durchbrüchen (Basalte, Trachyte) (ZITTEL, dies. Jahrb. 1884. 2. -41-) stammt, ist unsicher, doch würde dies durch ein Studium der Einschlüsse (z. B. der der Glasbasis) noch zu beweisen sein. — ARTINI fand im Tessinsande sowohl Plagioklas- als Orthoklaskörner.

an ihrem Pleochroismus (farblos bis blassblau), theilweise an ihren charakteristischen Einschlüssen (die zahlreichen Sillimanitnadelchen).

Auch dieses Mineral, dessen Herkunft wohl in cordieritführenden Gneissen zu suchen ist, ist ein Beweis für die Abstammung des Sandes aus dem krystallinischen Urgebirge.

Quarz. Wie vorauszusehen, bildet er die Mehrzahl der Körner des Dünenandes. Die drei Quarzgruppen bilden zusammen ca. 95 % des ganzen Sandes. Rechnet man hiervon die übrigen, besonders in der dritten Gruppe ziemlich zahlreichen anderen Mineralien ab, so besteht immer ungefähr 90 % des Sandes an Quarzkörnern.

Betrachtet man die „reine Quarzgruppe“ (2,60—2,70) mikroskopisch, so findet man darin zahlreiche Körner fast ideal reinen Quarzes, welche zwischen gekreuzten Nicols einheitlich auslöschen, so dass jedes Korn aus einem Krystallindividuum besteht. — Körner, welche eine Mosaik mehrerer abwechselnd auslöschender Quarzindividuen bilden, sind verhältnissmässig sehr selten<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> H. C. SORBY wies in seiner schon vorhin citirten Arbeit (On the micr. Characters of Sands and Clays) nach, dass ein deutlicher Unterschied bestand in der Structur der aus Graniten und Gneissen stammenden Quarzkörner, welche optisch einheitlich sind, und der aus Schiefer stammenden Quarzkörner, welche oft Aggregate verschieden orientirter Individuen darstellen. Hiernach würde auch der holländische Dünenand hauptsächlich aus Körnern von Granit- und Gneissquarz und nur sehr untergeordnet aus Körnern von Schieferquarz bestehen. SORBY giebt noch einen weiteren Unterschied zwischen beiden an, indem die ersteren nahezu runde Körner, die letzteren mehr flache, planparallele und längliche Körner bilden, in Übereinstimmung mit den ursprünglichen Quarzlinsen der quarzreichen Schiefer. Diese linsenförmigen Körner (mit Aggregatstructur) habe ich bei den Quarzen des Dünenandes nicht deutlich beobachten können. — H. ROSENBUSCH giebt in seinem Referate der SORBY'schen Arbeit (dies. Jahrb. 1880. 1. 218) an, dass er die optische Einheitlichkeit der Granit- und Gneissquarze nicht bestätigen könnte. Ich möchte hierzu bemerken, dass R.'s Behauptung zwar zutrifft, wenn man die absolute optische Einheitlichkeit der oft ziemlich grossen Quarzpartien meint, dass jedoch die Granit- und Gneissquarze gewöhnlich grobkörnige Aggregate bilden, so dass, wenn sie bei Zertrümmerung auseinander fallen, entschieden einheitlich polarisirende Quarzkörner entstehen, was bei den viel feinkörnigeren Aggregaten der Linsen im Schieferquarz unmöglich ist. Jedenfalls wäre es sehr wichtig, bei künftigen Sanduntersuchungen die drei mikroskopisch oft leicht

Die Einschlüsse der Quarzkörner (die bekannten Schnüre von Flüssigkeitseinschlüssen, oft mit beweglicher Libelle, die Amphibolsäulchen, Biotit-, Muscovit- und Chloritlamellen, Rutilnadelchen etc.) zeigen deutlich, dass bei weitem die Hauptmasse der Quarzkörner des holländischen Dünensandes aus Graniten oder Gneissen stammt. So gut wie vollständig fehlen in diesen Sanden die Quarzporphyr- oder Quarztrachytquarze mit ihren typischen dicken Einschlüssen und Einbuchtungen von trüber Grundmasse oder braunem Glase.

In der dritten Quarzgruppe (2,70—3,00) finden wir neben dem eigentlichen Quarz ziemlich viel trübe Körner von Quarzaggregaten, wie Kieselschiefer, Hornstein, Jaspis u. s. w., welche zwar chemisch hauptsächlich aus  $\text{SiO}_2$  bestehen, jedoch kein reiner Quarz sind.

Kalkspath. Schon im ursprünglichen Zustande braust der Dünensand erheblich, wenn er mit Salzsäure übergossen wird, was wohl hauptsächlich den schon mit blossem Auge leicht sichtbaren Fragmenten von Muschelschalen und Gehäusen von allerlei Seethieren zuzuschreiben ist.

Neben diesen leicht sowohl makro- als mikroskopisch erkennbaren Muschelschalenfragmenten findet man in der Gruppe 2,7—3,0 zahlreiche farblose Körner, welche ebenfalls lebhaft mit  $\text{HCl}$  brausen und auch wegen ihren anderen Eigenschaften deutlich als Kalkspath zu erkennen sind.

Zertrümmert man sie, so brechen sie zu scharfen Spaltungsstücken, deren ebenen Winkel den für das Hauptrhomboëder charakteristischen Werth von  $77^\circ$  besitzen. Ausserdem tritt die typische polysynthetische Zwillingsstreifung nach  $-\frac{1}{2}R(1012)$ , deren Richtung den Rhomboëderwinkel halbirt, auf; ferner die äusserst starke Doppelbrechung des Calcits (in Folge deren die dünnsten Spaltungslamellen noch das Weiss höherer Ordnung zeigten und kaum Farben erblicken liessen).

---

zu erkennenden Quarzvarietäten: a) den Granit- und Gneissquarz, b) den Schieferquarz, c) den Porphyquarz gut zu trennen. Ob sich hierzu noch eine vierte Varietät d) der Gangquarz, welcher sich durch milchweisse Farbe und Reichthum an Gas- und Flüssigkeitseinschlüssen unterscheidet, gesellt, ist fraglich. „Regenerirte Quarze“ habe ich im Dünensande nicht angetroffen.

Bei der chemischen Analyse war es selbstredend sehr leicht, die Menge des  $\text{CaCO}_3$  im Sande zu bestimmen (sie betrug in der von mir untersuchten Probe ca. 3 ‰). Die Trennung des Calciumcarbonates der Muschelschalen von dem des echten Calcits war jedoch leider unmöglich. — Bei langem Verweilen der Gruppe 2,7—3,0 in der THOULET'schen Flüssigkeit wurden die Muschelschalenfragmente braun gefärbt, die Kalkspathkörner blieben farblos. Vielleicht ist dies eine Folge einer Jodabscheidung in die in ersteren vorhandene organische Substanz.

Das reichliche Auftreten eines so weichen Minerals wie der Calcit im Dünenande ist jedenfalls höchst merkwürdig, besonders weil die Körner durchaus nicht kleiner sind als die des so viel härteren Quarzes. Die Herkunft dieses Kalkspaths glaube ich vorläufig in den vom Maasstrom durchlaufenen grossen Kalksteingebieten (sowohl carbonische als auch devonische) in Belgien suchen zu müssen<sup>1</sup>. Archaische Gebiete sind selten so reich an Kalkstein.

**Apatit.** Untersucht man die Körner der Amphibolgruppe (3,0—3,3) unter dem Mikroskop, so trifft man unter den zahlreichen braunen und grünen Amphibolen, Augiten, Turmalinen mehrere Körner eines weissen bis farblosen Minerals an, welches sich durch seine auffallend schwache Doppelbrechung (in den Körnern tritt fast nur Weiss bis Grau 1. Ordnung, nur im dickeren Centrum Gelb auf) auszeichnet.

Die Vermuthung, dass dies Apatit sei<sup>2</sup>, wurde vollkommen durch den mikrochemischen Nachweis der Phosphorsäure mittelst Salpetersäure und Ammoniummolybdat, wobei die charakteristischen gelben regulären Kryställchen des Phosphormolybdats entstanden, sichergestellt.

<sup>1</sup> Ich brauche wohl kaum zu betonen, dass alle Kalkspathe des Dünenandes vollkommen allothigen sind, weil alle Körner desselben abgerundet sind. Neubildung von Calcit findet im Dünenande nicht statt.

<sup>2</sup> Apatitkörner im Meeressande wurden schon im Jahre 1876 von UZIELLI in dem Meeressande Westitaliens entdeckt. Sie sollen sogar für die Sande des Golfes von Neapel und der Insel Ischia charakteristisch sein (Atti R. Accad. Lincei. 3. 1876; dies. Jahrb. 1877. -303-). — Auch THÜRACH (l. c. 50) wies Apatitkörner in Sandsteinen und Flusssanden nach. Sogar im Löss kommen sie vor. — ARTINI fand Apatitkörner im Tessinsande.

Auch das fast ausschliessliche Vorkommen in der Amphibolgruppe (3,0—3,3) ist vollkommen mit dem spec. Gew. 3,2 des Apatits im Einklang.

Auffallend ist die Grösse der Apatitkörner (die auch nicht kleiner sind als die Quarzkörner), weil man dies Mineral gewöhnlich als mikroskopische Säulchen im Gestein antrifft. Es sei jedoch daran erinnert, dass STELZNER<sup>1</sup> aus sächsischen Graniten und Gneissen ziemlich grosse Körner und Eier von Apatit isolirte und analysirte. Es wird deshalb dieses Mineral wohl bedeutend reichlicher im krystallinischen Urgebirge auftreten, als man gewöhnlich annimmt.

Die Apatitkörner sind gewöhnlich ideal rein. Nur ausnahmsweise traf ich einige farblose, sehr stark licht- und doppelbrechende Säulchen als Einschluss an, die wohl zweifelsohne aus Zirkon bestanden<sup>2</sup>.

Amphibol. Hornblendekörner sind so äusserst zahlreich im Dünensande, dass der Amphibol eines der Hauptminerale desselben bildet.

Man trifft Hornblendekörner von allerlei Farbe an. Neben der gewöhnlich dunkelgrünen und braunen Hornblende treten blassgrüner Aktinolith, blaugrüner Smaragdit, ja sogar, wenn auch sehr selten, der indigoblaue Glaukophan auf<sup>3</sup>.

Recht charakteristisch zeigen sich alle die Amphibolkörner nach der Zertrümmerung. Die prismatische Spaltbarkeit lieferte zahlreiche geradlinig umgrenzte Spaltungslamellen, an

---

<sup>1</sup> A. STELZNER, Über die Zusammensetzung des in Gneiss und Granit auftretenden Apatits. Dies. Jahrb. 1889. 1. 265.

<sup>2</sup> Das Vorkommen sowohl des Apatits als auch des Orthoklases im Dünensande ist von Bedeutung für seine Fruchtbarkeit, welche man ihm eben durchaus nicht ganz absprechen sollte (was berechtigt wäre, wenn er nur aus reinen Quarzkörnern bestände). Das Bestehen sowohl der dürftigen Vegetation des Helmgrases (für die so wichtige Verhinderung des Zerstäubens der Sande), als auch das Gelingen der schon seit längerer Zeit vorgenommenen ertragreicheren Bepflanzung der Dünen Hollands mit Coniferen (Fichten und Tannen), welche beiden Pflanzenarten ohne jede Düngung im Sande wachsen, finden wahrscheinlich in dem geringen Kali- und Phosphorsäuregehalte des Dünensandes ihre Erklärung.

<sup>3</sup> Glaukophankörner traf auch H. THÜRACH im oligocänen Sande von Bergh in Belgien als grosse Seltenheit an (l. c. 77).

denen sich die Auslöschungsschiefe messen liess; sie betrug bald 12—13°, bald 17—18°, erreichte jedoch niemals den hohen Werth der Augite.

Haupteigenschaft war der starke Pleochroismus und die starke Absorption. An den länglichen Körnern (abgerundeten Säulen) konnte man fast immer constatiren, dass das Maximum der Absorption mit der Elasticitätsaxe *c* zusammenfällt, was bekanntlich für fast alle Amphibolvarietäten zutrifft. Zwillinge nach (100) treten einige Male auf.

Turmalin. Dieser bildet eines der wichtigsten Dünen-sandmineralien. Obwohl er bekanntlich fast immer accessorisch in Gesteinen auftritt, ist die grosse Härte ( $H. = 7-8$ ), der Mangel an deutlicher Spaltbarkeit und das Widerstandsvermögen gegen chemische Angriffe wohl Ursache, dass der Turmalin sich so reichlich im Sande anhäuft<sup>1</sup>.

Das spec. Gew. 3,0—3,3 der Turmaline ist Ursache, dass sie meistens in der Amphibolgruppe (3,0—3,3) auftreten, obwohl mehrere Körner auch in den beiden Nachbargruppen zu finden sind. Sie fallen durch ihre eigenthümliche braunviolette Färbung und ihren ausserordentlich starken Dichroismus und Absorption (blassbraun bis schwarzviolett) rasch ins Auge. Möchte man bei einzelnen Körnern zweifeln, ob Turmalin oder ob Hornblende vorliegt, so genügt eine einfache Zertrümmerung im Achatmörser: die unregelmässigen Splitter des ersten sind vollkommen abweichend von den geradlinig umgrenzten Spaltungslamellen der zweiten.

