

Nagra

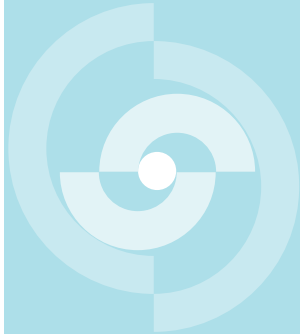
Nationale
Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Cédra

Société coopérative
nationale
pour l'entreposage
de déchets radioactifs

Cisra

Società cooperativa
nazionale
per l'immagazzinamento
di scorie radioattive



TECHNISCHER BERICHT 85-52

Verdichtungsversuche an Quarzsand-
Bentonit-Gemischen

F. Bucher
P. Jedelhauser

Oktober 1985

Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH Zürich

Nagra

Nationale
Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Cédra

Société coopérative
nationale
pour l'entreposage
de déchets radioactifs

Cisra

Società cooperativa
nazionale
per l'immagazzinamento
di scorie radioattive

TECHNISCHER BERICHT 85-52

Verdichtungsversuche an Quarzsand-
Bentonit-Gemischen

F. Bucher
P. Jedelhauser

Oktober 1985

Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH Zürich

Der vorliegende Bericht wurde im Auftrag der Nagra erstellt. Die Autoren haben ihre eigenen Ansichten und Schlussfolgerungen dargestellt. Diese müssen nicht unbedingt mit denjenigen der Nagra übereinstimmen.

Le présent rapport a été préparé sur demande de la Cédra. Les opinions et conclusions présentées sont celles des auteurs et ne correspondent pas nécessairement à celles de la Cédra.

This report was prepared as an account of work sponsored by Nagra. The viewpoints presented and conclusions reached are those of the author(s) and do not necessarily represent those of Nagra.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Bericht sind die Resultate von Verdichtungsversuchen an Quarzsand-Bentonit-Gemischen zusammengestellt. Als Quarzsand wurde ein Material mit steiler Kornverteilung im Bereich von 1 bis 1.5 mm und als Bentonit die bereits früher untersuchten Na-Bentonit MX-80 und Ca-Bentonit Montigel gewählt. Die Verdichtung der Gemische erfolgte statisch in einer Verdichtungsmulde. In den rund 80 durchgeführten Versuchen wurde der Bentonitgehalt im Bereich von ca. 20 - 50 % (bezogen auf die Masse des Quarzsandes) und der Pressdruck von 80 - 320 MN/m² variiert. Die Versuche ergaben, dass zum Erreichen einer bestimmten Trockendichte des im Korngerüst des Quarzsandes eingelagerten Bentonites 10 bis 20 mal höhere Drücke notwendig sind als bei der Verdichtung von reinem Bentonit. Die Gemische mit MX-80 waren dabei leichter zu verdichten als jene mit Montigel. Allerdings zeigte es sich, dass die Proben mit MX-80 spröder sind, insbesondere bei kleinen Pressdrücken. Quarzsand mit 35 bis 45 % Montigel ergab bei Pressdrücken von 160 - 240 MN/m² homogene, kompakte Proben mit Bentonittrockendichten um 1.5 Mg/m³.

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats d'essais de compactage sur des mélanges de bentonite et de sable de quartz. On a choisi comme sable de quartz, un matériau de granulométrie uniforme comprise entre 1 et 1,5 mm et comme bentonites, la bentonite Na de type MX-80 et la bentonite Ca de type Montigel, matériaux déjà étudiés auparavant. Le compactage des mélanges a été effectué statiquement dans un moule de compactage. Dans les quelque 80 essais effectués, on a fait varier la teneur en bentonite de 20 à 50 % environ (par rapport à la masse du sable de quartz) et la pression de compactage de 80 à 320 MN/m². Les essais ont montré que, pour que la bentonite incorporée dans la structure de grains de sable atteigne une densité sèche donnée, des pressions \sim 10 à 20 fois plus élevées que pour le compactage des bentonites pures étaient nécessaires. Les mélanges avec MX-80 ont été plus faciles à compacter que ceux avec Montigel. Les échantillons avec MX-80 étaient cependant plus friables, en particulier ceux compactés à des pressions faibles. Le sable de quartz, avec \sim 35 à 45 % de Montigel, a donné des échantillons homogènes et denses avec des densités sèches de la bentonite d'environ 1,5 Mg/m³ pour des pressions de compactage allant de 160 à 240 MN/m².

