Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 78 (1985)

Heft: 1

Artikel: Die jungen Vulkanite Islands : Geologie und der petrographische Einfluss auf die geotechnischen Eigenschaften

Autor: Oddsson, Björn

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-165646

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 21.08.2025

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 78	Nr. 1	Seiten 127–135	Basel, April 1985

Die jungen Vulkanite Islands: Geologie und der petrographische Einfluss auf die geotechnischen Eigenschaften

Von BJÖRN ODDSSON[1])

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer kurzen Schilderung der isländischen Quartärgeologie und Petrographie werden die Ergebnisse baugeologischer sowie fels- und bodenmechanischer Untersuchungen zusammengefasst. Besonderes Gewicht wird dem petrographischen Einfluss auf die besonderen mechanischen Eigenschaften der isländischen Gesteine zugemessen.

1. Einleitung

Die in Island verfügbare Energie kann, in Anbetracht der geringen Bevölkerungszahl von weniger als 250000 Einwohnern, als immens angesehen werden. Das nutzbare Wasserkraftpotential wird auf 30–64 TWh/a geschätzt (NORDAL & KRISTINSSON 1975, TOMASSON 1981). Im Zuge einer Umstrukturierung der isländischen Wirtschaft hat sich die Erschliessung der Energiereserven Hand in Hand mit dem Aufbau einer modernen Industrie in den letzten beiden Jahrzehnten beschleunigt. Ein wesentlicher Teil dieser Vorräte und die wirtschaftlichsten Kraftwerkstandorte befinden sich in den geologisch jungen Regionen, die bei vulkanischen Ausbrüchen seit Einzug der Eiszeit entstanden sind. Hier sind die ersten drei Wasserkraftwerke bereits erstellt (570 MW), und zahlreiche weitere werden projektiert.

Die Aufschlussverhältnisse sind im europäischen Vergleich gut, die tektonische Großstruktur und der regionale Aufbau scheinbar einfach. In den Details, die die Ingenieurgeologie betreffen, sind die Verhältnisse aber komplex und fordern intensive Aufschlussarbeiten. So müssen Schürfe, Baggerschlitze, Rammsondierungen und sogar Kernbohrungen oft mit einem Abstand in der Grössenordnung von 10 m angeordnet werden, damit die chaotischen geologischen Verhältnisse sich nicht in ebenso undurchsichtigen ingenieurgeologischen Berichten niederschlagen. Dies trifft insbesondere zu für die jungen zentralen Landesregionen. Bedingt duch die quartäre Vereisung, ereigneten sich die Vulkanausbrüche zeitweise unter Gletschern, wobei eine heterogene Gesteinssippe entstand. Sie ist gekennzeichnet durch glazigene Ablagerungen und subaquatische Vulkanite; Intrusiva, Pillow-Laven, Breccien und Hyaloklastite. Die Hyaloklastite sind fragmentierte Gesteine, die aus Gesteinsglas und Gesteinsbruchstücken in den Korngrössen Sand–Kies bestehen. Sie sind ursprünglich locker, zeigen aber oft typische Umwandlung des Glases (Palagonitisierung), die begleitet ist von Mineralaus-

[1]) Hönnun Ltd/Virkir Consulting Group Ltd. Sídumúli 1, 108 Reykjavík, Island.

scheidungen und Zementierung der Grundmasse. Die subaquatischen Vulkanite wurden bisher in technischer Hinsicht wenig untersucht, obwohl sie weltweit die häufigsten Gesteine sind. Bautechnische Erfahrungen in ähnlichen geologischen Verhältnissen sind in der einschlägigen Literatur kaum beschrieben.

Diese Gegebenheiten haben eine ingenieurgeologische Bearbeitung der jungen Gesteinsserien angeregt, die eine umfassende Untersuchung der mechanischen Eigenschaften typischer Gesteine enthält (ODDSSON 1984). Den petrographischen Zusammenhängen der im Labor bestimmten Materialkennwerte ist eine besondere Bedeutung beigemessen mit dem Ziel, ihren Gültigkeitsbereich klar abzugrenzen und Grundlagen zu schaffen für Extrapolationen und Vergleiche mit nicht getesteten Gesteinen. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf eine kurze Schilderung der einzigartigen Quartärgeologie und vermittelt einige wenige Ergebnisse der petrographischen Synthese.