Obwohl die Form der Turmalinkörner gewöhnlich eine runde ist, kommen auch einige längliche Körner vor. An einer dieser abgerundeten Säulen konnte ich noch deutlich Hemimorphie erkennen, indem die eine Endigung von dem

---

<sup>1</sup> Auf den Reichthum der meisten Sande an Turmalinen machte 1880 schon A. WICHMANN (Turmalin als authigener Gemengtheil in Sanden. Dies. Jahrb. 1880. 2. 294) aufmerksam. THÜRACH, welcher auch im Main- und Edersand (l. c. 79) den Turmalin nachwies, bezweifelt die Neubildung des Turmalins in Sanden und Sandsteinen, weil er immer in stark abgerollten Körnern vorkommt (l. c. 44). SORBY wies den Turmalin in englischen Meeressanden, M.-LÉVY in französischen und ARTINI in italienischen Flusssanden nach. Man kann behaupten, dass fast kein Sand oder Sandstein turmalinfrei sein wird.

Hauptrhomboëder, die andere von einem stumpfen Rhomboëder ( $-\frac{1}{2}R$ ) (I012) gebildet war.

Die Turmalinkörner sind gewöhnlich ideal rein. Sehr selten treten in ihnen scharfe Zirkonsäulchen mit pyramidalen Endigung auf. Bisweilen treten auch blassbraune Rutil- und Sagenitnadelchen auf.

Weil der Turmalin fast ausschliesslich als accessorisches Mineral der Granite, Gneisse etc. auftritt, ist sein reichliches Vorkommen im Dünensand ein Beweis für die archaische Abstammung dieses letzteren<sup>1</sup>.

Pyroxen. Augitkörner sind äusserst reichlich im Dünensande vertreten<sup>2</sup>, so dass sie grösstentheils leicht in eine besondere Gruppe (3,3—3,6) zu vereinigen sind.

Bei weitem die Hauptmasse der Pyroxenkörner gehört zu den gewöhnlichen bouteillegrünen Augiten. Es kommen sowohl dunkelgrüne gemeine Augite, als auch blassgrüne bis fast farblose Diopside oder diopsidähnliche Augite vor; ja es scheint sogar die blassgrüne Varietät reichlicher vertreten zu sein, als die dunkelgrüne. Es mag das wohl damit zusammenhängen, dass die Augitkörner des Dünensandes nicht oder nur höchst untergeordnet aus Basalten stammen, sondern eher aus den augitführenden krystallinischen Schiefern des Urgebirges.

Abweichend gefärbte Augite, z. B. gelbe und braune, kommen viel seltener vor. Einigemal beobachtete ich Körner, welche halb aus grünem, halb aus braunem Augit bestanden, welche beide jedoch gleichzeitig auslöschten.

Die gelben Augitkörner, welche leicht mit den gelben Epidotkörnern zu verwechseln sind, kann man durch ihre bedeutend schwächere Doppelbrechung von letzteren unterscheiden, ein Unterschied, welcher besonders in den Zertrümmerungssplittern hervortritt.

<sup>1</sup> Ich brauche wohl nicht besonders zu betonen, dass aller Turmalin im Dünensande entschieden allothigen ist und dass authigener Turmalin hierin nicht vorkommt, wie denn überhaupt kein einziges authigenes Mineral im Dünensande vorkommt.

<sup>2</sup> Man kann, wie ich bereits vorhin erwähnte, am Strande die grünen Augitkörner neben den rothen Granat- und schwarzen Eisenerzkörnern, wenn in Pfützen eine Art Aufbereitung des Meeressandes in kleinem Maassstabe stattgefunden hat, schon leicht mit blossen Auge unterscheiden.

Zahlreiche Augite zeigen noch ihre ursprüngliche Säulenform, indem sie längliche Körper bilden. Die Auslöschungsschiefe ist immer sehr gross, so dass man sie diagonal zwischen den gekreuzten Nicols stellen muss, ehe Auslöschung eintritt. Nur bei wenigen tritt eine genügend scharfe Längsseite auf, um die Auslöschungsschiefe zu messen. Ich fand Werthe von  $40^{\circ}$ ,  $42^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ .

An Einschlüssen sind die Augitkörner gewöhnlich arm; nur wenige führen Apatitnadelchen und Eisenerzkörner.

Die Hauptmasse der Pyroxenkörner gehört zu den monoklinen, nicht- (oder schwach-) pleochroitischen Augiten. Rhombischer Pyroxen kommt sehr selten vor. Nur in vereinzelt Fällen konnte ich deutlich ein Hypersthen-Korn (pleochroitisch von braun bis grün mit nur geringer Absorptionsdifferenz) auffinden.

Epidot. Sowohl in der Pyroxen- als auch in der Amphibolgruppe ziehen lebhaft citronengelbe Körner die Aufmerksamkeit auf sich. Sie kennzeichnen sich ausser durch diese charakteristische Farbe durch ihre übrigen optischen Eigenschaften (starke Licht- und Doppelbrechung und lebhaften Pleochroismus) unzweifelhaft als Epidot.

Ihrem spec. Gew. (3,3—3,5) nach gehören sie hauptsächlich in die Pyroxengruppe.

Für Epidot gilt dasselbe wie für Turmalin: Obwohl kein wesentliches, sondern nur ein accessorisches Gesteinsgemengtheil, sind seine grosse Härte und sein chemisches Widerstandsvermögen Ursachen, dass sich seine Körner in den Sanden anhäufen.

Zwar ist das typische Grüngelb (Citronengelb, Kanariengelb) für die meisten Epidotkörner charakteristisch, es treten jedoch auch sehr blassgelbe bis blassgrüne Epidotkörner auf, welche wahrscheinlich eisenärmer sind als die tiefgelben.

Der Pleochroismus ist meistens sehr ausgesprochen: tiefgelb bis fast farblos. Ausserdem ist er an seinen breiten Randschatten, welche erst in Jodmethylen verschwinden, und an den lebhaften Interferenzfarben, welche sogar in den dünnsten Splintern auftreten, von den gelben Augiten, mit welchen er sonst verwechselt werden kann, leicht zu unterscheiden.

Einschlüsse sind sehr selten und bestehen hauptsächlich

aus Flüssigkeiten mit Gasbläschen und einzelnen farblosen Quarzflecken<sup>1</sup>.

**Titanit.** Die reichliche Verbreitung des Titanits in Hornblendegesteinen lässt wegen des Amphibolreichthums des Dünensandes auch einen Gehalt an dem ersten Mineral erwarten. Es gelang mir auch in der Pyroxengruppe (in welche das Mineral wegen seiner Dichte 3,4—3,6 gehört) einige blassgelbbraune, pleochroitische Titanitkörner anzutreffen. Sie können jedoch leicht mit den braunen Staurolithkörnern verwechselt werden, weil die charakteristische Keilform der Sphenkrystalle (an welcher sie leicht in Dünnschliffen zu erkennen sind) hier natürlich fehlt. Nur durch die bedeutend schwächere Doppelbrechung des Titanits lässt er sich vom Staurolith unterscheiden.

**Sillimanit (Fibrolith).** Sowohl in der Amphibol- als auch in der Pyroxengruppe trifft man bisweilen Körner an, welche aus feinfaserigen Aggregaten lebhaft polarisirenden Sillimanits (Fibroliths) bestehen. Derartige Sillimanitaggregate bilden bekanntlich im Gneiss und im kystallinischen Schiefer Linsen und Knauer, welche wegen ihrer grossen Härte und Zähigkeit der Corrosion widerstehen und sich in Sanden anhäufen müssen<sup>2</sup>.

Für den Hinweis auf die archaische Herkunft des Dünensandes sind auch diese Fibrolithkörner werthvoll.

**Olivin.** In der Pyroxengruppe kommen einige wenige farblose bis blassgelbe Körner vor, welche durch ihr äusserst starkes Relief (runzelige Oberfläche) und ungewöhnlich lebhaftige Doppelbrechung die des Augits weit übertreffen und den Eindruck von Olivin machen. Eine Erhitzung derselben mit starker HCl und Tränkung der gebildeten Kieselgelatine mit Fuchsin bewies, dass es wirklich Olivin war und nicht etwa blassgelber Epidot oder Augit.

Die Zahl der Olivinkörner ist jedoch im Dünensande äusserst gering<sup>3</sup>.

Was den Ursprung desselben betrifft, so ist es nicht

<sup>1</sup> Epidotkörner traf ARTINI im Tessinsande an.

<sup>2</sup> Titanit und Sillimanit wies auch ARTINI im Tessinsande nach.

<sup>3</sup> Olivinkörner traf MICHEL-LÉVY in Flusssanden Frankreichs und UZIELLI im Meeressande Westitaliens an.

leicht zu sagen, ob er dem deutschen basaltischen Olivin angehört und vom Rhein nach Holland geführt worden ist, oder von archaischer Herkunft ist. Bekanntlich fehlen olivinreiche Gesteine in der archaischen Formation nicht und sind schon mehrmals in Skandinavien nachgewiesen worden.

Granat. Dies Mineral ist nach Quarz das im Dünensande reichlichst vertretene, indem es fast  $2\frac{1}{2}\%$  des Gesamt-sandes bildet.

Betrachtet man die zwischen den Grenzen 3,6 und 4,2 abgeschiedene Gruppe u. d. M., so besteht sie fast ausschliesslich aus blassrothen Granatkörnern, verunreinigt durch einige farblose Spinelle und braune Staurolithe.

Sie sind isotrop und stark lichtbrechend. Obwohl gewöhnlich stark abgerundet, sind bisweilen noch deutliche Reste der ursprünglichen Rhombendodekaëderflächen zu beobachten.

Die oft ganz fehlenden, oft reichlich vorhandenen Einschlüsse der Granatkörner, welche man am besten nach Benetzung der Körner in Jodmethylen beobachtet, bestehen aus Rutilnadeln, Apatitsäulchen, Zirkonkryställchen, Magnetitkörnern etc. Oft sind die Einschlüsse tangential geordnet.

Die blassrothe Farbe der Granaten des Dünensandes weist auf ihre Zugehörigkeit zum Almandin (Ferrogranat) hin, was auch durch die chemische Analyse bewiesen wurde und überhaupt schon von vornherein wahrscheinlich war, da der Almandin die petrographisch wichtigste Granatvarietät darstellt.

Die ganz dunkelrothen Pyrope (welche für Flusssande der Serpentinegebiete, z. B. des böhmischen, charakteristisch sind) habe ich im holländischen Dünensand nicht beobachtet.

Sehr selten traf ich fast oder ganz farblose Granate an, welche dem fast eisenfreien Grossular (Kalkgranat) angehören dürften. Wegen ihrer geringen Dichte treten sie mehr in der Pyroxengruppe auf.

Noch seltener sind die dunkelbraunen, fast schwarzen Melanitkörner (Ferrigranat), welche wegen ihrer grossen Dichte (bis 4,3) mehr in der Rutilgruppe zu finden sind. Erst die durch ihre Zertrümmerung im Achatmörser entstandenen Splitter liessen genug Licht durch, um sich von ihrer Isotropie zu überzeugen.

Die grosse Härte (H. = 7), der Mangel an Spaltflächen

und das grosse chemische Widerstandsvermögen, machen es begreiflich, dass sich der Granat, der doch immerhin ein accessorisches Gesteinsgemengtheil bildet, so reichlich im Dünensande vorkommt<sup>1</sup>.

Für die Frage nach der Herkunft des Dünensandes ist das reichliche Auftreten des Granats wieder höchst wichtig, indem dies deutlich auf Granite, Gneisse und krystallinische Schiefer weist<sup>2</sup>.

Staurolith. In der Pyroxen- und Granatgruppe kommen zahlreiche Körner und abgerundete Fragmente eines dunkelbraunen, stark dichroitischen (dunkelbraun bis blassgelb), lebhaft licht- und doppelbrechenden Minerals vor. — Von braunen Hornblendekörnern unterscheidet sich der Staurolith sofort nach der Zertrümmerung. Ausserdem durch sein viel grösseres spec. Gew. (3,4—3,7).

Härte (H. = 7—8) und chemisches Widerstandsvermögen machen den Staurolith zu einem fast unverwüstlichen Mineral. Folge beider Eigenschaften ist auch wohl die grosse Zahl der noch ziemlich scharfeckigen Fragmente derselben im Dünensande<sup>3</sup>.

Der Staurolith bildet auch wiederum eines der charakteristischen Mineralien des Urgebirges.

Disthen. Die zahlreichen Staurolithkörner im Dünensande machen auch das Vorkommen dessen bekannten Begleiters im Glimmerschiefer, des Disthens, sehr wahrscheinlich. Wegen der Dichte (3,5—3,7) ist derselbe eher in der Pyroxen-

<sup>1</sup> Granat wies MICHEL-LÉVY in französischen, ARTINI in italienischen, THÜRACH in deutschen Flussanden (l. c. 79) nach. Auch in Sandsteinen kommt er fast immer vor (THÜRACH l. c. 77, 78). Granat kann man also als einen der nie fehlenden Bestandtheile aller Sande betrachten.