SUMMARY

In this report the results are presented of compaction tests on quartz sand - bentonite mixtures. The selected quartz sand exhibited a steep grading curve in the range 1 to 1.5 mm. The bentonites used were those previously investigated, i.e. the Na-bentonite MX-80 and the Ca-bentonite Montigel. The mixtures were statically compacted in a compaction mould. Altogether about 80 tests were carried out, in which the bentonite content was varied between roughly 20 and 50 % of the weight of sand and the compacting pressure was between 80 and 320 MN/m². The tests showed that the pressures required to reach a given dry density of the bentonite filling the pores of the sand's grain structure were 10 to 20 times greater than those required for specimens of bentonite alone. It was also observed that the mixtures with MX-80 were easier to compact than those with Montigel. On the other hand, it was found that the specimens with MX-80 were more brittle, especially at low compacting pressures. Mixtures with 35 to 45 % Montigel compacted at pressures in the range 160 - 240 MN/m² resulted in homogeneous, compact specimens with bentonite dry densities of about 1.5 Mg/m³.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN	2
3. MATERIALIEN	8
4. VERDICHTUNGSMETHODE	10
5. VERDICHTUNGSVERSUCHE	11

1. EINLEITUNG

Am Institut für Grundbau und Bodenmechanik der ETH Zürich werden seit 1981 hochverdichtete Bentonite bezüglich ihrer Eignung als Versiegelungs- und Verfüllmaterial radioaktiver Abfälle untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in einer Anzahl von Nagra-Berichten dargelegt worden [1 - 8].

Seit 1984 werden auch Quarzsand-Bentonit-Mischungen untersucht. Gegenüber dem reinen Bentonit werden von den Mischungen bessere Eigenschaften in Bezug auf Schrumpfung, Wärmeleitfähigkeit und vor allem Zusammendrückbarkeit erwartet, hingegen weniger gute bezüglich Quellung und Dichtigkeit.

Umfangreiche bodenmechanische Versuche an Sand-Bentonitgemischen wurden insbesondere von R. Pusch in Schweden durchgeführt [9]¹⁾. Die Unterschiede zu den Versuchen am IGB liegt einerseits in den gewählten Quarzsandkornverteilungen und andererseits in den angestrebten Lagerungsdichten (siehe auch [11]).

Der vorliegende Bericht fasst die Untersuchungen zur Abklärung der Verdichtbarkeit von Quarzsand-Bentonit-Gemischen zusammen.

¹⁾ siehe NTB 84-33, Band 2, für weitere Literaturhinweise [10].

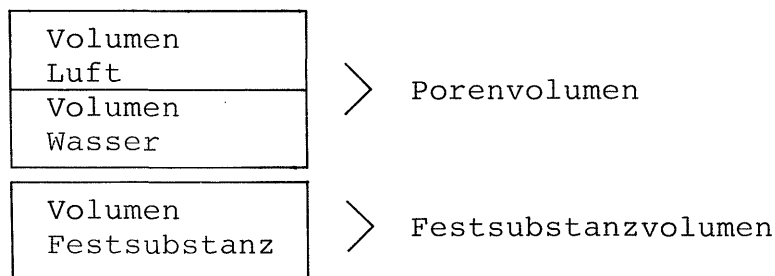
2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

2.1 Allgemeines

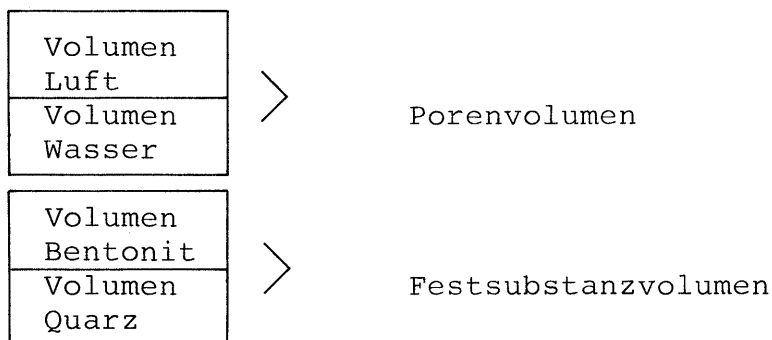
Eine Bodenprobe beinhaltet die folgenden drei Phasen:

- Festsubstanz
- Wasser
- Luft

Jede dieser Phasen nimmt einen bestimmten Teil des Gesamtvolumens der Bodenprobe ein:



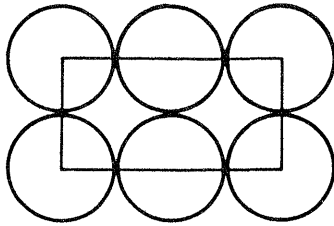
Die Poren der Probe sind mit Wasser und Luft gefüllt. Der Sättigungsgrad gibt das Verhältnis von Wasservolumen zum Porenvolumen der Probe an. Ist das gesamte Porenvolumen mit Wasser gefüllt, spricht man von vollkommener Sättigung resp. vom Sättigungsgrad $S_r = 1$. Aus den Gewichts- und Volumenanteilen der oben erwähnten drei Phasen können der Wassergehalt w , die Feuchtdichte ρ und die Trockendichte ρ_d einer Probe ermittelt werden. Im oben dargestellten Modell wird von einem nicht weiter unterteilten Volumen der Festsubstanz des Probenmaterials ausgegangen. Bei Gemischen, wie zum Beispiel Quarzsand-Bentonit-Mischungen, kann dieses hingegen aus zwei Komponenten zusammengesetzt werden:



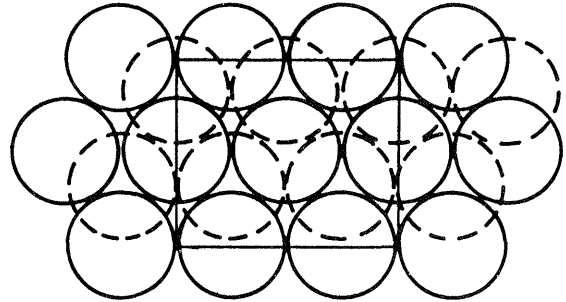
Bei einem Boden mit diesem komplizierten Aufbau ist es möglich, den Wassergehalt w , das Feuchtraumgewicht ρ und das Trockenraumgewicht ρ_d bezogen auf die Gesamtprobe oder aber auf die einzelnen Festsubstanzkomponenten zu bestimmen.

2.2 Porenanteil in gleichförmigen Sanden

Lauter gleich grosse Kugeln können eine dichteste und eine lockerste Lagerung einnehmen.



lockerste Lagerung



dichteste Lagerung

Zwischen den Kugeln gibt es zwangsläufig Hohlräume, welche wir im Modell (Abschnitt 2.1) als Poren bezeichnet haben. Das Porenvolumen V_p bezogen auf das Volumen der ganzen Bodenprobe V_{Tot} wird als Porosität oder Porenanteil n bezeichnet.

$$n = \frac{V_p}{V_{Tot}}$$

Beim oben dargestellten Modellfall, bei dem alle Körner gleich grosse Kugeln sind, beträgt der Porenanteil n für die lockerste Lagerung 47,6 % und für die dichteste Lagerung 26,0 %. Die Porositäten gleichförmiger Böden, wie zum Beispiel Sande mit einer sehr steilen Kornverteilung, liegen nahe bei diesen Werten. Für den in diesem Bericht betrachteten Quarzsand betragen sie gemäss Kap. 3.1 44 % und 38 %.

2.3 Definition der Gewichtsprozente

In allen Quarzsand-Bentonit-Gemischen wird die Menge Quarzsand als 100 % betrachtet. Der Bentonitanteil wird in Gewichtsprozenten dieser Menge angegeben. Dabei bezieht man sich bei beiden Materialien auf das Trockengewicht.

Der Anteil des trockenen Bentonites berechnet sich somit

$$M_{B_s} = M_Q \cdot \frac{X}{100} \text{ [g]}$$

mit M_Q : Masse der Festsubstanz des Quarzes [g]
 M_{B_s} : Masse der Festsubstanz des Bentonites [g]
 X : Bentonitanteil [%]

2.4 Berechnung der mittleren Bentonittrockendichte

Folgende Voraussetzungen werden den nachfolgenden Herleitungen zur Berechnung der mittleren Bentonittrockendichte zu Grunde gelegt:

1. Der verwendete Quarzsand ist trocken;
2. Das im Gemisch vorhandene Wasser wird nur vom Bentonit aufgenommen. Der Quarzsand bindet kein Wasser;
3. Der gesamte Porenraum des Quarzsandes ist gleichmässig mit Bentonit verfüllt. Grössere Luftporen sind nicht vorhanden.