Diese Gegebenheiten haben eine ingenieurgeologische Bearbeitung der jungen Gesteinsserien angeregt, die eine umfassende Untersuchung der mechanischen Eigenschaften typischer Gesteine enthält (ODDSSON 1984). Den petrographischen Zusammenhängen der im Labor bestimmten Materialkennwerte ist eine besondere Bedeutung beigemessen mit dem Ziel, ihren Gültigkeitsbereich klar abzugrenzen und Grundlagen zu schaffen für Extrapolationen und Vergleiche mit nicht getesteten Gesteinen. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf eine kurze Schilderung der einzigartigen Quartärgeologie und vermittelt einige wenige Ergebnisse der petrographischen Synthese.

2. Geologie

Die Geologie von Island wird bestimmt durch die Lage auf dem Mittelatlantischen Rücken, der dominierenden physiographischen Struktur des Atlantiks. Die Insel ist zu 90% aus vulkanischen Gesteinen aufgebaut, die bei dem Prozess des «seafloor spreading» in seinen axialen Aktivzonen entstehen. Der Rest besteht aus Sedimenten und Sedimentgesteinen, die durch den Abtrag der Vulkanite hervorgegangen sind.

Figur 1 zeigt die lithostratigraphische Einteilung und die geographische Verbreitung der Serien. Das Tertiär ist eine mächtige Abfolge monotoner tholeiitischer Plateaubasalte (16–3,1 Mio. Jahre alt) mit dazwischengelagerten geringmächtigen roten Sedimentschichten, die als fossile Böden gedeutet werden. Pflanzenabdrücke in diesen Schichten zeigen, dass das Klima während ihrer Ablagerung wesentlich wärmer war als jetzt. Lokale Tillitvorkommen deuten am Ende dieser Zeit eine Abkühlung gegen heutige Verhältnisse an.

Die quartäre Vereisung bricht in Island wesentlich früher ein als in Europa. Sie ist dokumentiert durch Änderungen in Fauna und Flora und durch das erste überregionale Auftreten von Tilliten. Die Grenze zwischen Tertiär und den jungen Gesteinsserien, Plio-Pleistozän und Oberpleistozän, ist paläomagnetisch im Basaltstapel fixiert bei 3,1 Mio. Jahren. Diese Serien umspannen die Zeit bis Ende der Eiszeit und bedecken eine Fläche von 55000 km^2 (Fig. 1). Entscheidend für den lithologischen Aufbau ist, dass von nun an die Vulkanausbrüche zeitweise unter der Gletscherdecke stattfanden. Dabei wurden die in subaquatischer Fazies gebildeten Vulkanite nahe ihren Eruptionszentren in grossen Mengen aufgehäuft, dies im Gegensatz zu den subaerischen Plateaubasalten. Es entstanden typische Vulkanformen: einerseits langgestreckte (bis einige 10 km lange) zackige Bergzüge, die als «Rücken» bezeichnet werden (Spalteneruptionen),