<sup>2</sup> Zwar fehlen die Granate nicht ganz im Eruptivgesteine; diese Art des Auftretens ist jedoch bekanntlich verschwindend gegenüber der im Urgebirge.

<sup>3</sup> THÜRACH (l. c. 46—47) wies die grosse Verbreitung des Stauroliths in tertiären und cretaceischen Sanden und Mergeln nach. Die tertiären Sande Belgiens und des Pariser Beckens enthalten ihn, der Maastrichter Kreidestuff ist sogar sehr reich daran. Im Flussande des Mains und der Kinzig war der Staurolith bald selten, bald häufig. THÜRACH (l. c. 80) schreibt dem Staurolith sogar eine besondere Bedeutung zu für Schlüsse auf die Abstammung der Mineralkörner in Sanden. Auch im Wüstensande der Sahara traf derselbe Forscher den Staurolith an (l. c. 48).

als in der Granatgruppe zu suchen. Wirklich trifft man in der ersten Gruppe mehrmals farblose Körner an, welche deutlich parallele Spaltungsdurchgänge zeigen, während eine zweite, weniger entwickelte Spaltungsrichtung ungefähr senkrecht auf der ersten steht. Die Körner sind nicht rund, sondern bilden eher flache, rechteckige Blättchen mit abgerundeten Ecken.

Die lebhaften Polarisationsfarben, besonders aber die schiefe Auslöschung (ca.  $30^\circ$ ) mit Bezug auf die am stärksten entwickelte Spaltungsrichtung, lassen für die Deutung als Disthen keinen Zweifel übrig.

Dass der Disthen wegen seiner vollkommenen Spaltbarkeit ungeachtet seiner Härte ( $H. = 7$ ) nur untergeordnet im Dünensande vorkommt<sup>1</sup> (besonders verglichen mit dem häufigen Auftreten seines Begleiters, des Stauroliths), ist wohl nicht zu verwundern.

Für die archaische Herkunft der Dünensand-Mineralien ist der Disthen wiederum ein schlagender Beweis.

Korund. Farblose, durch zahlreiche undurchsichtige Einschlüsse getrübe Körner in der Granatgruppe kann ich wegen der auffallenden Übereinstimmung mit Smirgelkörnern für nichts anderes als für Korund halten. Das hohe spec. Gew. (3,9—4,0), wodurch sie in der Granatgruppe vorkommen, wie die blassen Polarisationsfarben machen die Deutung als Korund fast absolut sicher.

Die ungewöhnliche Härte ( $H. = 9$ ) und das chemische Widerstandsvermögen machen den Korund so zu sagen unverwundbar, so dass sein Vorkommen im Dünensande uns nicht zu verwundern braucht<sup>2</sup>.

Spinell. Unter den zahlreichen blassrothen Granatkörnern der Granatgruppe findet man einige vollkommen farblose bis blassbraune noch ziemlich scharfe Oktaëder, die keine

---

<sup>1</sup> Im Fluss- und Meeressande der Bretagne (Insel Groix) tritt der Disthen nach MICHEL-LÉVY auf (Minéralogie micrographique 1879. 461). Neuerdings wird von A. E. NORDENSKJÖLD (Geol. Fören. i Stockholm Förh. 13. 297. 1891; dies. Jahrb. 1893. 2. -13-) der Sand des Flusses Paswig an der Grenze zwischen Norwegen und Russland als disthen- und granatführend erkannt. Besonders interessant ist dieser Flusssand wegen der darin entdeckten Diamanten. — ARTINI fand Disthen im Tessinsande.

<sup>2</sup> MICHEL-LÉVY wies im Sande des Mesvrin blaue Sapphirkörner nach.

andere Deutung als Spinell zulassen. Sie sind vollkommen isotrop.

Die dunkelgrünen, eisenreichen Spinelle (Pleonast, Hercynit), welche bekanntlich bisweilen in Gneissen und Granuliten vorkommen<sup>1</sup>, konnte ich weder in der Granat- noch in der Rutilgruppe, in welchen sie zu erwarten wären, antreffen<sup>2</sup>.

Rutil. Bringt man die aus dem mit Jod und Jodoform gesättigten Jodmethylen gesunkene unreine Granatgruppe in die schwach wasserhaltige Thalliumsilybernitratschmelze, in welcher man einen grossen Rutilkrystall zum Schweben gebracht hat (also Dichte ungefähr 4,2), so bildet sich ein kleiner Niederschlag, welcher aus den allerschwersten Mineralkörnern des Dünensandes besteht.

Schmilzt man — wie ich früher angegeben<sup>3</sup> — den untersten Theil der erstarrten Schmelze ab, so kann man diese kleine schwere Gruppe isoliren und, nach genügendem Auskochen mit reinem Wasser, untersuchen.

U. d. M. besteht sie hauptsächlich aus Rutil-, Zirkon- und Eisenerzkörnern. Sie enthält sowohl mineralogisch als auch chemisch die interessantesten Minerale des Dünensandes.

Da ihre Menge, besonders mit Rücksicht auf ihre detaillirte chemische Untersuchung, sehr klein ist, thut man besser, sie aus einer ziemlich grossen Menge des Dünensandes, z. B. 1 kg, abzuschneiden. Man entfernt rasch die Hauptmasse der Quarze in THOULET'scher Lösung, bringt den Rest der Körner nach Reinigung mit heissem Wasser sofort in die vorher auf Rutildichte gebrachte  $\text{TlAgN}_2\text{O}_6$ -Schmelze und erhält so rasch die erwünschte Menge der schwersten Mineralien.

Die drei Minerale lassen sich — allerdings nicht sehr vollkommen — mittelst  $\text{TlAgN}_2\text{O}_6$ -Schmelzen von 4,4 (Zirkondichte) und von 4,9—5,0 in drei Gruppen trennen. Auf

<sup>1</sup> E. KALKOWSKY, Über Hercynit im sächsischen Granulit. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 33. 533. 1881; dies. Jahrb. 1882. 2. - 385-.

<sup>2</sup> Nach THÜRACH (l. c. 48) kommt der schwarzbraune, fast undurchsichtige chromhaltige Spinell (Picotit) mehrfach in Sandsteinen vor, dagegen hat er keine echte (farblose oder grüne) Spinelle im Sedimentärgesteine antreffen können.

<sup>3</sup> Dies. Jahrb. 1893. 1. - 93-.

diese Weise erhält man eine Rutilgruppe, eine Zirkongruppe und eine Eisenerzgruppe.

Die Rutilgruppe enthält — wie jede der Dünensandgruppen — immer einige Mineralien der beiden Nachbargruppen, ist also durch Granaten (besonders die schwersten, eisenreichsten) und Zirkon verunreinigt.

Die Rutilkörner selbst sind an ihrer rothbraunen bis gelbbraunen Farbe und dem ungewöhnlich hohen Brechungs-exponenten ( $n = 2,76$ ) unzweifelhaft zu erkennen. Nicht bloss in Jodmethylen, sondern sogar in Phosphor, verlieren sie nicht völlig ihre Randschatten, obwohl sie in letzterem Medium bedeutend durchsichtiger werden<sup>1</sup>.

Auch chemisch lässt sich sowohl durch Lösen der Rutilkörner in der Phosphorperle als auch durch die SCHÖNN'Sche Reaction (Schmelzen mit  $\text{KHSO}_4$  und Zufügen von Wasserstoffsuperoxyd zu der wässerigen Lösung) leicht der Titan-gehalt dieser Körner nachweisen.

Das Vorkommen des Rutils in Graniten, Gneissen, Granuliten, Eklogiten, Glimmerschiefern etc. ist bekanntlich in Gestalt dunkelbraunrother Körner<sup>2</sup>. Obwohl das Mineral in Eruptivgesteinen durchaus nicht fehlt, ist die Herkunft des Dünensandrutils aus dem Urgebirge viel wahrscheinlicher<sup>3</sup>.

Anatas habe ich im Dünensande nicht entdecken können,

<sup>1</sup> Dies. Jahrb. 1893. 2. 132.

<sup>2</sup> Die rothen Rutilkörner, z. B. der Eklogite und Granulite, sind bekanntlich früher oft für rothen Zirkon (Hyacinth) gehalten worden (wie denn überhaupt oft beide Minerale verwechselt worden sind. ROSENBUSCH'S Mikr. Phys. d. Minerale. 3. Aufl. 356. 1892), bis A. SAUER (dies. Jahrb. 1879. 569) sie zuerst richtig als Rutil deutete, was später von mehreren Forschern (u. a. auch von H. THÜRACH, Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanminerale 1884. 15) bestätigt wurde. Die Thatsache, dass im Dünensande die rothen Körner fast immer deutlich leichter sind als die farblosen Zirkonkörner, spricht auch offenbar für die Deutung der ersteren als Rutil, welche immer eine geringere Dichte besitzt als der Zirkon. Insoweit ist dies eine Bestätigung der heutigen Auffassung.

<sup>3</sup> Auf die grosse Verbreitung des Rutils (welche der des Zirkons kaum nachsteht) in Sandsteinen machte THÜRACH (l. c. 19) aufmerksam. Auch in Flusssanden (Main, Eder) kommen häufig Rutilkörner vor. — ARTINI fand Rutil im Tessinsande.

was wegen seines Auftretens in zarten Täfelchen auch wenig wahrscheinlich ist<sup>1</sup>.

**Zirkon.** Die Zirkongruppe besteht neben vielen Rutil- und Eisenerzkörnern hauptsächlich aus Zirkonkörnern oder eher Krystallen, denn während die meisten Dünensandminerale infolge des Transportes durch Wasser und die kräftige gegenseitige Abnützung der Körner unter der Einwirkung des Windes stark abgerundet sind, hat der Zirkon wegen seiner grossen Härte (H. = 7—8) seine ursprüngliche Form behalten und tritt in schönen, flächenreichen Krystallen auf<sup>2</sup>. Sie sind meistens säulenförmig; der spitz-pyramidale Typus kommt selten vor. Meistens treten quadratische Prismen mit pyramidalen Endigung auf. Das Protoprisma ist oft durch schmale Flächen des Deutero-Prismas abgestumpft, die Endigung ist gewöhnlich die Hauptpyramide (111), doch fehlt auch die spitze ditetragonale Pyramide (131) selten.

Gewöhnlich sind nur die Spitzen und Ecken der Krystalle abgerundet, die Krystallflächen dagegen sehr gut erhalten.

Die Zirkone sind meistens farblos, jedoch kommen auch einzelne blassgelbe oder blassbraune vor.

Die merkwürdigen und charakteristischen Einschlüsse in

---

<sup>1</sup> THÜRACH (l. c. 34) wies den Anatas in vielen Sandsteinen nach, aber erklärte ihn bestimmt für eine Neubildung, weil die dünnen, blau durchscheinenden Tafeln wunderschön klar und scharf ausgebildet sind, ohne die geringste Spur von Abrollung. Da ausserdem der Anatas eine nur geringe Härte besitzt und auch in Kalksteinen und Kieselhölzern in scharfen Krystallen vorkommt (l. c. 35), ist hieran wohl nicht zu zweifeln. Ich habe im holländischen Meeressande bis jetzt vergeblich nach den blauen Anatastafeln gesucht. Auch Brookit, welcher nach THÜRACH (l. c. 38) nur in dünnen Tafeln, jedoch oft stark abgerollt, in Sedimentärgesteinen vorkommt, habe ich im Dünensande nicht sicher nachweisen können.

<sup>2</sup> Neben dem Zirkon kommen, wie schon vorhin erwähnt, auch Spinell, Magnetit und oft sogar Granat mit deutlich erhaltenen Krystallflächen vor; die beiden ersten bilden Oktaëder, der letzte Rhombendodekaëder. An den anderen Mineralien ist zwar mehrmals die ursprüngliche säulenförmige Gestalt an den länglichen Körnern erhalten (wie bei Hornblende, Apatit, Turmalin etc.), fast niemals sind jedoch die ursprünglichen Krystallflächen vorhanden (nur bei Turmalin liess sich noch ausnahmsweise rhomboëdrische Endigung beobachten). Hier ist jedoch nicht zu vergessen, dass viele Minerale, wie z. B. der Quarz, viele Granate, der Apatit, der Rutil etc. im ursprünglichen Gestein nicht als Krystalle, sondern als Körner vorkommen, wie uns die Untersuchung der Dünenschliffe gelehrt hat.

Zirkon (farblose bis braune Glastropfen, Apatitsäulchen, Rutilnadeln etc.), welche so ausführlich von CHRUSTSCHOFF<sup>1</sup> und THÜRACH<sup>2</sup> beschrieben sind, kommen ebenso wie die eigenthümliche Schalenstructur (concentrische Schalen durch dünne Glashäutchen getrennt) reichlich vor.

Wegen der ungewöhnlich starken Lichtbrechung ist eine Beobachtung in Jodmethylen oder Phosphor wünschenswerth, um die Einschlüsse gehörig zu studiren.

Die starke Doppelbrechung (nur die dünnsten Splitter zeigen Farben) und die parallele Auslöschung der Säulen sind in Übereinstimmung mit den Eigenschaften dieses Minerals.