Dieser letzte Punkt trifft in Wirklichkeit nicht zu. Wie in Abschnitt 2.1 bereits erwähnt wurde, haben wir es mit einem Dreiphasensystem zu tun: Festsubstanz, Wasser und Luft. Da die Proben nicht gesättigt sind, weisen sie ein gewisses Luftporenvolumen auf, über dessen Verteilung im Moment noch nichts ausgesagt werden kann. Die maximalen Bentonittrockendichten sind deshalb grösser als die mit Voraussetzungen 3 berechneten Trockendichten.

Im tonmineralogischen Labor sind im Moment Porosimetermessungen im Gange, die über die tatsächliche Verteilung der Luftporen noch Aufschluss geben sollen. Die Ergebnisse dieser Messungen werden möglicherweise eine Abschätzung der maximalen Bentonittrockendichten in den verdichteten Proben gestatten.

In den nachfolgenden Berechnungen werden folgende Abkürzungen verwendet:

w : Wassergehalt bezogen auf das Gesamtgewicht der Quarzsand-Bentonit-Mischung [%]
 w_B : Wassergehalt des Bentonites [%]

M	: totale Probenmasse [g]
M_Q	: Masse der Festsubstanz des Quarzes [g]
M_{B_f}	: Bentonitmasse feucht [g]
M_{B_s}	: Masse der Festsubstanz des Bentonites [g]
X	: Prozentualer Massenanteil des Bentonites [%]
V	: Probenvolumen [cm ³]
V_{Q_s}	: Volumen der Festsubstanz des Quarzes [cm ³]
V_p	: Porenvolumen des Quarzsandes [cm ³]
n_Q	: Porosität des Quarzsandes [%]
ρ_f	: Feuchtdichte der Probe [Mg/m ³]
ρ_d	: Trockendichte der Probe [Mg/m ³]
ρ_{f_B}	: Feuchtdichte des Bentonites [Mg/m ³]
ρ_{d_B}	: Trockendichte des Bentonites [Mg/m ³]

Von einer verdichteten Quarzsand-Bentonit-Probe sind die Masse des trockenen Quarzes M_Q , die Masse des feuchten Bentonites M_{B_f} , der Wassergehalt w_B sowie das Probenvolumen V bekannt. Daraus lässt sich die Masse des trockenen Bentonites berechnen:

$$M_{B_s} = M_{B_f} \frac{1}{1 + \frac{w_B}{100}} \quad [\text{g}]$$

Gemäss Abschnitt 2.3 kann nun der prozentuale Bentonitanteil X bestimmt werden.

$$X = \frac{M_{B_s}}{M_Q} \cdot 100 \quad [\%]$$

Da das spezifische Gewicht von Quarzsand bekannt ist (siehe Abschnitt 3.1) kann das Porenvolumen V_p sowie die Porosität des Quarzsandes berechnet werden.

Es gilt

$$V_{Q_S} = \frac{M_Q}{\rho_{Q_S}} \quad [\text{cm}^3]$$

wobei ρ_{Q_S} mit 2,64 g/cm³ einzusetzen ist.

Somit wird

$$V_p = V - V_{Q_S} \quad [\text{cm}^3]$$

und

$$n_Q = \frac{V}{V_p} \cdot 100 \quad [\%]$$

Liegt dieses n_Q im Bereich zwischen 38 % und 44 %, so darf weitgehend angenommen werden, dass das Quarzkorngerüst einen Korn-zu-Korn-Kontakt aufweist. (vgl. Abschnitte 2.1 und 5.2)