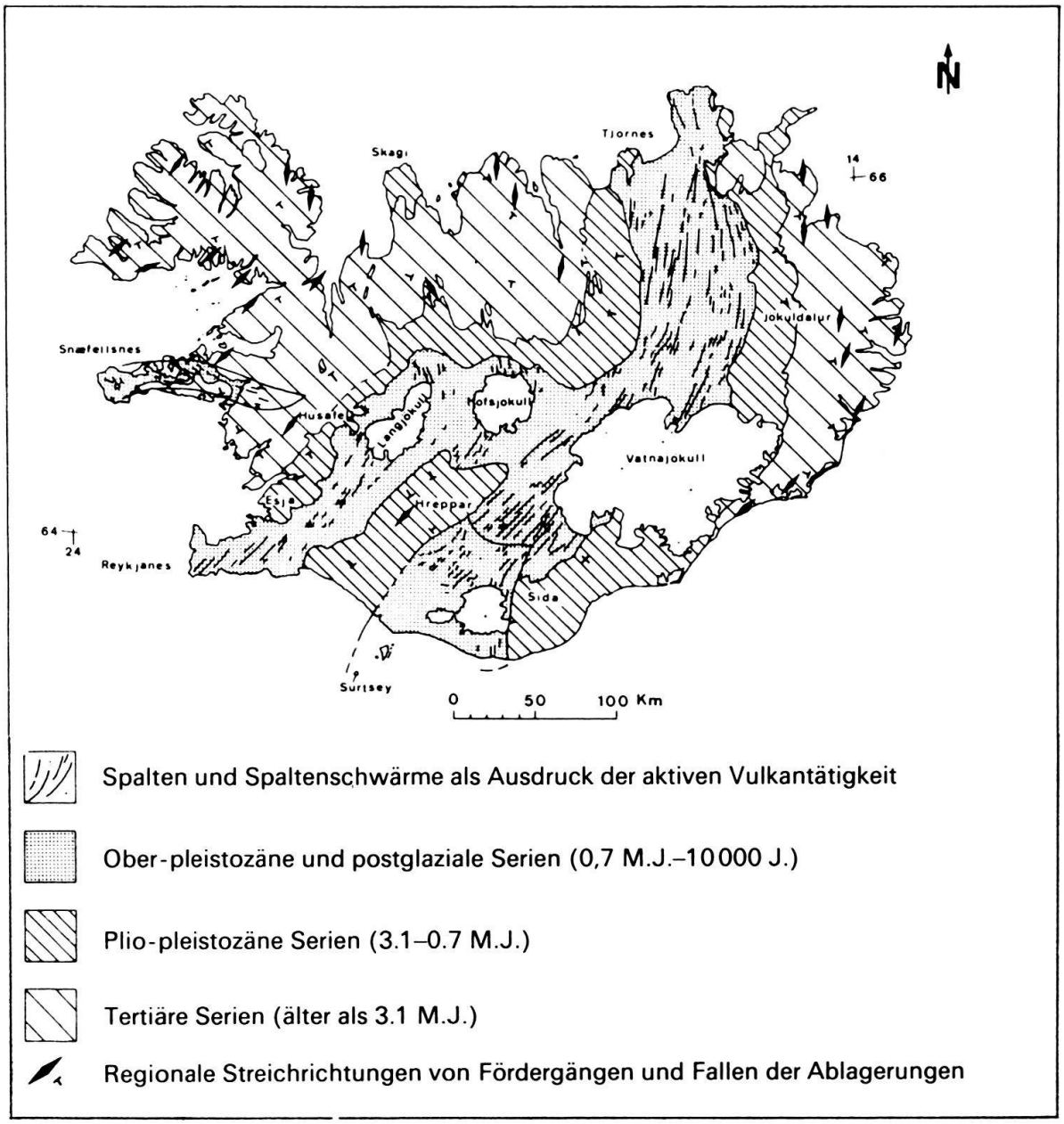

Fig. 1. Geologische Übersichtskarte von Island.

und andererseits die ihre Umgebung oft um mehrere hundert bis 1000 m überragenden Tafelberge (Zentraleruptionen).

Um die innere Struktur dieser Berge zu verstehen, ist es nützlich, den vermuteten Lauf der Ereignisse bei einer subglazialen Eruption kurz zusammenzufassen. Es sollte betont werden, dass jeder Ausbruch in einem beliebigen der nachfolgend beschriebenen Stadien sowohl beginnen als auch zum Stillstand kommen kann. Dieser Aufbau kann bis zur Vollendung in mehreren Ausbrüchen erfolgen, häufiger aber in einer ununterbrochenen Folge.

Die Ausbrüche dürften ohne grosse Ankündigung beginnen. Dabei erstarrt das Magma zunächst grossenteils als dicht kubisch geklüftete Basalt-Intrusionen (Kubba-