Auch mikrochemisch (Schmelzen mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  und Auslaugen mit  $\text{HCl}$ ) liess sich die Gegenwart der Zirkonerde an den zurückbleibenden hexagonalen Blättchen nachweisen<sup>3</sup>.

Magnetit. Die schwersten Minerale des Dünensandes bestehen aus den beiden Eisenerzen Magneteisen und Titan-

<sup>1</sup> K. v. CHRUSTSCHOFF, TSCHERMAK's Miner. u. petrogr. Mitth. 7. 423. 1886.

<sup>2</sup> H. THÜRACH, Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanminerale in den Gesteinen. Würzburg 1884. 9—10.

<sup>3</sup> Scharfe, wenig abgerollte Zirkonkrystalle in Flussanden sind schon sehr lange bekannt. Abgesehen von dem alther berühmten reichlichen Auftreten derselben (zusammen mit Spinell und Rubin) in den Flüssen Ceylons, waren Zirkonpyramiden bekannt im Sande eines Baches bei Expailly, unweit Puy in der Auvergne (HAÛY, *Traité de Minéralogie*. 2. 300. 1822). Diese waren bereits 1778 an Faujas de Saint-Fond bekannt (ROMÉ DE L'ISLE, *Cristallographie*. 2. 288. 1783). Noch viel früher waren jedoch schon polnische, böhmische und schlesische Zirkonkrystalle als Bachgerölle bekannt (ROMÉ DE L'ISLE, *Cristallogr.* 1772. p. 235; id. 1783. 2. 302). — DAUBRÉE wies im Jahre 1846 Zirkonkrystalle im Rheinsande nach (*Sur la distribution de l'or dans la plaine du Rhin. Annales des Mines*. [4.] 10. 23. 1846) und später im Jahre 1852 im Moselsande bei Metz (dies. *Jahrb.* 1852. 863). UZIELLI wies im Jahre 1876 das reichliche Auftreten von Zirkonkrystallen in den Meeressanden Westitaliens nach. MICHEL-LÉVY im Jahre 1878 in dem Sande des Flusses Mesvrin in Frankreich und schliesslich zeigte H. THÜRACH in seiner bekannten Arbeit die ungeheure Verbreitung des Zirkons in allen möglichen Gesteinen, sowohl eruptiven als auch sedimentären. In Flussanden wies er den Zirkon noch im Main und an der Eder nach (l. c. 3 u. 79). Auch ARTINI fand schöne Zirkonkryställchen im Sande des Tessinflusses. Man wird dreist behaupten können, dass es wohl kaum einen Sand oder einen Sandstein geben dürfte, welche zirkonfrei wäre. (Allgemein bekannt ist, dass ALEXANDER v. HUMBOLDT auf seiner südamerikanischen Reise (1799) im Sande des Choko-Flusses neben Gold und Platin auch Zirkone und Rutile antraf. HAÛY, *Tr. d. Min.* 3. 229. 1822.)

eisen, welche sich aus geschmolzenem wasserfreiem  $TiAgN_2O_6$  absetzen.

Da die beiden Eisenerze in sehr verschiedenem Grade magnetisch sind, lässt sich mittelst eines schwachen Magneten leicht der reguläre Magnetit von dem hexagonalen Ilmenit trennen. Am besten umwickelt man das Ende des Stabmagneten mit ganz dünnem Papier möglichst glatt, wühlt damit einige Male in dem Eisenerze und lässt durch geringe Fortschiebung der Papierhülse das angezogene Erz auf einen Bogen weissen Papiers fallen.

Betrachtet man das auf diese Weise erhaltene reine Magneteisen u. d. M. bei auffallendem Lichte, so erblickt man Körner mit lebhaft stahlblauem Metallglanz. Sehr oft trifft man gut erhaltene Oktaëder an, deren Ecken und Kanten sich allein gerundet haben, deren Flächen dagegen stark glänzen. Das Rhombendodekaëder tritt manchmal als Kantenabstumpfung, selten als selbstständige Form (leicht an der Rautenform der Flächen zu erkennen) auf. An zertrümmerten Körnern lässt sich der charakteristische muschelige Bruch deutlich beobachten.

Dass das Magneteisen kein reines  $Fe_3O_4$  war, sondern manchmal  $TiO_2$  enthielt, liess sich durch Schmelzen mit  $KHSO_4$  und Kochen der verdünnten wässerigen Lösung leicht nachweisen.

Der Magneteisengehalt des Dünensandes beträgt ungefähr  $0,05\%$ <sup>1</sup>, ist also, obwohl leicht nachzuweisen, sehr gering. Es ist bekanntlich ein ziemlich hartes (H. = 6—7) und, obwohl ein Oxyd, ein (besonders chemisch) sehr widerstandsfähiges Mineral<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Wie ich schon vorhin erwähnte und auch später zeigen werde, ist der Magnetitgehalt des Dünensandes am genauesten durch Auskochen mit concentrirter Salzsäure und Bestimmung als  $Fe_2O_3$  zu ermitteln. Weder die Trennung nach der Dichte, noch das Anziehen des Erzes mittelst des Magneten geben zuverlässige Werthe.

<sup>2</sup> Scharfe Magneteisen-Oktaëder (auch Dodekaëder) sind schon längst in Flusssanden nachgewiesen. Zuerst vielleicht durch CORDIER im Sande des Flusses von Expailly bei Puy in Frankreich, wo auch die vorhin erwähnten scharfen Zirkonkrystalle mit Granat- und Korundkörnern vorkommen (HAÜY. 3. 564. 1822). Fast immer sind die Magnetitoktaëder titanhaltig. Auch THÜRACH fand in fast allen von ihm untersuchten Sandsteinen und Sanden Magnetit.

Titaneisen. Das vom Magneten nicht angezogene Eisenerz besteht hauptsächlich aus Ilmenit. Die mikroskopische Beobachtung im auffallenden Lichte zeigt deutlich die von dem Magnetitoktaëder ganz abweichende Form der hexagonalen Blättchen, auch treten oft dickere Rhomboëder auf.

Auf die vorhin angegebene Weise lässt sich leicht der beträchtliche  $TiO_2$ -Gehalt nachweisen<sup>1</sup>.

Chromeisen habe ich nicht sicher nachweisen können<sup>2</sup>.

Als wichtigstes Resultat dieser mineralogischen Untersuchung des Dünenandes der Westküste Hollands glaube ich die unzweifelhafte Herkunft desselben aus dem krystallinischen Urgebirge hervorheben zu können. Der Meeressand besteht nicht<sup>3</sup> aus Körnern, welche die Flüsse (Rhein, Maas, Schelde) aus Deutschland, Frankreich und Belgien gebracht haben, sondern so gut wie sicher aus nordischem (skandinavischem und finländischem) Material. Ist das reichliche Vorkommen des-

<sup>1</sup> Titaneisenerz ist schon sehr oft in Flusssanden nachgewiesen, wo es zusammen mit Magneteisen vorkommt. DAUBRÉE (Ann. d. Mines. 10. 22. 1846) zeigte, dass die Eisenerzkörner im Rheinsande zur Hälfte mit einem Magneten ausziehbar waren (titanhaltiger Magnetit) und zur anderen nicht (Ilmenit). [Ob die zahlreichen blassrothen Körner, welche in dem schwersten Theile des Sandes dem Eisenerz beigemengt waren, wirklich aus Rosenquarz bestanden, wie DAUBRÉE angiebt, kommt mir äusserst fraglich vor, ich glaube vielmehr, dass sie aus Granat bestanden, besonders weil sie nach DAUBRÉE bedeutend schwerer waren als die Quarzkörner.] Berühmt wegen ihres ungeheuren Reichthums an Titaneisensand sind die Nebenflüsse des St. Lorenzstroms in Canada (NAUMANN-ZIRKEL, Mineralogie. 12. Auflage. 441. 1885). ARTINI beschrieb Ilmenitrhothoëder aus dem Tessinsande.

<sup>2</sup> THOULET (Bull. soc. min. 4. 267. 1881) will neben dem Magneteisen auf Grund der Durchsichtigkeit einiger dunkelbrauner Körner noch Chromeisenstein im Saharasand nachgewiesen haben. Ich erachte das für sehr unwahrscheinlich. Nicht bloss ist die hier so nothwendige Chromreaction in der Phosphorsalzperle von ihm nicht gemacht, sondern ausserdem ist der Chromit charakteristisch für Serpentinande und solche zeigt der Urboden der Sahara nicht.

<sup>3</sup> Oder wenigstens sehr untergeordnet. Unmittelbar an den Flussmündungen hat man natürlich sehr viel Flusssand. Auch wird dieser wegen der Meeresströmungen, welche der Küste entlang gehen, nördlich geführt werden. Es wird jedoch nur ein sehr geringer Procentsatz des Gesamtandes sein, welcher immer fast gänzlich aus dem Diluvialboden Hollands (der sicher nordischer Herkunft ist) herstammt.

selben in Holland durch den wiederholten Nachweis charakteristischer Eruptivgesteine (z. B. Ålandgranit, Rapakiwigranit, Rhombenporphyr, Kongadiabas etc.) und versteinерungsführender Gesteine (z. B. *Scolithus*-Sandstein, *Paradoxides*-Sandstein, *Pentamerus*-Kalk, *Chonetes*-Kalk etc.<sup>1</sup>) sowohl petrographisch als auch palaeontologisch bewiesen, so glaube ich hier auch auf rein mineralogischem Wege einen Beweis dieser Herkunft gegeben zu haben.

#### 4. Chemische Untersuchung des Dünensandes.

Auf die im vorigen Abschnitt beschriebene mineralogische Untersuchung des Dünensandes habe ich eine chemische folgen lassen. Obwohl sich das Ideal derselben, die Analyse jedes im reinen Zustande isolirten Minerals des Dünensandes, nicht erreichen lässt, weil ein solches Isoliren in einer zur quantitativen Analyse genügenden Menge bei den meisten Mineralen unausführbar ist, ist durch die Analysen der verschiedenen Mineralgruppen dennoch viel Einsicht in die chemische Zusammensetzung des Sandes zu erhalten.

Der Hauptzweck dieser chemischen Untersuchung war die bis jetzt übliche Bauschanalyse des Sandes durch eine Reihe Analysen der verschiedenen Gruppen zu ersetzen. — Wenn man im Auge behält, dass der Dünensand ca. 95 %  $\text{SiO}_2$  enthält, so dass für die 6—7 Basen nur ca. 5 % übrig bleiben, so ergibt sich, dass diese kaum in einer Bauschanalyse mit einer genügenden Genauigkeit zu bestimmen sind.

Entfernt man dagegen erst die Hauptmasse des Quarzes zwischen den sehr engen Dichtigkeitsgrenzen 2,60—2,70, wodurch ca. 85 % so gut wie absolut reiner Kieselsäure entfernt werden (nur unbestimmbare Spuren von Basen enthaltend), so kann man den Rest entweder zusammen zur Bauschanalyse verwenden oder den etwas umständlicheren, aber für die richtige Einsicht in die chemische Zusammensetzung des Sandes weit besseren Weg einschlagen: die verschiedenen Mineralgruppen jede für sich zu analysiren. Später

<sup>1</sup> Eine sehr vollständige Übersicht über die aus dem Norden Europas stammenden Findlinge in Holland giebt die wichtige Arbeit des Herrn J. L. C. SCHRÖDER VAN DER KOLK: Bijdrage tot de kennis der Verspreiding onzer kristallijne Zwervelingen. Leiden 1891.

lässt sich — wenn man das Gewicht jeder der Gruppen bestimmt hat — die totale Zusammensetzung des Sandes berechnen und man erhält hiermit genauere Resultate als durch die Bauschanalyse<sup>1</sup>.

Als ein besonders günstiger Umstand bei diesen Analysen darf noch hervorgehoben werden, dass die bei Silicaten gewöhnlich nöthige doppelte Aufschliessung (sowohl mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  als auch mit HFl) hier unnöthig ist, weil die Alkalien in den Amphibol-, Pyroxen- und Granatgruppen nicht oder höchstens sehr unbedeutend vorkommen, so dass sie vernachlässigt werden können. Da dagegen der Kaligehalt sich ziemlich vollständig in der leichtesten Quarz-Orthoklasgruppe (2,50—2,60) concentrirt, welche wegen dem Quarzreichtum doch hauptsächlich aus  $\text{SiO}_2$  besteht, so erfordert diese nur eine Aufschliessung mit HFl und Bestimmung des  $\text{K}_2\text{O}$  und der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Die übrigen Basen sind nur in Spuren vorhanden; der  $\text{SiO}_2$ -Gehalt berechnet sich aus der Differenz.