Gemäss den einleitend formulierten Voraussetzungen wird nun angenommen, dass der feuchte Bentonit das gesamte Porenvolumen ausfüllt. Somit berechnet sich

$$\rho_{f_B} = \frac{M_{B_f}}{V_p} \quad [\text{Mg/m}^3]$$

Daraus ergibt sich für die mittlere Bentonittrockendichte

$$\rho_{d_B} = \frac{\rho_{f_B}}{1 + \frac{w_B}{100}} \quad [\text{Mg/m}^3]$$

Der Wassergehalt einer Bodenprobe ist definiert als

$$w = \frac{\text{Masse des Wassers}}{\text{Masse der Festsubstanz}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Da der Quarz beim Einbau im trockenen Zustand vorliegt, lässt sich die vorhandene Wassermenge aus dem Wassergehalt des Bentonites berechnen:

$$M_w = \frac{M_{Bf} \frac{w_B}{100}}{1 + \frac{w_B}{100}} \quad [g]$$

Die Trockendichte der gesamten Probe lässt sich wie folgt berechnen:

$$\rho_d = \frac{\rho_f}{1 + \frac{w}{100}} \quad [Mg/m^3]$$

wobei

$$\rho_f = \frac{M}{V} \quad [Mg/m^3]$$

und

$$w = \frac{M_w}{M_Q + M_{B_s}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Für die Praxis dürfte jedoch vor allem der Wert ρ_f von Bedeutung sein.

Der Zusammenhang zwischen der Trockendichte des Gemisches ρ_d und der Trockendichte des im Korngerüst des Quarzes eingelagerten Bentonites ρ_{dB} wird durch die folgende Formel gegeben

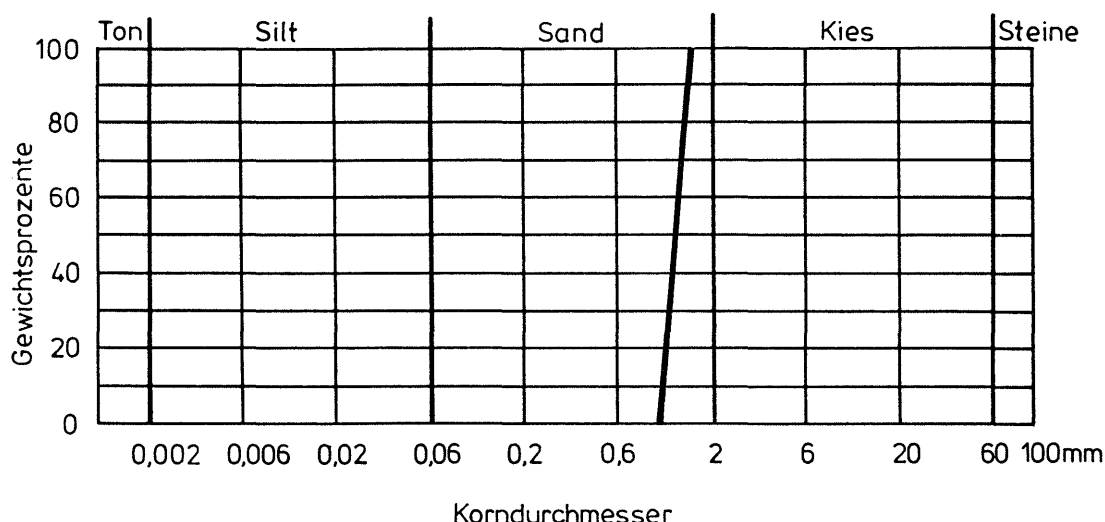
$$\rho_{dB} = \frac{\rho_{Q_s} \rho_d \frac{X}{100}}{\rho_{Q_s} \left(1 + \frac{X}{100}\right) - \rho_d} \quad [Mg/m^3].$$

Dabei ist ρ_{Q_s} die spezifische Dichte des Quarzes und beträgt 2.64 Mg/m^3 .

3. MATERIALIEN

3.1 Quarzsand

Zur Herstellung der Gemische wird ein gebrochener Quarzsand der Firma Zimmerli Mineralwerke AG Zürich verwendet. Die zugelassenen Korndurchmesser liegen im Bereich 1 mm bis 1,5 mm. Die Kornverteilung ist der Figur 1 zu entnehmen.



Figur 1: Kornverteilungsdiagramm des gewählten Quarzsandes

Der Quarz wurde von der Bezugsfirma analysiert. Demgemäss handelt es sich um einen Betaquarz mit einer triagonal trapezoedrischen Kristallstruktur. Das Quarzkorn besteht aus 99,5 % SiO_2 .