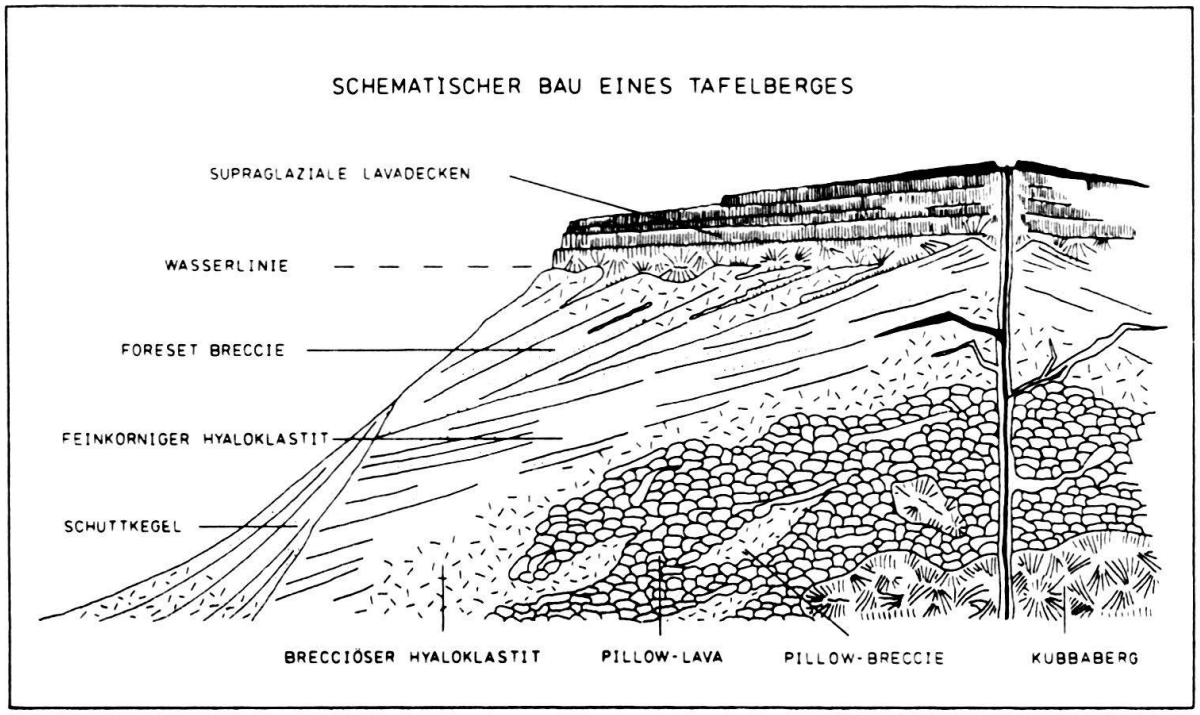

Fig. 2. Innere Struktur eines monogenetischen sub- bis supraglazial entstandenen Vulkans.

berg) in einer Moränenbedeckung, zwischen ihr und der Felsoberfläche oder allenfalls innerhalb des Eises (Fig. 2). Angesichts der hohen Förderleistung in der Initialphase kann binnen der ersten Tage ein 1 km^3 grosser Hohlraum in die Eisbedeckung abschmelzen. Je nach der Eismächtigkeit und der Weiterentwicklung des Ausbruchs entsteht dabei eine von Schmelzwasser gefüllten Kaverne oder ein richtiger See.

Vorausgesetzt, dass die Wassertiefe genügt, um durch hydrostatischen Druck Explosionen zu verhindern, fliessen realativ ruhig Pillow-Basalte aus, die sich auf das Eis abstützen. Sie enthalten hie und da Einschaltungen von Kubbaberg. Häufige Instabilität in der Pillow-Anhäufung führt zu Rutschungen und Bildung von Pillow-Breccien, wobei auch glutflüssiges Material miteinbezogen werden kann (Fig. 2). Dieser Gesteinshaufen wächst ohne die Ausbildung eines eigentlichen Schlotes, was in einer ausgesprochen welligen Morphologie zum Ausdruck kommt.

Durch das Anwachsen des Vulkans gegen die Wasseroberfläche vollzieht sich ein Phasenwechsel der Vulkantätigkeit, indem nun auf die effusive Phase eine hydromagmatisch-explosive Tätigkeit folgt, die vermehrt Pyroklastika liefert. Als Übergangsstadium werden die Pillow-Laven von chaotischen grobkörnigen Hyaloklastiten überdeckt, die im Hangenden durch mächtigere Abfolgen von feinen geschichteten Hyaloklastiten abgelöst werden. Mit dieser Änderung tritt erstmals ein eigentlicher Förderschlot in Erscheinung, von dem ausgehend sich aderartige Gänge durch die ganze Masse verästeln.

Wenn schliesslich der Vulkan einen Kegel bis über den Wasserspiegel aufgetürmt hat, erfolgt der Wechsel zu einer erneuten effusiven, jetzt aber einer subaerischen bzw. supraglazial effusiven Tätigkeit, die Laven fördert. – Im Gegensatz zu den Tafelbergen haben die Rücken gewöhnlich nicht dieses Stadium erreicht. – Wo die Lava in die

restlichen Teile des Sees fliesst, entstehen mächtige Abfolgen von Foreset-Pillow-Breccien, über die sich die Lava an der Wasserlinie allmählich vorbaut (Fig. 2).

Diese Änderungen in der Tätigkeit der subglazialen Vulkane sorgen für eine gewisse Systematik in der Struktur der Vulkanbauten. Die Phasenwechsel beruhen jedoch auf Rahmenbedingungen, die u. a. durch Entleerung der Gletscherseen (Jökulhlaup) gestört werden können.

Nachdem die vulkanische Tätigkeit erloschen ist, sind die Berge der Erosion ausgesetzt und werden von glazigenem Material überdeckt. Diese Glazialablagerungen sind häufig vom Typ der «waterlain tills» (EVENSON et al. 1977, DREIMANIS 1979) und lokaler Herkunft. Die subglazialen Ausbrüche liefern sowohl das Material als auch die Fazies für solche Bildungen.