Wegen des (besonders im Vergleich zu dem Kalifeldspath) sehr geringen Betrages an Natronfeldspath, kann der Natrongehalt des Dünenandes vernachlässigt werden<sup>2</sup>, was insofern ein glücklicher Umstand ist, als dieser äusserst kleine  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt fast ganz in der reinen Quarzgruppe 2,60—2,70 enthalten ist, welche, wie vorhin gesagt, fast alle der wenigen

<sup>1</sup> Auch ist es als ein besonderer Vortheil der Gruppenseparation des Sandes zu betrachten, dass die in äusserst geringer Menge vorhandenen chemischen Stoffe, wie Phosphorsäure, Titansäure, Zirkonsäure, welche man fast unmöglich durch eine Bauschanalyse des Sandes würde nachweisen können, nach der Isolirung der Körner in Gruppen leicht qualitativ, ja sogar quantitativ zu bestimmen sind. Auch gilt das für Stoffe, wie Fluor und Bor, welche man zwar auch jetzt nicht bestimmen kann, welche jedoch als nie fehlende Bestandtheile der Apatit- und Turmalinkörner deutlich vorhanden sind.

<sup>2</sup> Es ist wohl unnöthig zu bemerken, dass der Sand erst im Wasser von dem immer vorhandenen Chlornatrium-Gehalt zu befreien ist. Eine absichtliche Reinigung zu diesem Zwecke ist jedoch insofern unnöthig, als durch die Trennungen in der THOULET'schen Lösung und die spätere Reinigung der Körner von anhaftenden Theilen dieser Flüssigkeit in heissem Wasser das  $\text{NaCl}$  von selbst verschwindet. Will man jedoch ganz genau operiren, so ist ein Auslaugen eines Theiles des Sandes mit destillirtem Wasser und Bestimmung des  $\text{NaCl}$ -Gehaltes mittelst  $\text{AgNO}_3$ -Lösung vorzunehmen. Der  $\text{NaCl}$ -Gehalt ist jedoch sehr gering und sehr wechselnd.

Plagioklaskörner des Dünensandes enthält, und weil wegen der übergrossen Menge  $\text{SiO}_2$  hierin das  $\text{Na}_2\text{O}$  kaum anders als in Spuren nachzuweisen wäre.

Die Untersuchung der verschiedenen Gruppen ergab folgende Resultate<sup>1</sup>:

Die Quarz-Orthoklasgruppe (2,50—2,60) wurde, wie gesagt, nur mit HFl aufgeschlossen und der  $\text{K}_2\text{O}$ - und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt bestimmt, die übrigen Basen ( $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ) waren nur in Spuren vorhanden. Die Analyse zeigte auf diese Weise, dass in der leichtesten Gruppe 21,36 % Orthoklas und 78,64 % Quarz vorhanden waren. Da die Gruppe selbst 3,23 % des Dünensandes ausmachte, berechnet sich die Menge der Orthoklaskörner des Dünensandes zu 0,69 %.

Die reine Quarzgruppe (2,60—2,70). Diese Gruppe wurde, da sie aus fast absolut reiner  $\text{SiO}_2$ , mit höchstens nur Spuren von Basen, bestand, nicht analysirt.

Die Quarz-Kalkspathgruppe (2,70—3,00) besteht hauptsächlich aus unreinen Quarzkörnern und viel Körnern von Kieselschiefer, Phtannit, Hornstein, Jaspis etc. Daneben kommen viel Calcitkörner und Muschelschalenfragmente vor. Ausserdem noch mehrere Körner von Hornblende, Epidot etc.

Es wurde damit begonnen, die Gruppe mit verdünnter kalter Salzsäure auszulaugen. Hierdurch wurden 40,46 % Carbonate gelöst und 59,54 % Silicate blieben zurück. Da die Gruppe selbst 7,74 % des Dünensandes betrug, so sind in dem Sande 3,13 % Carbonate vorhanden. Es bestanden diese nicht aus reinem  $\text{CaCO}_3$ , sondern auch aus etwas  $\text{FeCO}_3$  und  $\text{MgCO}_3$ , welche wahrscheinlich isomorph in den Kalkspath gemengt waren<sup>2</sup>. Die Analyse ergab 4,55 %  $\text{FeO}$  und 0,77 %  $\text{MgO}$ , so dass die gelösten Carbonate bestanden aus:

<sup>1</sup> Für eine derartige vollständige Gruppenanalyse ist eine Menge von 100 g genügend. Wenn die 85 % der reinen Quarzkörner (2,6—2,7) entfernt sind, bleibt für jede Gruppenanalyse ca. 1—2 g übrig. Nur die ganz kleine Gruppé der drei schwersten Minerale muss man, wie ich schon angab, aus einer besonderen, viel grösseren Quantität, z. B.  $\frac{1}{2}$ —1 kg, isoliren.

<sup>2</sup> Die Muschelschalenfragmente bestehen, wie schon ihre blendend weisse Farbe zeigt, aus fast reinem  $\text{CaCO}_3$  (theilweise Calcit, theilweise Aragonit), zwar mit etwas organischer Substanz, Calcium-Sulfat und -Phosphat, jedoch so gut wie frei von  $\text{MgCO}_3$  und  $\text{FeCO}_3$ . Diese beiden Carbonate stammen also aus den unreinen Kalkspathkörnern.

CaCO <sub>3</sub> . . . . .	91,05
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	1,62
FeCO <sub>3</sub> . . . . .	7,33
	<hr/>
	100,00

Die in Salzsäure ungelöst zurückgebliebenen Quarz- und Silicatkörner wurden in geschmolzener Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> aufgeschlossen. Die Analyse ergab:

SiO <sub>2</sub> . . . . .	76,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	17,40
FeO . . . . .	3,22
CaO . . . . .	1,41
MgO . . . . .	0,83
	<hr/>
	99,11

Eine nähere Berechnung ist nicht gut möglich. Neben Quarz sind hauptsächlich Thonerdesilicate vertreten, was aus dem Vorhandensein der vielen Körner von Kieselschiefer und verkieseltem Thonschiefer erklärt werden mag, welche bekanntlich thonerdereiche und saure Silicate sind. Die drei übrigen Basen sind vornehmlich Amphibolkörnern zuzuschreiben.

Die Amphibolgruppe (3,00—3,30). Die Körner dieser Gruppe bestehen hauptsächlich aus viel Hornblende und wenig Augit, in geringer Menge aus Turmalin- und Epidotkörnern, ausserdem noch aus einigen trüben Hornstein- und Kieselschieferkörnern der vorigen Gruppe. Daneben fanden sich mehrere Körner von Apatit, welcher sich fast vollständig in dieser Gruppe concentrirt.

Es wurde angefangen mit der Bestimmung des letzten Minerals, d. h. mit der darin enthaltenen Phosphorsäure. Eine ziemlich grosse Quantität, z. B. ca. 1 g, der Gruppe wurde längere Zeit mit concentrirter Salpetersäure gekocht, darauf im klaren Filtrat das P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mit Ammoniummolybdat gefällt, der nicht unbeträchtliche schwefelgelbe Niederschlag in NH<sub>3</sub> gelöst, das P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mit MgCl<sub>2</sub> + NH<sub>4</sub>Cl gefällt, geglüht und als Magnesiumpyrophosphat gewogen.

Auf diese Weise ergab sich, dass die Amphibolgruppe 0,43 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> enthält, was einem Gehalt von 1,04 % Apatit entspricht. Da die Gruppe selbst 1,46 % des Dünensandes betrug, enthielt dieser Sand die geringe Quantität von 0,0066 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, resp. 0,015 % Apatit.

Die Amphibolgruppe selbst enthielt:

Si O <sub>2</sub> . . . . .	46,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	18,72
Fe O . . . . .	13,90
Mn O . . . . .	Spuren
Ca O . . . . .	11,39
Mg O . . . . .	8,20
	<hr/>
	99,16

Dies Analysenresultat weicht nicht zu sehr von der mittleren Zusammenstellung der Amphibole im Allgemeinen ab. Der ziemlich starke Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt wird durch das Vorhandensein des Turmalins und Epidots erklärt werden können.

Die Pyroxengruppe (3,30—3,60). Hier hat man das Umgekehrte der vorigen Gruppe, nämlich viel Augit- und weniger Hornblendekörner, daneben immer wieder einige Turmalin- und Epidotkörner, ausserdem einige Granatkörner.

Die Analyse ergab:

Si O <sub>2</sub> . . . . .	41,84
Ti O <sub>2</sub> . . . . .	Spuren
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	8,36
Fe O . . . . .	29,06
Mn O . . . . .	Spuren
Ca O . . . . .	15,95
Mg O . . . . .	3,60
	<hr/>
	98,81

Hier tritt ein bedeutend geringerer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt auf als in der vorigen Gruppe. Der für Augite<sup>1</sup> etwas schwache Mg O-Gehalt ist vielleicht den vielen Körnern des Epidots (bekanntlich ein Mg-freies Silicat) zuzuschreiben.

Die Granatgruppe (3,60—4,20). Diese Gruppe, welche, was ihre Menge betrifft (2,70 %), die grösste des Dünenandes ist, besteht hauptsächlich aus blassrothen Granatkörnern. Nur sehr untergeordnet treten Augit, Staurolith, Rutil, Zirkon und einige wenige Eisenerzkörner auf.

<sup>1</sup> Der geringe Zirkongehalt dieser Gruppe kann leicht bestimmt werden, indem dies Mineral durch Schmelzen mit Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> nicht zersetzt wird. Bei der Lösung der Schmelze in Salzsäure bleibt der feine Zirkongrus zurück und kann gewogen werden. U. d. M. überzeugt man sich, dass die Theilchen nur aus reinem, farblosem, lebhaft doppelbrechendem Zirkon bestehen.

Die Titansäure, welche schon in der vorigen Gruppe in sehr deutlichen Spuren vorhanden war (ihre verdünnte salzsaure Lösung opalisirte beim Kochen), ist hier wegen der vorhandenen Rutilkörner nicht mehr zu vernachlässigen. Sie wurde mittelst Schmelzen in  $\text{KHSO}_4$  und langdauerndes Kochen der verdünnten Lösung sowohl im  $\text{SiO}_2$  als auch im  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bestimmt, betrug jedoch im Ganzen nur 0,66 %.

Die Analyse ergab:

$\text{SiO}_2$ . . . . .	33,02
$\text{TiO}_2$ . . . . .	0,66
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	20,04
$\text{FeO}$ . . . . .	36,06
$\text{MnO}$ . . . . .	Spuren
$\text{CaO}$ . . . . .	9,34
$\text{MgO}$ . . . . .	1,63
Zirkon <sup>1</sup> . . . . .	0,56
	101,31

Es zeigt diese Analyse, dass die Granatkörner des Dünenandes hauptsächlich zum Ferro-Aluminiumgranat (Almandin) gehören und dass die kalk- und magnesiareichen Granatvarietäten bedeutend schwächer vertreten sind. Der für Granat<sup>1</sup> ziemlich geringe  $\text{SiO}_2$ -Gehalt von 33,02 % erklärt sich durch das Vorhandensein mehrerer Körner kieselsäurearmer (Staurolith) und -freier Minerale (Rutil, Magnetit).

Die Rutil-, Zirkon- und Eisenerzgruppe (4,2—5,2). Diese chemisch äusserst wichtige Gruppe ist, wie gesagt, im Dünenande nur in der sehr geringen Menge von ca. 0,1 % vertreten. Bei Anwendung von 100 g Dünenand, was für die übrigen Gruppen genügend ist, würde man also nur 0,1 g der schwersten Gruppe erzielen. Besser thut man, wie vorhin erwähnt, aus einer viel grösseren Quantität Sand, z. B. 1 kg, nur diese Gruppe rasch abzuscheiden.

Unter dem Mikroskop betrachtet besteht die Gruppe aus Rutil, Zirkon, Magnet- und Titaneisen nebst einigen der schwersten Silicatkörner (besonders Granaten und einigen Staurolithen).

Die chemische Analyse zerfällt in eine Bestimmung des  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  und eine des  $\text{TiO}_2$ .

<sup>1</sup> Granat enthält 35—40 %  $\text{SiO}_2$ .

a) Bestimmung des Eisenoxyduloxys. Ein Theil des feingeriebenen Pulvers wurde so lange mit starker Salzsäure gekocht, bis der Rückstand keine schwarze Eisenerztheilchen mehr enthielt. Das Eisen wurde aus der Lösung gefällt, als  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , gewogen und zu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  umgerechnet. Die schwerste Gruppe enthielt  $55,4 \frac{0}{10} \text{Fe}_3\text{O}_4$ <sup>1</sup>.

b) Bestimmung der Titansäure. Das Pulver der schwersten Gruppe wurde mit  $\text{KHSO}_4$  geschmolzen und das  $\text{TiO}_2$ -Hydrat aus der verdünnten Lösung der Schmelze durch langdauerndes Kochen gefällt; dies Verfahren wurde wiederholt bis das  $\text{TiO}_2$  schneeweiss war. Es betrug das gewogene  $\text{TiO}_2$   $20,33 \frac{0}{10}$  der schwersten Gruppe oder  $0,03 \frac{0}{10}$  des ganzen Sandes. Fügt man hinzu noch die  $0,01 \frac{0}{10} \text{TiO}_2$  der Granatgruppe, so enthält der ganze Dünensand  $0,04 \frac{0}{10} \text{TiO}_2$ <sup>2</sup>.

c) Um die bei Gegenwart von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{TiO}_2$  schwierige und umständliche Bestimmung der Zirkonerde zu umgehen, wurde einfach in einer kleinen Portion Körner die Zahl der verunreinigenden Granatkörner unter dem Mikroskop gezählt. Ich bekam auf diese Weise approximativ  $3 \frac{0}{10}$  Granatkörner, also ungefähr  $(100-55-20-3 =) 22 \frac{0}{10}$  Zirkonkörner.