In unserem Labor wurden - in Anlehnung an die amerikanische Norm ASTM D2049-64T - die Porenanteile bei lockerster und dichtester Lagerung bestimmt:

lockerste Lagerung: $n_{\text{Max}} = 44 \%$

dichteste Lagerung: $n_{\text{Min}} = 38 \%$

Die spez. Dichte der Festsubstanz ρ_{Qs} beträgt $2,64 \text{ Mg/m}^3$.

Der Grund für die Wahl dieser steilen Kornverteilung liegt darin, dass einerseits im Vergleich zu abgestuften Sanden die Porenanteile n_{Min} und n_{Max} relativ genau bestimmbar

sind, und andererseits die Unterschiede im Porenvolumen zwischen lockerster und dichtester Lagerung am geringsten sind.

Der Quarzsand ist im Archiv des IGB unter der Nr. 41618 gelagert.

3.2 Bentonite

Die Versuche werden vorerst mit dem Na-Bentonit MX-80 und dem Ca-Bentonit Montigel durchgeführt. Eine genaue Beschreibung dieser Materialien ist in NTB 82-04 zu finden.

4. VERDICHTUNGSMETHODE

Die reinen Bentonitproben wurden im Labor in der eigens dafür konstruierten Verdichtungsmulde einaxial verdichtet (siehe NTB 82-05).

Vorversuche haben gezeigt, dass dasselbe Verfahren auch bei Quarz-Sand-Bentonit-Mischungen anwendbar ist, sofern der Bentonitgehalt nicht zu klein gewählt wird.

Es sei jedoch bereits an dieser Stelle erwähnt, dass die zum Erreichen der erforderlichen mittleren Bentonittrockendichten notwendigen Pressdrücke etwa 10-20 Mal höher sind als bei reinem Bentonit.

5. VERDICHTUNGSVERSUCHE

5.1 Durchgeführte Versuche

Anhand von ca. 80 Verdichtungsversuchen mit den beiden Gemischen Quarzsand-MX-80 und Quarzsand-Montigelpulver wurden die Verdichtungseigenschaften untersucht. Variiert wurden folgende Parameter:

- Pressdruck : 80 MN/m² ; 160 MN/m² ; 240 MN/m² ; 320 MN/m²
- Bentonit- : Montigel = 23 % ; 29 % ; 37 % ; 47 %
gehalt MX-80 = 37 % ; 47 %
- Wasser- : Montigel = 9,4 % ; 14,9 % ; 19,2 %
gehalt MX-80 = 13,1 % ; 17,4 % ; 25,1 %
Bentonit

Dabei wählte man die Wassergehalte von MX-80 von Anfang an höher als diejenigen von Montigel, da bei Vorversuchen mit lufttrockenen MX-80 ($w \sim 8\%$) keine stabilen Proben hergestellt werden konnten.

Die Versuche mit Montigel zeigten, dass die Quarzporosität bei Versuchen mit kleineren Bentonitgehalten (23 % und 29 %) deutlich geringer ist als die Porosität, die der dichtesten Lagerung entspricht. Daraus kann auf eine Quarzkornzertrümmerung bei der Verdichtung geschlossen werden. Deshalb sind solch geringe Bentonitdosierungen bei der Versuchsserie mit MX-80 nicht weiter untersucht worden.