Häufige periodische Wechsel von Glazial- und Interglazialzeiten machen sich stark bemerkbar im Aufbau des vulkanischen Stapels. Während des Plio-Pleistozäns und des Oberpleistozäns sind nicht weniger als 23 solcher Zyklen festgestellt worden, wobei die Kaltzeiten im oberen Bereich länger andauern. Am Ende der Kaltperioden wurde jeweils eine unruhige Topographie hinterlasssen, die eine unberechenbare Situation bedingt. So kann z. B. in einem Tal eine äusserst wirksame Erosion herrschen, während ein benachbartes innert relativ kurzer Zeit durch Sedimente und übereinander geflossene subaerische Laven gefüllt wird. Die Korrelation der Schichten über kurze Distanzen ist daher oft nicht mehr möglich.

Auf diese Art und Weise entstand im Grossbereich eine zederbaumähnliche Struktur mit einem mächtigen Stamm aus Pillow-Lava und Kubbaberg, ummantelt von primären Hyaloklastiten, Glassandsteinen und Tuffen, welche mit den Laven wechsellagern. Lediglich die Vulkane der beiden letzten Glazialzeiten sind nicht völlig eingedeckt und prägen die Landschaft in den oberpleistozänen Regionen.

3. Laboruntersuchungen

Eine Auswahl typischer Gesteine wurde eingehend petrographisch, fels- und bodenmechanisch untersucht. Bei der petrographischen Untersuchung wurde grosser Wert gelegt auf das quantitative Erfassen möglichst vieler der Eigenschaften, wie Porosität, Mineralbestand, Korngrösse, -form, -verteilung, -orientierung, gegenseitige Raumbeziehung der Komponenten und Kornverband. Die felsmechanischen Versuche umfassten einaxiale Druckversuche, indirekte Zugversuche, Abrasivitätsversuche und Triaxialversuche mit kontinuierlichen Bruchzuständen (KOVARI et al. 1983). Der Einsatz dieses Verfahrens erwies sich als besonders wertvoll, weil das Bruchkriterium, im Prinzip, mit einem einzigen Prüfkörper bestimmt werden kann. Frische inkohärente Hyaloklastitvarietäten wurden mit bodenmechanischen Methoden getestet.

4. Petrographischer Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften

Die technischen Versuche haben für die untersuchten Gesteinsarten eine grosse Variation des mechanischen Verhaltens ergeben, die auf petrographische Unterschiede zurückzuführen sind. Wechselbeziehungen zwischen den zahlreichen petrographischen Gegebenheiten, die erst in ihrer Gesamtheit das technische Verhalten bestimmen, erschweren es allgemein, den Einfluss der einzelnen Faktoren festzustellen. Bedingt durch