Die schwerste Gruppe bestand also approximativ aus:

<sup>1</sup> Dies wäre also ein Gehalt von  $0,07 \frac{0}{10} \text{Fe}_3\text{O}_4$  im Dünensande. Die wirkliche Menge des im Dünensande vorhandenen Eisenerzes ist jedoch grösser. Dies kommt daher, dass die Granaten selbst oft geringe Einschlüsse von Eisenerz führen. Obwohl diese Verunreinigung für die Granat-Gruppe, die ungefähr 20mal grösser ist als die Rutil-Zirkon-Eisenerz-Gruppe, sehr geringfügig ist, ist das darin enthaltene Erz doch fast  $\frac{1}{3}$  der ganzen Erzmenge des Dünensandes. Kocht man in einer besonderen Portion des Dünensandes die Granat-Gruppe mit den drei schwersten Gruppen zusammen in Salzsäure aus, so erhält man einen Gehalt von  $0,11 \frac{0}{10} \text{Fe}_3\text{O}_4$  im Dünensande.

<sup>2</sup> Der Titansäuregehalt des Dünensandes ist auf mehrere Minerale vertheilt, und zwar: a) Rutil, das wichtigste  $\text{TiO}_2$ -Mineral im Sande, fast ganz aus  $\text{TiO}_2$  bestehend, b) Titaneisen (Ilmenit) mit ca.  $47 \frac{0}{10} \text{TiO}_2$ , c) titanhaltigen Magnetit, mit einem sehr wechselnden Gehalt ( $5-12 \frac{0}{10}$ )  $\text{TiO}_2$ , d) Titanit mit  $41,5 \frac{0}{10} \text{TiO}_2$ , e)  $\text{TiO}_2$  als Bestandtheil mehrerer eisenhaltiger Silicate, besonders der Augite, welche nach Knop (Zeitschr. f. Kryst. 10. 58. 1885) oft  $1-4 \frac{0}{10} \text{TiO}_2$  enthalten. Die drei ersten Minerale enthalten die Hauptmasse des  $\text{TiO}_2$ , die zwei letzten tragen nur untergeordnet zum Titangehalt des Sandes bei.

Rutil (TiO <sub>2</sub> ) . . . . .	20 %
Zirkon (ZrO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> ) . . . . .	22 "
Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) . . . . .	55 "
Granat . . . . .	3 "
	100 %

Da der Zirkon aus 67 % ZrO<sub>2</sub> und 33 % SiO<sub>2</sub> besteht, ist der ZrO<sub>2</sub>-Gehalt der schwersten Gruppe ungefähr 15 %, was, auf den ganzen Dünensand umgerechnet, 0,02 % beträgt. Fügt man hinzu die in der Granatgruppe gefundenen Quantität ca. 0,01 %<sup>1</sup>, so findet man für den ganzen ZrO<sub>2</sub>-Gehalt des Dünensandes 0,03 %<sup>2</sup>.

Stellt man das Resultat der Analysen der verschiedenen Gruppen zusammen, so erhält man als Zusammensetzung des Dünensandes :

Quarz-Orthoklas-Gruppe (2,50—2,60)	3,23 %	Orthoklas 21,36 % Quarz 78,64 "	$\left\{ \begin{array}{l} 0,12 \text{ K}_2\text{O} \\ 0,13 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 2,98 \text{ SiO}_2 \\ \hline (3,23) \end{array} \right.$
Reine Quarz-Gruppe (2,60—2,70)	83,64 %	Fast chemisch reiner Quarz nur mit Spuren von Basen	83,64 SiO <sub>2</sub>
Quarz-Kalkspath-Gruppe (2,70—3,00)	7,74 %	$\left\{ \begin{array}{l} 40,46 \% \text{ Carbo-} \\ \text{nate} \left\{ \begin{array}{l} 91,05 \text{ CaCO}_3 \\ 1,62 \text{ MgCO}_3 \\ 7,33 \text{ FeCO}_3 \end{array} \right. \\ \\ 59,54 \% \left\{ \begin{array}{l} \text{Quarz} \\ \text{und} \\ \text{Silicate} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 76,25 \text{ SiO}_2 \\ 17,40 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 3,22 \text{ FeO} \\ 1,41 \text{ CaO} \\ 0,83 \text{ MgO} \end{array} \right. \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 2,85 \text{ CaCO}_3 \\ 0,05 \text{ MgCO}_3 \\ 0,23 \text{ FeCO}_3 \\ \hline (3,13) \\ \\ 3,55 \text{ SiO}_2 \\ 0,81 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 0,14 \text{ FeO} \\ 0,06 \text{ CaO} \\ 0,04 \text{ MgO} \\ \hline (4,61) \end{array} \right.$
Amphibol-Gruppe (3,00—3,30)	1,46 %	$\left\{ \begin{array}{l} 1,04 \% \\ \text{Apatit} \\ \\ 98,96 \% \left\{ \begin{array}{l} \text{Silicate} \left\{ \begin{array}{l} 46,95 \text{ SiO}_2 \\ 18,72 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 13,90 \text{ FeO} \\ 11,39 \text{ CaO} \\ 8,20 \text{ MgO} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,0066 \text{ P}_2\text{O}_5 \\ 0,0086 \text{ CaO} \\ \hline (0,0152) \\ \\ 0,69 \text{ SiO}_2 \\ 0,27 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\ 0,20 \text{ FeO} \\ 0,17 \text{ CaO} \\ 0,12 \text{ MgO} \\ \hline (1,45) \end{array} \right.$

<sup>1</sup> Oder genauer 0,007 % ZrO<sub>2</sub>.

<sup>2</sup> Eine Quantität, die man unmöglich durch eine Bauschanalyse des Sandes hätte nachweisen können.

Pyroxen-Gruppe (3,30—3,60)	1,10 %	$\left\{ \begin{array}{l} 41,84 \text{ Si O}_2 \\ 8,36 \text{ Al}_2 \text{ O}_3 \\ 29,06 \text{ Fe O} \\ 15,95 \text{ Ca O} \\ 3,60 \text{ Mg O} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 0,47 \text{ Si O}_2 \\ 0,09 \text{ Al}_2 \text{ O}_3 \\ 0,32 \text{ Fe O} \\ 0,18 \text{ Ca O} \\ 0,04 \text{ Mg O} \\ \hline (1,10) \end{array} \right.$
Granat-Gruppe (3,60—4,29)	2,70 %	$\left\{ \begin{array}{l} 33,02 \text{ Si O}_2 \\ 0,66 \text{ Ti O}_2 \\ 20,04 \text{ Al}_2 \text{ O}_3 \\ 36,06 \text{ Fe O} \\ 9,14 \text{ Ca O} \\ 1,63 \text{ Mg O} \\ 0,56 \text{ Zirkon} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 0,88 \text{ Si O}_2 \\ 0,01 \text{ Ti O}_2 \\ 0,54 \text{ Al}_2 \text{ O}_3 \\ 0,97 \text{ Fe O} \\ 0,25 \text{ Ca O} \\ 0,04 \text{ Mg O} \\ 0,01 \text{ Zirkon} \\ \hline (2,70) \end{array} \right.$
Rutil-, Zirkon- und Eisenerz-Gruppe (4,20—5,20)	0,13 %	$\left\{ \begin{array}{l} 3 \% \text{ Granat} \\ 20 \text{ " Ti O}_2 \\ 22 \text{ " Zirkon} \\ 55 \text{ " Fe}_3 \text{ O}_4 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 0,004 \text{ Granat} \\ 0,03 \text{ Ti O}_2 \\ 0,02 \text{ Zr O}_2 \\ 0,01 \text{ Si O}_2 \\ 0,07 \text{ Fe}_3 \text{ O}_4 \\ \hline (0,13) \end{array} \right.$

Aus dieser Tabelle berechnet sich leicht die folgende Zusammensetzung des Dünensandes (was also eine Bausch-analyse desselben ergeben hätte).

a) In verdünnter Salzsäure lös- liche Körner (Carbonate)	3,13 % <sup>1</sup>	$\left\{ \begin{array}{l} 2,85 \text{ Ca CO}_3 \\ 0,05 \text{ Mg CO}_3 \\ 0,23 \text{ Fe CO}_3 \end{array} \right.$
b) In verdünnter Salzsäure unlös- liche Körner (Quarz, Silicate etc.)	96,87 %	$\left\{ \begin{array}{l} 92,23 \text{ Si O}_2 \\ 1,85 \text{ Al}_2 \text{ O}_3 \\ 1,65 \text{ Fe O} \\ 0,66 \text{ Ca O} \\ 0,28 \text{ Mg O} \\ 0,12 \text{ K}_2 \text{ O} \\ 0,04 \text{ Ti O}_2 \\ 0,03 \text{ Zr O}_2 \\ 0,0066 \text{ P}_2 \text{ O}_5 \end{array} \right.$

<sup>1</sup> Der Gehalt an  $\text{CaCO}_3$  im Dünensande ist sehr wechselnd, was besonders durch die Anwesenheit von Muschelschalenfragmenten verursacht wird, welche bald mehr, bald weniger reichlich auftreten. Eine viel constantere Zusammensetzung des Sandes bekommt man, wenn man bloss die in verdünnter  $\text{HCl}$  unlöslichen Substanzen (also die oben unter b) angeführten) in Betracht zieht. Berechnet man diese auf 100 %, so ist es deutlich, dass nur der  $\text{SiO}_2$ -Gehalt eine beträchtliche Änderung erfährt, die Zahlen für die Basen dagegen nur unbedeutend geändert werden. Man erhält auf diese Weise: 95,20 %  $\text{SiO}_2$ , 1,89 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1,69 %  $\text{FeO}$ , 0,68 %  $\text{CaO}$ , 0,28 %  $\text{MgO}$  etc. Das Verfahren hat jedoch insofern etwas Willkürliches, als mit  $\text{HCl}$  neben den Muschelschalenfragmenten auch die Kalkspathkörner entschieden zu den wesentlichen (und nicht, wie ersteres, zu den zufälligen) Gemengtheilen des Dünensandes gehören.

Als seltene chemische Bestandtheile des Dünensandes sind ausser der Titan-, Zirkon- und Phosphorsäure noch die Borsäure und das Fluor zu erwähnen. Zwar gelingt es nicht, diese beiden qualitativ nachzuweisen, das reichliche Auftreten von Turmalinen, welche immer reich an Borsäure sind (im Durchschnitt 10 %), und von Apatiten, welche, wie fast immer der Fall, hauptsächlich Fluorapatite sein dürften, heben jedoch jeden Zweifel an dem Vorkommen von  $B_2O_3$  und von Fl im Dünensande auf<sup>1</sup>.

Merkwürdigerweise konnte ich dagegen den Schwefel, dieses sonst so allgemein in der Natur vorkommende Element, im Dünensande nicht bloss nicht chemisch, sondern sogar auch mikroskopisch nicht nachweisen, indem ich keine Pyritkörner darin entdeckte. Da der Pyrit (spec. Gew. 4,9—5,2) fast ebenso schwer ist wie der Magnetit, musste er unzweifelhaft in der Eisenerzgruppe enthalten sein. Ich habe vergeblich nach ihm gesucht und zweifle auch, ob er darin enthalten ist, weil er durch seine gelbe Messingfarbe und seinen lebhaften Glanz leicht ins Auge fallen müsste. Mit Rücksicht auf die grosse Verbreitung des Pyrits in allerlei Gesteinen, ist dessen Abwesenheit im Dünensande höchst auffallend, besonders weil die grosse Härte (H. = 6—7) und das Fehlen deutlicher Spaltungsdurchgänge ihn mit Rücksicht auf die mechanische Zertrümmerung sehr widerstandsfähig macht. Ich kann aber kaum anders annehmen, als dass der Pyrit wohl ursprünglich vorhanden gewesen, aber nach längerem Verweilen am feuchten Strande allmählich der Oxydation zum Opfer gefallen ist<sup>2</sup>.

Schliesslich möge noch bemerkt werden, dass, wenn man sich die Mühe geben würde, aus einer sehr grossen Quantität Dünensandes (z. B. 10—100 kg) die schwerste Gruppe abzutrennen, man in dieser wahrscheinlich mehrere der seltenen

---

<sup>1</sup> Da der Fluorgehalt des Apatits nur höchstens  $\frac{1}{10}$  des Phosphorsäuregehaltes desselben beträgt, und der Dünensand, wie vorhin gesagt, nur 0,0066 %  $P_2O_5$  enthält, so würde der Fl-Gehalt desselben ungefähr 0,0006 % betragen, was sogar qualitativ unmöglich nachzuweisen ist. Nur an u. d. M. ausgesuchten Apatitkörnern würde man vielleicht einen Fluorgehalt ermitteln können.

<sup>2</sup> Pyrit wurde von ARTINI im Tessinsande angetroffen.

Elemente, wie Yttrium, Thorium, Cerium, Lanthan, Didym, Niob, Tantal etc., welche in den Graniten und Gneissen so charakteristischen Mineralien, wie Orthit, Allanit, Gadolinit Thorit, Cerit etc., enthalten sind, chemisch nachweisen könnte<sup>1</sup>.