5.2 Resultate

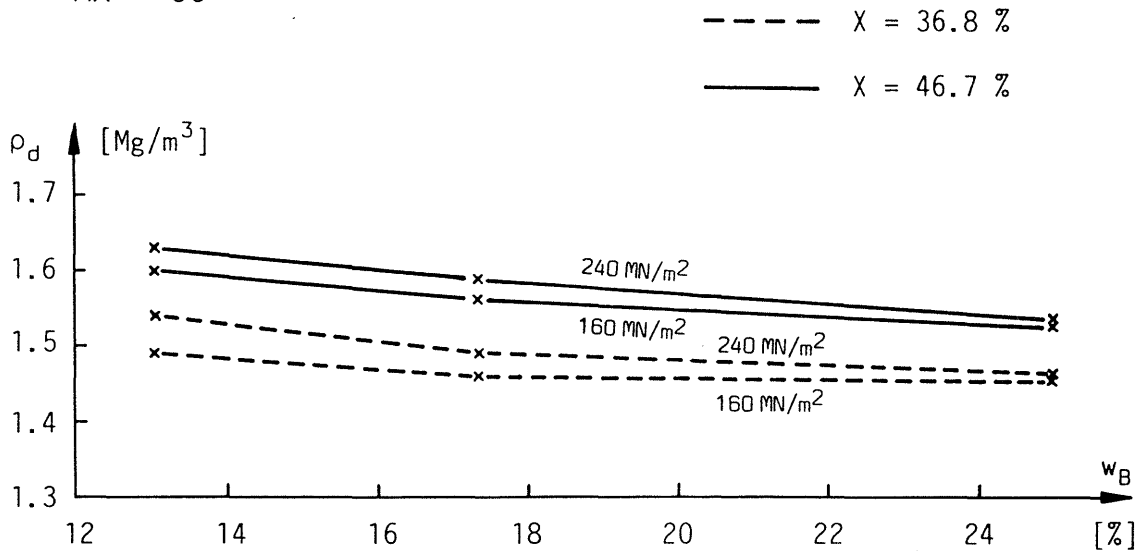
Als Resultate interessieren uns in erster Linie folgende Zusammenhänge:

1. Wie verändert sich bei gleichbleibendem Bentonitgehalt und gleichen Pressdrücken die errechnete mittlere Bentonittrockendichte (ρ_{dB}) in Funktion des Bentonitwassergehaltes?
Es handelt sich hier also um die klassische Verdichtungsaufgabe mit der Frage nach dem optimalen Wassergehalt.
2. Wie verändert sich die Quarzporosität bei gleichbleibendem Bentonitgehalt und gleichem Wassergehalt in Funktion des Pressdruckes? Liegen die erreichten Werte innerhalb der Grenzen für lockerste und dichteste Lagerung?

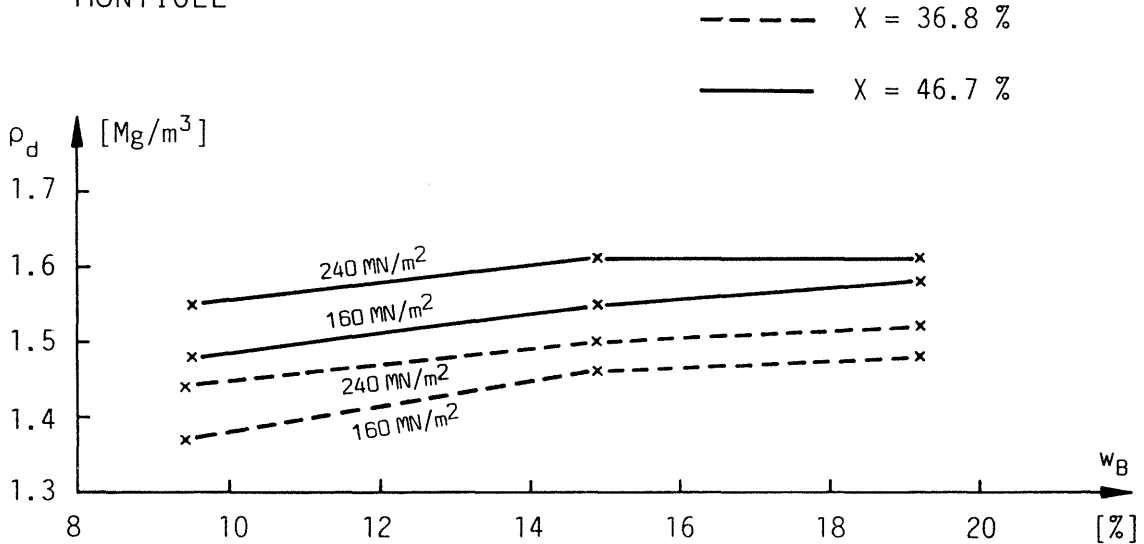
Die Kenntnis dieser Zusammenhänge gestattet, für die gewählte Kornverteilung des Quarzsandes ein optimales Mischungsverhältnis festzulegen.

Die Ergebnisse in Bezug auf Zusammenhang 1) sind für MX-80 in Figur 2, für Montigel in Figur 3 dargestellt.