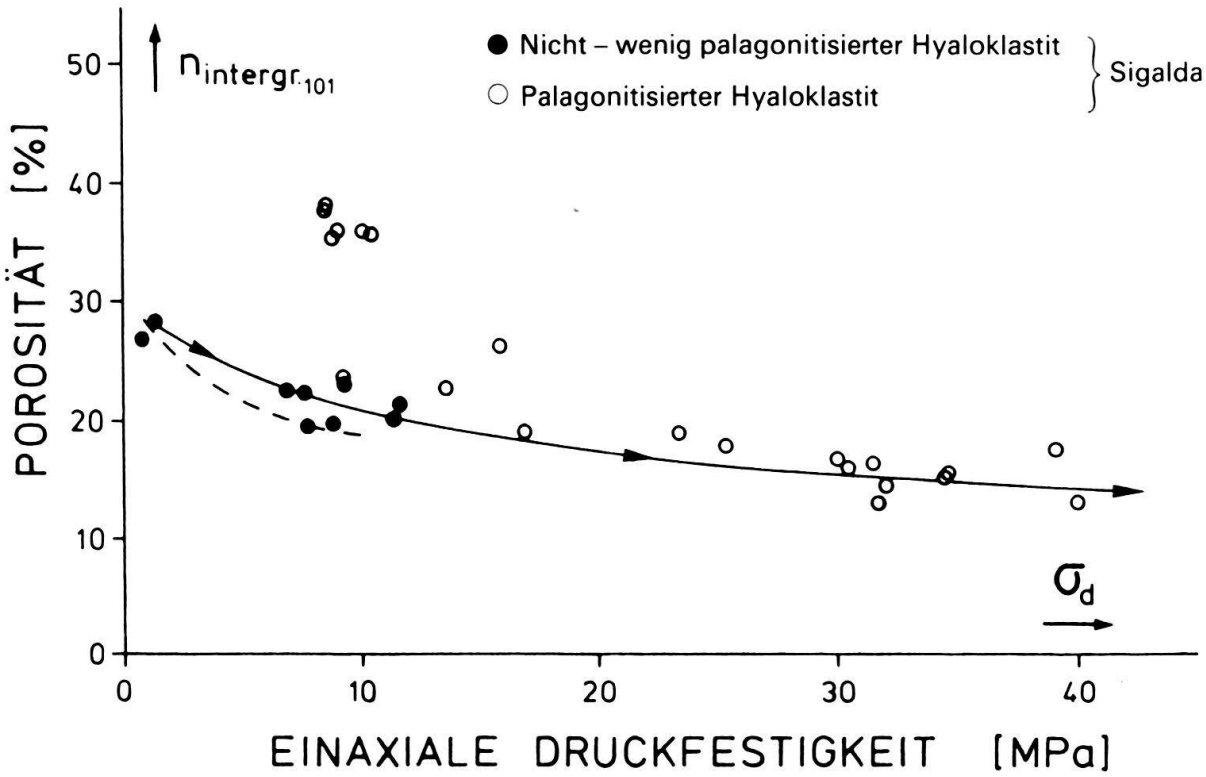

Fig. 3. Beziehung zwischen einaxialer Druckfestigkeit und intergranularer Porosität der Sigalda-Hyaloklastite. Gefüllte Kreise oberhalb der gebrochenen Kurve entsprechen Proben mit beginnender Palagonitisierung.

die unterschiedliche Ausbildung und variable sekundäre Umwandlung der Gesteine, die aus demselben Ursprungsmaterial (Magma) entstanden sind, eignen sich die jungen Vulkanite besonders gut dazu, den Einfluss dieser Faktoren zu bewerten.

Für die Hyaloklastite ist der Porosität und der Palagonitisierung die grösste Bedeutung beizumessen. Die quantitativen Zusammenhänge sind in Figur 3 ersichtlich: Die ausgezogene Kurve zeigt als Beispiel den effektiven Weg der Porositäts- und Festigkeitsveränderung eines Hyaloklastits mit der Plagonitisierung. Sie verläuft mit einer geringeren Neigung als der Trend der nicht umgewandelten Proben (gebrochene Kurve). Die Umwandlung hat grösseren Einfluss, als mit einer Porositätsänderung alleine erklärt werden kann. Dies ist auf die Verkittung durch sekundäres Mineralwachstum an den Korngrenzen zurückzuführen.

In den nicht umgewandelten inkohärenten Hyaloklastiten wurden mit grosser Regelmässigkeit etwa 6° höhere Winkel der inneren Reibung gemessen, als in ähnlich kornverteilten und verdichteten nicht vulkanischen Böden zu erwarten wären (Brinch-Hansen & Lundgren 1960). Die besondere, teils schlackige, teils scharfkantig-schneidige Kornform sowie die griffige Kornbeschaffenheit sind hierfür verantwortlich. Eine Änderung dieses Parameters kann ebenfalls mit dem Umwandlungsgrad korreliert werden. So sinkt der Winkel der inneren Reibung mit der beginnenden Palagonitisierung (Smektitbildung), steigt aber mit zunehmender Mineralisierung (Zeolithe, Calcit, Opal) auf wesentlich höhere Wert an, als sie für die frischen Varietäten ermittelt wurden.

Die Porosität ist ebenfalls massgebend für das mechanische Verhalten der Basalte. Figur 4 zeigt als Beispiel die Zusammenhänge für die einaxiale Druckfestigkeit. Die Festigkeitsverminderung mit der Porositätszunahme wird häufig erklärt durch eine ver-