##### 5. Die Wichtigkeit von Fluss- und Meeressanduntersuchungen.

Ich möchte die oben beschriebene Untersuchung des holländischen Dünensandes zugleich als Beispiel einer systematischen Sandanalyse im Allgemeinen verwenden.

Der Sand ist überhaupt gegenüber den festen Gesteinen von den Petrographen in auffallender Weise vernachlässigt worden. Man möchte sich die Frage erlauben, ob jetzt, wo die mikroskopischen Untersuchungen der Dünnschliffe ihren Höhepunkt erreicht oder vielleicht sogar überschritten haben, und wo oft eine ermüdende Monotonie in den sich immer mehr ähnlich sehenden Beschreibungen von Gesteinssuiten herrscht, es nicht an der Zeit wäre, dass auch die Petrographie oder wenigstens ein Theil derselben andere Bahnen der Forschung aufsuchte.

Eine solche neue Bahn dürfte vielleicht in der mineralogischen Untersuchung der Sande zu finden sein.

Eine systematische Untersuchung des Fluss- oder Meeressandes ist nicht bloss mineralogisch hochinteressant<sup>2</sup> und

<sup>1</sup> Auch Zinnstein, welchen THÜRACH (l. c. 50) im Rothliegenden, im Kreidesandsteine und sogar im Flusssande (Mainsand bei Würzburg) nachwies, könnte im Dünensande Hollands enthalten sein. Ich hoffe später die Untersuchungen nach diesen und anderen seltenen Mineralien der Granite und Gneisse mit grösseren Quantitäten des Dünensandes zu verfolgen.

<sup>2</sup> Als interessant in historischer Hinsicht, obwohl nur geringen wissenschaftlichen Werth besitzend, mögen hier zwei sehr alte Abhandlungen über den Gehalt an Gold und Mineralien der Flusssande erwähnt werden. Die jüngste dieser Abhandlungen stammt von dem italienischen Gelehrten L. Bossi, welcher dieselbe im Jahre 1804 in der französischen Akademie der Wissenschaften vorlas (Observations sur l'or natif en paillettes que l'on trouve dans les sables, par M. Louis Bossi, de Milan; lues le 18 germinal, an 12). Hierin wurde besonders der Goldreichtum des Tessin behandelt, welcher schon seit alten Zeiten als goldführend bekannt war (neuerdings wurde, wie vorhin erwähnt, der Tessinosand von E. ARTINI mineralogisch untersucht und auch wiederum das Gold darin nachgewiesen).

Interessanter für uns wegen der Untersuchung der Mineralien in den Flusssanden ist die ältere Abhandlung, welche schon aus dem Jahre N. Jahrbuch f. Mineralogie etc. 1895. Bd. I.

bietet wegen der völlig abweichenden Methode nicht nur eine angenehme Abwechslung von den Dünnschliffbeobachtungen dar, sondern verspricht auch in geologischer Beziehung recht fruchtbar zu werden.

Erstens hat der Sand eines Flusses auf jedem bestimmten Punkte des Stromlaufes seinen eigenen mineralogischen Charakter, welcher immer abhängig ist von der petrographischen Beschaffenheit des vom Fluss durchlaufenen Landes.

Recht auffallend zeigt sich dies bei uns in Holland, dem typischen Lande der Flussmündungen. In dem Boden der

---

1718 stammt und von dem damaligen berühmten französischen Gelehrten RÉAUMUR in den „Mémoires de l'Académie royale des sciences de Paris“ publicirt wurde unter dem Titel: „Essai historique des rivières et des ruisseaux du royaume, qui roulent des paillettes d'or, avec des observations sur le sable avec lequel elles sont mêlées.“ — RÉAUMUR unterscheidet in dem Rhone- und Rheinsande schon sehr richtig die drei Hauptgruppen: den weissen, den rothen und den schwarzen Sand (also den Quarz-, den Granat- und den Eisenerzsand). Er begnügte sich jedoch durchaus nicht mit dieser rohen Unterscheidung, sondern untersuchte jeden dieser Sande mikroskopisch. Wegen des Interesses, welche diese älteste mikroskopische Sanduntersuchung für die Geschichte der Mineralogie besitzt, mögen hier einige Stellen wörtlich citirt werden:

„Le sable avec lequel ces paillettes (d'or) sont mêlées, est lui-même une espèce de richesse, mais qui ne peut toucher que les seuls observateurs de la nature. Les laveurs le jettent comme inutile. Nous en distinguerons de trois sortes en les distinguant par rapport à leurs couleurs; savoir: un sable blanc, un sable rougeâtre et un sable noir. Le blanc est celui qui est emporté par les premières lotions: observé au microscope, il paroît composé de cristaux pareils à ceux des sables les plus communs; aussi n'est-il qu'un sable ordinaire.

„Mais le sable rougeâtre, vu au microscope, et même à la loupe, offre le plus joli spectacle du monde: c'est un amas de toutes les pierres transparentes et colorées, connues dans la joaillerie. Il n'est que rubis, saphirs, émeraudes, jacinthes, etc. Les pierres qui y sont les plus communes sont celles dont les nuances tiennent depuis la couleur du rubis balais, jusqu'à celles de toutes sortes de jacinthes: de là vient que la couleur de ce sable est rougeâtre pour la vue simple. Les saphirs, topazes, émeraudes, y sont plus rares, quoi qu'on y en découvre de très-belles couleurs.

„Pour le sable noir, il est presque tout de fer, et aussi attirable par le couteau aimanté, que la limaille même de fer. Il y a beaucoup plus de ce sable noir parmi celui du Rhône, que parmi celui du Rhin. J'ai tiré du premier, avec le couteau aimanté, près du tiers en fer.

„Il reste pourtant du sable noir, sur lequel le couteau aimanté n'a point de prise, et qui apparemment n'est point du fer, car après avoir été

Niederlande kann man, insoweit er aus Sand besteht, vier grosse Factoren unterscheiden, nämlich den Boden selbst und die Sande der drei Hauptflüsse. Der eigentliche Boden besteht als westliches Ende der norddeutschen Tiefebene wohl hauptsächlich aus skandinavischem Material. Die grosse Verbreitung skandinavischer Gesteine (Findlinge) lässt schon für die Herkunft der Hauptmasse des holländischen Diluvialsandens kaum eine andere Erklärung zu, als die Abstammung aus nordischen Gegenden. Ausserdem spricht das auffallend reichliche Vorkommen von echten Gneiss- und Granitmineralien in den von mir untersuchten Dünensanden im höchsten Grade hierfür.

exposé au feu pendant quelque tems, il n'en devient pas plus attirable. La pesanteur de ce sable semble cependant prouver qu'il est métallique; mais comme il y en a peu de celui-ci mêlé avec beaucoup de sable rouge, il n'est pas aisé d'en faire l'essai.

„Le sable rouge, ou ce sable qui n'est qu'un amas de petits grains de différentes et vives couleurs, est aussi d'une pesanteur approchante de celles des sables métalliques, puisque par les lotions il ne peut être séparé des grains de fer, quoique la grosseur de ses grains ne surpasse guère celles de leurs; il tient aussi apparemment des parties métalliques.

„Les grains du sable du Rhin ont des couleurs plus foncées que ceux du sable du Rhône: ceux-ci n'ont souvent qu'une légère teinte de couleur de chair, comme les rubis balais les moins colorés: on y voit pourtant aussi des topazes, des émeraudes, etc.“

Es ist wohl gewiss, dass die mineralogischen Bestimmungen RÉAUMUR's nicht richtig sind, wie dies zur damaligen Zeit, wo die Wissenschaft der Mineralogie noch geschaffen werden musste, wohl kaum anders möglich war. Seine rothen Sande, dessen Körner so schwer waren, dass sie kaum von den Eisenerzkörnern zu trennen waren, sind zweifelsohne hauptsächlich aus Granat zusammengesetzt, ein Mineral, das er auffallenderweise nicht nennt. Auch die fleischrothe Farbe des Rhônesandes weist auf Granat. Er nennt sie „Hyacinthe“ oder „Rubine“. Die Bezeichnung „rubis balais“ hat mit Rubin nichts zu thun, sondern wurde zur damaligen Zeit von den Edelsteinhändlern entweder an rothe Spinelle oder an rothe Topase gegeben (s. HAÛY, *Traité de Minér.* Tome 2. 156. 1822). Auch die übrigen Bezeichnungen RÉAUMUR's: Rubine, Sapphire, Topase, Smaragde etc. beruhen wohl hauptsächlich auf Phantasie. Die rothen „Rubine“ werden Granaten, die grünen „Smaragde“ grüne Augite oder Hornblendes, die „gelben Topase“ gelbe Epidote gewesen sein. Die blauen Körner mögen Sapphire gewesen sein, welches Mineral, wie vorhin erwähnt, auch von MICHEL-LÉVY im Sande des Mesvrinflusses nachgewiesen wurde. Merkwürdig ist, dass RÉAUMUR schon den magnetischen Magnetit von dem nichtmagnetischen Titaneisen trennte.

Wenn zufälligerweise die drei grossen Flüsse Rhein, Maas und Schelde nicht in Holland ausmündeten (z. B. wenn, wie es ganz gut der Fall hätte sein können, der Rhein in Deutschland bei Emden und die beiden anderen in Belgien oder Frankreich in die See strömten), so würden wir in Holland fast ausschliesslich auf skandinavischem Sande wohnen. Jetzt aber, da die drei Flüsse zusammen in einem kleinen Lande ausmünden und jeder von ihnen seinen eigenen, von dem skandinavischen ganz abweichenden Sand führt, wird der Sandboden mineralogisch bedeutend bunter. Der Rheinsand wird am wenigsten von dem skandinavischen Sand abweichen: aus der Schweiz und dem südlichen Deutschland bringt der Rhein viel Granit- und Gneissmaterial, dagegen durchströmt er keine grosse Kalksteingebiete; sein Sand wird also arm an Kalkspath sein. Die Maas und die Schelde dagegen durchlaufen gar keine Granit- und Gneissterrains, jedoch ausgedehnte Kalksteingebiete verschiedenen geologischen Alters<sup>1</sup>. Schon hierdurch haben wir einen scharf ausgesprochenen, leicht zu bestimmenden und wahrscheinlich zu interessanten Schlussfolgerungen brauchbaren Unterschied. Bei näherer Erforschung werden sich wahrscheinlich noch andere brauchbare Unterschiede auffinden lassen. Die mineralogische Entwirrung der Sande Hollands bildet den Gegenstand einer grösseren Arbeit, mit welcher ich seit einiger Zeit beschäftigt bin.

Es sei dies nur als Beispiel angeführt, um zu zeigen, wie interessant derartige mineralogische Sanduntersuchungen sein können und wie fruchtbar bisweilen ihre Resultate sind. Gefahr, dass dergleichen Arbeiten in ein gedankenloses Detailstudium ausarten werden, ist also durchaus nicht vorhanden. Es lässt sich diese Untersuchung der Flusssande sogar von einem allgemeinen Standpunkte aus betrachten.

Die Hauptfrage hierbei ist immer diese: Inwieweit können wir in einem beliebigen Punkte des Stromlaufs eines Flusses in seinem Sande qualitativ und quantitativ die zwei Hauptbestandtheile: 1) die localen Mineralien der beiden

<sup>1</sup> Die Maas durchströmt die devonischen und carbonischen Kalksteine Belgiens, die Schelde, die cretaceischen und tertiären Kalksteine und Kreideablagerungen Nordfrankreichs und Belgiens.

Flussufer und 2) die aus dem Hinterlande zugeführten Mineralkörner unterscheiden.

Der einfachste Fall ist, dass beide identisch sind. Strömt ein Fluss von Anfang bis zu Ende nur durch Granit oder Gneiss (wie es z. B. bei mehreren Flüssen Skandinaviens der Fall sein mag), so wird in irgend einem Punkt des Stromlaufs die mineralogische Zusammensetzung des Flusssandes nicht oder kaum nennenswerth<sup>1</sup> abweichen von jeder anderen und deshalb die Untersuchung wenig interessant sein.

Umgekehrt wird das Problem, wenn es zu complicirt ist, kaum entwirrbar. Bei einem grösseren Strom, wie der Rhein oder die Donau, wird es äusserst schwierig sein, von jedem Mineral im Flusssande die Herkunft zu bestimmen. Das durchlaufene Gebiet (oder, besser gesagt, das ganze Stromgebiet, denn die Sache wird durch die Nebenflüsse noch complicirter) ist geologisch zu bunt, um eine vollkommene Entwirrung noch durchführbar zu machen, obwohl eine theilweise Bestimmung der Herkunft immer noch möglich erscheint. So werden z. B. die Olivinkörner im Rheinsande wohl den zahlreichen Basaltvorkommnissen im Stromgebiete des Rheines zuzuschreiben sein.