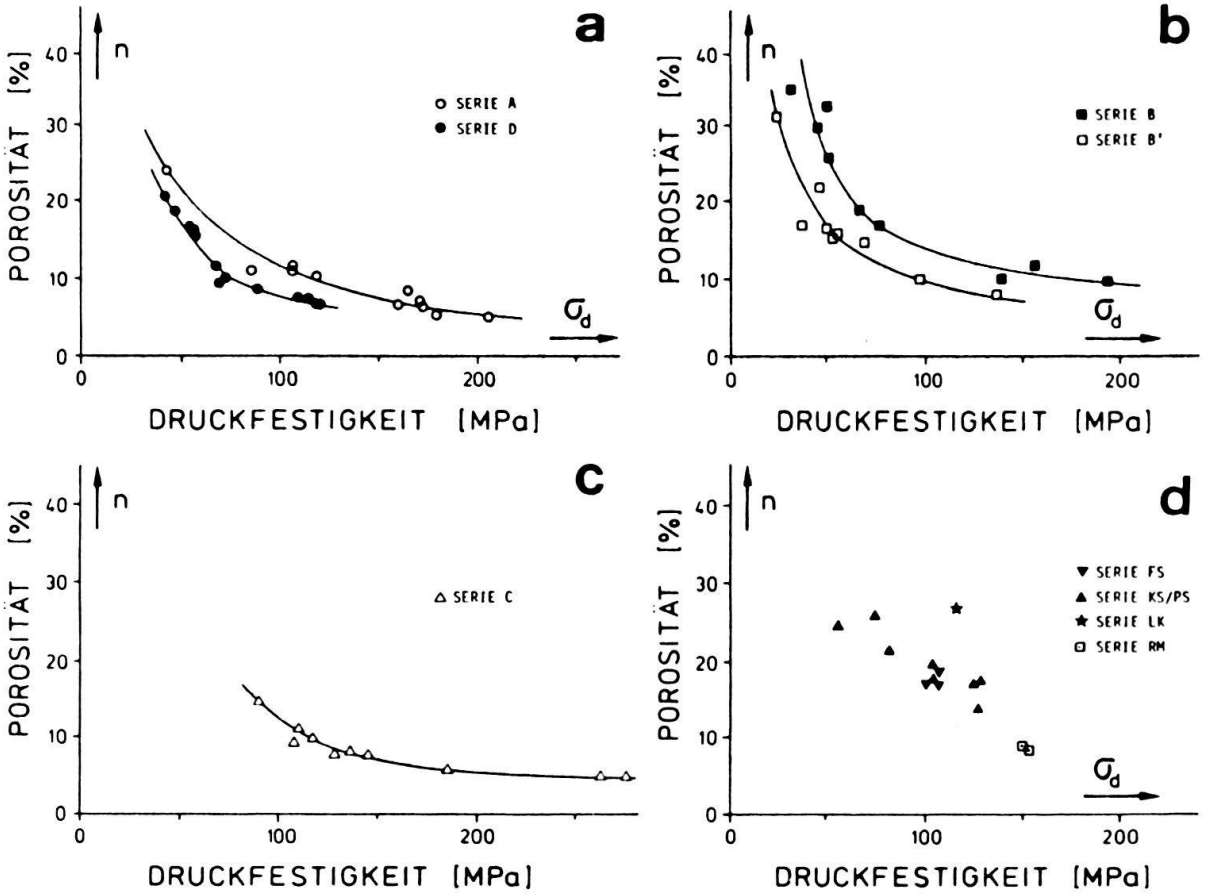

Fig. 4. Beziehung der einaxialen Druckfestigkeit zur Porosität der Basalte. a, b und c: subaerische Laven, d: subaquatische Pillow-Laven und Kubbaberg. Innerhalb der einzelnen Serien unterscheiden sich die Prüfkörper lediglich in der Porosität.

kleinerte lasttragende Fläche. Dies kann jedoch nicht die alleinige Ursache sein, da sie die exponentielle Beziehung offensichtlich nicht zu erklären vermag. Die Blasen sind mehr oder weniger regelmässig auftretende Inhomogenitäten und Bindungslücken im Gestein, wo die Spannungen sich konzentriert aufbauen und der Bruch eingeleitet wird. Es kann deshalb nicht direkt vom Porenvolumen auf die Festigkeitsabnahme geschlossen werden, weil es vor allem auf das sowohl grössen- als auch formabhängige Ausmass der Porenoberfläche ankommt. Bedingt durch die Genese – Wanderung, Wachstum und Anhäufung der Blasen während der Entgasung –, besteht eine Wechselbeziehung zwischen der Porosität und der Grösse und Anzahl der Blasen. In den hochporösen Basalten sind also gewöhnlich verhältnismässig wenige, aber grosse, runde Blasen vorhanden. Hinzu kommt, dass die kleinsten Blasen durch Mineralien begrenzt sind und daher kompliziertere, für den Kornverband ungünstigere Gestalt annehmen. Dies sind die Hauptursachen, weshalb die Wirkung einer Porositätsänderung auf die Festigkeit bei hoher Porosität gering ist, aber mit abnehmender Porosität stark zunimmt.

Obwohl die Beziehung zur Porosität immer ähnlich ist, bleiben nach ihrer Berücksichtigung erhebliche Abweichungen zwischen den hier studierten Gesteinsserien (Fig. 4). Es stellte sich dabei heraus, dass ein hoher Einsprenglinggehalt negativ auf die Festigkeit wirkt. Glasige Ausbildung, starke Verzahnung und wachsender Anteil und

Grösse von Plagioklasleisten, die das Gefüge der Grundmasse schliessen, sind hingegen festigkeitssteigernd.