Am günstigsten gestaltet sich der Fall einer mittleren Complication. Am einfachsten ist es z. B. bei zwei scharf contrastirenden Gesteinen: Ein Fluss durchschneidet im Oberlauf Basalt, im Unterlauf Kalkstein. Der ursprünglich schwarze Basaltsand des Flusses wird, nachdem dieser die Gesteinsgrenze überschritten hat, allmählich weisser werden und der Kalksteingehalt stets reichlicher, wie es ausser an der Farbe leicht durch Extraction mittelst Salzsäure nachzuweisen wäre.

Überhaupt hat man die für die Untersuchung und die Schlussfolgerungen günstigsten Fälle bei Flüssen mittlerer Grösse, die zwei oder drei mineralogisch gut trennbare Gebiete durchfliessen. In kleinen Flüssen resp. Bächen wird

---

<sup>1</sup> Ich brauche wohl nicht zu betonen, dass man bei solchen Untersuchungen keine mathematische Genauigkeit zu erwarten hat; Spielraum muss immer gelassen werden. Deshalb sind sie nur bei starken mineralogischen Contrasten zu empfehlen.

gewöhnlich der Sand zu einförmig, in grossen Flüssen, wie dem Rhein, der Elbe etc., der Sand zu bunt gemischt sein.

Ein äusserst günstiges Land für solche Flusssanduntersuchungen scheint mir z. B. Italien zu sein. Die schmale Halbinsel hat fast nur kleine Flüsse (Arno, Tiber) und einen geologisch resp. petrographisch einförmigen Charakter: tertiäre und cretaceische Sandsteine und Kalksteine, theilweise durch eruptive Massen unterbrochen (Gabbro und Serpentin im Arnogebiet, vulcanische Gesteine im Tibergebiet). Alle Minerale dieser Gesteine sind im Flusssande wahrscheinlich verhältnissmässig leicht auseinander zu halten und machen die Untersuchung zu einer sehr lohnenden.

Ein ähnlich geeignetes Land würde vielleicht auch Griechenland sein.

Überhaupt werden sich Halbinsel und Insel mit nicht zu einförmiger und nicht zu complicirter petrographischer Zusammensetzung zu diesen Untersuchungen eignen.

Dagegen sind massive Continentalländer mit bunter geologischer Karte, z. B. von Deutschland oder Österreich, viel weniger geeignet.

Noch interessanter werden die Sanduntersuchungen, wenn man die Meeressande mit einbegreift. In Italien, um bei dem ersten Beispiel zu bleiben, welches Land meistens felsige Küsten besitzt, wird man auch bei den Meeressanden unterscheiden können: a) die localen, von den Küsten selbst stammenden Sandkörner und b) die aus dem Hinterlande von den Flüssen zugeführten Mineralkörner. Vielleicht, jedoch nicht immer sicher, gesellt sich noch ein dritter Factor hinzu: die von Meeresströmungen längs der Küste fortbewegten oder die von anderen Theilen der Küste ins Meer gerathenen und von der Brandung zurückgespülten Körner<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Als Beispiel, wie interessant gerade die Meeresküste Italiens für derartige Sanduntersuchungen ist, mag die schon am Anfang meiner Arbeit citirte Untersuchung UZIELLI's über die Leucit-, Augit-, Zirkon- etc. führenden Sande der Westküste Italiens erwähnt werden. Würde diese schon mit beschränkten Hilfsmitteln ziemlich ergebnissreiche Untersuchung vervollkommnet zu einer systematischen Sanduntersuchung und vereinigt mit einer solchen der Sande der an dieser Küste ausmündenden Flüsse, so würde man wahrscheinlich zu wichtigen Resultaten kommen können. Es würden gerade derartige Untersuchungen der italienischen Küstensande

Diesen letzten Factor würde man z. B. am besten studiren an einer Kalksteininsel, die im Meere nicht weit von einer Granit- oder Trachytküste entfernt ist.

Ausserdem möchte ich noch auf die Wichtigkeit der Sanduntersuchungen bei Entdeckungsreisen hinweisen. Manchmal, z. B. bei Nordpolfahrten oder überhaupt bei Seereisen, kann man mit dem Schiffe nur die Küste berühren, während das Hinterland unerreichbar ist. Eine Untersuchung des Sandes der Küste oder einer Flussmündung wird (besonders durch Vergleiche mit dem mineralogischen Charakter der anstehenden felsigen Meeresküste) oft Aufschlüsse geben können. Besteht z. B. die Küste aus Gneiss und trifft man in dem Sand der Flussmündung viel Kalkspath- oder Serpentin Körner an, so darf man sich sichere Schlüsse über das Vorkommen derselben im Innern des Landes erlauben. Sind es doch die Flüsse, welche uns durch ihre Sande Kunde bringen von den Gesteinen, welche sie tief im Innenlande durchströmt haben.

Aber auch, abgesehen von diesen recht interessanten Schlussfolgerungen, ist die einfache Kenntniss der Zusammensetzung des Flusssandes eine, nach meiner Ansicht nothwendige Ergänzung unserer Kenntnisse der Eigenschaften der Flüsse selbst.

Fast von jedem Fluss in Deutschland oder überhaupt in Westeuropa ist der Lauf, das Gefälle, die Stromgeschwindigkeit genau bekannt, ja sogar die Flussflora und -Fauna sind studirt; der mineralogischen Zusammensetzung der Flusssande ist jedoch noch niemals die gehörige Beachtung geschenkt worden. Dennoch ist sie — wie gesagt — auf jedem einzelnen Punkt des Stromlaufs eine ziemlich constante oder bewegt sich höchstens innerhalb ziemlich enger Grenzen. Nicht bloss qualitativ, sondern auch quantitativ lässt sich dieselbe ausdrücken, so dass — wenn der Ausdruck erlaubt ist — der Fluss in jedem Punkte eine feste mineralogische Sandformel besitzt.

Schon qualitativ ist oft die Untersuchung der Flusssande

---

empfehlenswerth sein, als es eben italienische Petrographen sind, welche sich durch Untersuchungen von Sanden und Sandsteinen ihres Vaterlandes verdienstlich gemacht haben, wie die schon Anfangs citirten Forscher C. RIVA, J. CHELUSSI, L. RICCIARDI und besonders E. ARTINI durch ihre Arbeiten bewiesen haben.

recht interessant, besonders wenn sie auffallende mineralogische Charakterzüge besitzen. Ich erinnere z. B. an die granat- und chromitreichen Sande der Serpentinegebiete, wie das schlesische, strömenden Flüsse, an die Platinsande Russlands, an die an schönen Mineralien (Hauyn, Nosean, Sanidin etc.) reichen Sande des Laacher-Seegebietes etc. Hier wird man meistens eine unerwartet reiche mineralogische Ausbeute antreffen: ein solcher Sand ist oft eine mikromineralogische Sammlung, wie sie reicher kaum gedacht werden kann, und würde schon als Gegenstand einer zwar oft schweren, doch reizvollen Übung im Bestimmen dieser Mineralien auf physikalischem und mikrochemischem Wege höchst anziehend sein.

Mit welcher Absicht man jedoch den Sand auch untersucht, immer soll man zunächst durch eine systematische Sonderung nach dem specifischen Gewichte mittelst allmählich schwerer werdenden Flüssigkeiten Licht zu schaffen suchen, und nicht — wie es jetzt oft geschieht — durch directe mikroskopische Beobachtung des Sandes, so wie er aus dem Flusse geschöpft wird, oder nach nur oberflächlichem Ausschlämmen der schwersten Mineralien mittelst Wasser. Dieses Verfahren dürfte kaum die Bezeichnung einer wissenschaftlichen Methode verdienen. Durch die directe Beobachtung übersieht man leicht die meisten Mineralien; erst durch Beseitigung der zahlreichen Quarzkörner und Concentration der übrigen Mineralien in besondere Gruppen entgeht kein einziges der wichtigen Mineralien der Wahrnehmung. Beim Schlämmen und Waschen dagegen geht erfahrungsgemäss viel verloren.

Schliesslich sei es mir noch erlaubt, auf die Wichtigkeit derartiger Sanduntersuchungen in geologischer Beziehung hinzuweisen. Sind wir durch fortgesetztes Studium des Sandes z. B. der europäischen Meeresküsten und durch Vergleichung desselben mit dem Sand der verschiedenen Flüsse zu genügenden Kenntnissen gekommen, so werden wir übergehen können zu dem Studium geologisch älterer Sande, z. B. diluvialer und tertiärer, ja sogar fester mesozoischer Sandsteine, sofern sie sich (nöthigenfalls nach vorhergehender Auslaugung des Bindemittels durch Säuren) zu dem ursprünglichen Sande leicht zerreiben und in den Bereich der Untersuchung ziehen lassen.

Lassen z. B. die Untersuchungen der recenten Meeres-  
sande an der Mündung eines Flusses oft recht deutlich eine  
local beschränkte mineralogische Abweichung des Sandes er-  
kennen, so wird vielleicht auch umgekehrt der Nachweis sol-  
cher Flussmündungen in tertiären oder älteren Sandsteinen  
auf mineralogischem Wege gelingen können.

Allgemein verbreitet ist die Ansicht, dass die minera-  
logische Untersuchung von Gesteinen fast ausschliesslich auf  
Eruptivgesteine und krystallinische Schiefer beschränkt ist,  
während bei den versteinерungsführenden Sedimentär-  
gesteinen selten eine solche sich lohnt und nur ausschliesslich die  
palaeontologische Untersuchung hier Nutzen bringt. Ich glaube,  
dass dies nicht der Fall zu sein braucht, wenn man die Sande  
auf angegebene Weise untersucht und sich nicht beschränkt  
auf einen nichtssagenden Sandsteindünnschliff<sup>1</sup>.

Ob sich die Methode noch ausdehnen liesse auf andere  
Sedimente, ist vorläufig noch fraglich. Auf reine Thone glaube  
ich kaum, dass sie anwendbar ist. Der eigenthümlichen Eigen-  
schaft des Lehmes, lange in Wasser suspendirt bleiben zu  
können, steht die Sonderung der Bestandtheile mittelst schwerer  
Flüssigkeiten sehr im Wege. Ein Körper, wie z. B. der  
Löss, wird sich wahrscheinlich kaum auf diesem Wege richtig  
in seine mineralogischen Bestandtheile trennen lassen. Ich  
will jedoch nicht behaupten, dass die Trennung absolut un-  
möglich ist; vielleicht wird man sie durch recht langes ruhiges  
Stehenlassen des Gemenges dennoch erreichen können. Man  
braucht hier auch nicht das Äusserste zu erreichen und kann  
vielleicht durch eine unvollkommene Trennung schon brauch-  
bare Resultate erhalten<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Eine derartige Untersuchung psammitischer Gesteine mittelst Dünnschliffe ist bekanntlich von G. KLEMM (Zeitschr. d. d. geol. Ges. 34. 771. 1882) vorgeschlagen. Nach meiner Ansicht hat diese Methode wenig Zukunft. Der Dünnschliff ist nicht geeignet für psammitische Gesteine, weil eben das Charakteristische derselben dadurch nicht zur Anschauung kommt. Erst nach der Entfernung des meist 90 und mehr Procent betragenden Hauptminerals (des Quarzes) kommen die weit wichtigeren Nebenminerale zur Geltung.

<sup>2</sup> Man vergleiche über diesen Gegenstand (die Suspension feiner Mineraltheilchen in Wasser) die Arbeit des Herrn BODLÄNDER in dies. Jahrb. 1893. 2. 147.

Was natürlich wohl zu erreichen ist, ist die Untersuchung des nach vorheriger Wegschlammung des feinen thonigen Materials zurückgebliebenen sandigen Restes, den man ganz wie gewöhnlichen Sand in schweren Flüssigkeiten trennen kann.

Bei vielen Kalksteinen würde man das  $\text{CaCO}_3$  durch Säuren lösen können und den zurückbleibenden Sand trennen, und also auch hier die Methode anwenden. Ein Beispiel, wo dies zufälligerweise fruchtbar sein kann, liefert uns die Insel Java. Man unterscheidet hier im Tertiär petrographisch zwei grosse Gruppen: das vorvulcanische oder (nach dem Hauptgesteine genannte) prae-andesitische Tertiär (Eocän oder vielleicht theilweise Jung-Cretaceisch) und das nachvulcanische oder post-andesitische Tertiär (wahrscheinlich Miocän oder Pliocän). Beide haben ihre eigenen Kalksteine. Durch Lösen in  $\text{HCl}$  und Untersuchung des sandigen Rückstandes würde man sofort entscheiden können, ob er nur aus quarzigem Material (dem altkrystallinischen oder vielleicht granitischen Urboden Javas, der fast ohne Ausnahme von jungen Schichten bedeckt ist, entstammend) besteht oder reichlich vulcanisches (Augit, Plagioklas, Magnetit und Glaskörner führendes) Material enthält. Auch hier wäre die systematische Trennung in Gruppen mit steigender Dichte vielleicht in beiden Fällen erfolgreich anzuwenden.

Ich glaube deshalb jedenfalls die beschriebene Trennungsmethode als eine in zahlreichen Fällen fruchtbare empfehlen zu können.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: [1895](#)

Autor(en)/Author(s): Retgers J.W.

Artikel/Article: [Ueber die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Dünensande Hollands und über die Wichtigkeit von Fluss- und Meeressanduntersuchungen im Allgemeinen, 16-74](#)