5. Diskussion

Die Kosten setzen Materialuntersuchungen bei steigender Korngrösse eine obere Grenze. Die Feststellung des Einflusses der Korngrösse und Art der Kornverteilung auf die mechanischen Eigenschaften gewinnt deshalb eine wichige praktische Bedeutung. In den grobkörnigen Hyaloklastiten schwimmen jedoch die grossen Komponenten oft in einer Matrix, die dem hier untersuchten Material entspricht und für das gesamte Gemisch massgebend ist (HUDER & FETZ 1967). Weil zudem die Klüftung eine geringe Rolle spielt (weitmaschig und gewöhnlich durch Palagonitisierung verheilt), können die Ergebnisse der Laborversuche bei sorgfältiger Interpretation auf die Verhältnisse in situ extrapoliert werden., Eine Übertragung der Labordaten von Basalt auf das mechanische Verhalten des Gebirges (rock mass) ist problematischer. Die Basalte sind meist stark durch die Klüftung (Abkühlungsrisse) zerlegt, welche ihre Eigenschaften in verschiedenster Weise massgeblich beeinflussen.

In den letzten paar Jahren ist die mechanische Qualität des Gebirges an den projektierten Baustellen nach einer Methode beurteilt worden, die auf der Klüftigkeit, Durchtrennungsgrad und Beschaffenheit der Diskontinuitäten und Kluftfüllungen beruht (NGI-Klassifikation, BARTON et al. 1974). Die Festigkeitsmessungen eröffnen die Möglichkeit zum Vergleich mit anderen angewandten Verfahren, wie etwa dem «Geomechanics-Classification-System», das ausser diesen Gegebenheiten die Orientierung der Diskontinuitäten und die Festigkeit des intakten Gesteins berücksichtigt (BIENIAWSKI 1973, 1976). Die Eignung dieser Methoden für die besonderen isländischen Verhältnisse muss noch in der Praxis verifiziert werden.

Es ist zu hoffen, dass bei der Realisierung der neuen Kraftwerkprojekte mehr aus den Erfahrungen gelernt wird, als dies bisher der Fall war. Die gewonnenen geotechnischen Daten sollten dabei überprüft und erweitert werden können durch das Studium des Materialverhaltens im grossen Maßstab. Voraussetzung hierfür ist eine sorgfältige und ausführliche baugeologisch-geotechnische Betreuung und Dokumentation während der Bauausführung, die gegebenenfalls durch Feldmessungen und In-situ-Versuche ergänzt wird.

Verdankung

Diese Veröffentlichung wurde unterstützt durch den Stipendiatendienst der ETH Zürich.

LITERATURVERZEICHNIS

BARTON, H, LIEN, R., & LUNDE, J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. – Rock Mech. *6*/4, 189–236.

BIENIAWSKI, Z.T. (1973): Engineering classifications of jointed rock masses – Trans. S. Afr. Instn. Civ. Engrs. *15*/12, 335–344.

— (1976): Rock mass classifications in rock engineering. – Proc. Symp. Explor. Rock Engng. Johannesburg, S. 97–106.

HUDER, J., & FETZ, L. B. (1967): Shear strength and density of talus material used in the Göschenenalp dam. – Proc. Geotechn. Conf. Oslo 1967, S. 205–207.

BRINCH-HANSEN, J., & LUNDGREN, H. (1960): Hauptproblem der Bodermechanik. – Springer, Berlin/Göttingen/Heidelberg.

KOVARI, K., TISA, A., & ATTINGER, R. O. (1983): The concept of «continuous failure state» triaxial tests. – Rock Mech. Rock Engn. *16*/2, 117–131.

NORDAL, J., & KRISTINSSON, V. (Ed., 1975): Iceland 874–1974. – Handbook publ. by the Central Bank of Iceland on the occasion of the 11th centernary of the settlement of Iceland.

ODDSSON, B. (1984): Geologie und geotechnisches Verhalten der jungen Vulkanite Islands mit besonderer Berücksichtigung der petrographischen Einflüsse. – Diss. ETH Zürich Nr. 7498.

TOMASSON, H. (1981): Die isländische Wasserkraft. Schätzung des Potentials. – Orkuthing 1981. NEA, Reykjavík; in Isländisch.

Manuskript eingegangen am 15. November 1984,
angenommen am 11. Dezember 1984