MX - 80



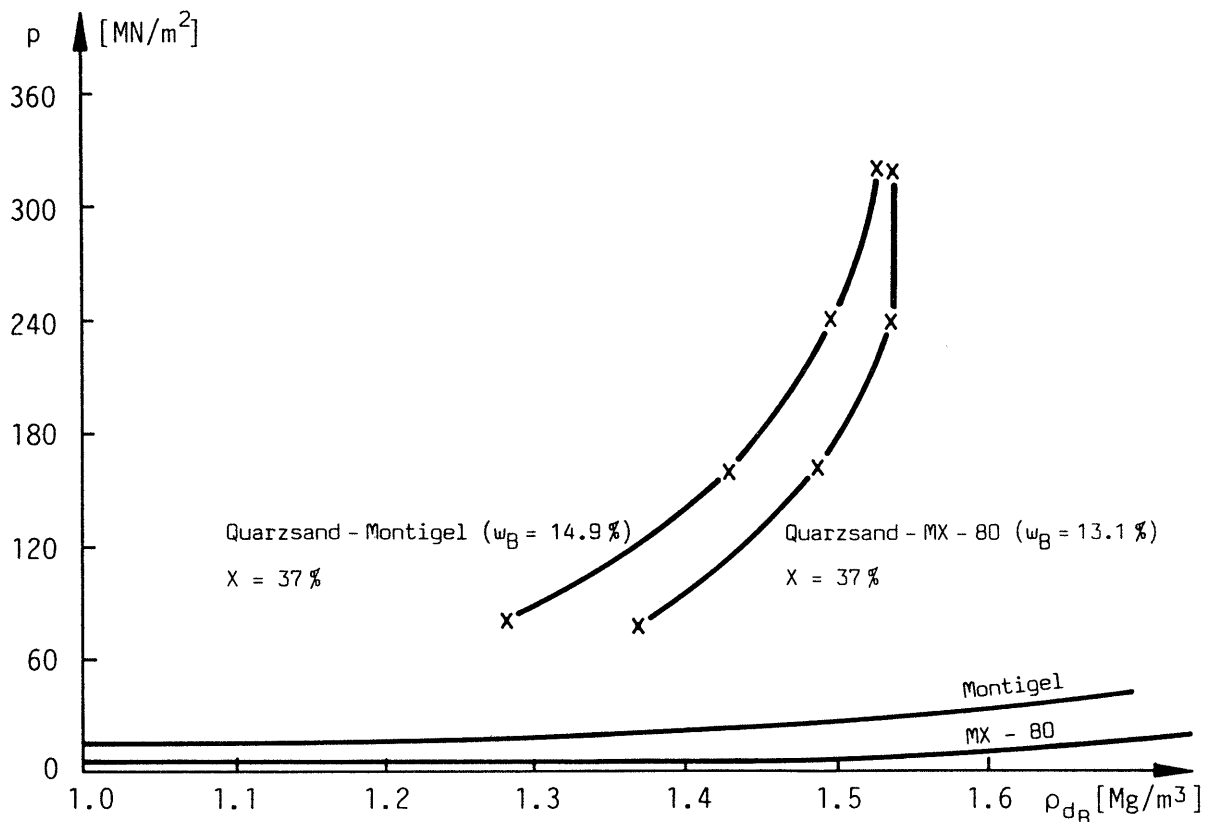
MONTIGEL



Figur 2 und 3: MX-80 (Montigel): errechnete mittlere Bentonittrockendichte ρ_{dB} in Funktion des Wassergehaltes. Kurven für 2 verschiedene Pressdrücke und 2 unterschiedliche Bentonitgehalte.

Bei allen Kurven ist kein eindeutiger optimaler Wassergehalt erkennbar. Aus dem Verlauf der Kurven kann jedoch angenommen werden, dass die höchsten Trockendichten bei beiden Materialien, unabhängig des Bentonitgehaltes, bei einem Bentonitwassergehalt von ca. 15 % erreicht werden.

In Bezug auf Zusammenhang 2) zeigt Fig. 4 die errechneten mittleren Bentonittrockendichten in Funktion der Pressdrücke für Quarzsand-Bentonit-Mischungen sowie als Vergleich für reinen Bentonit.



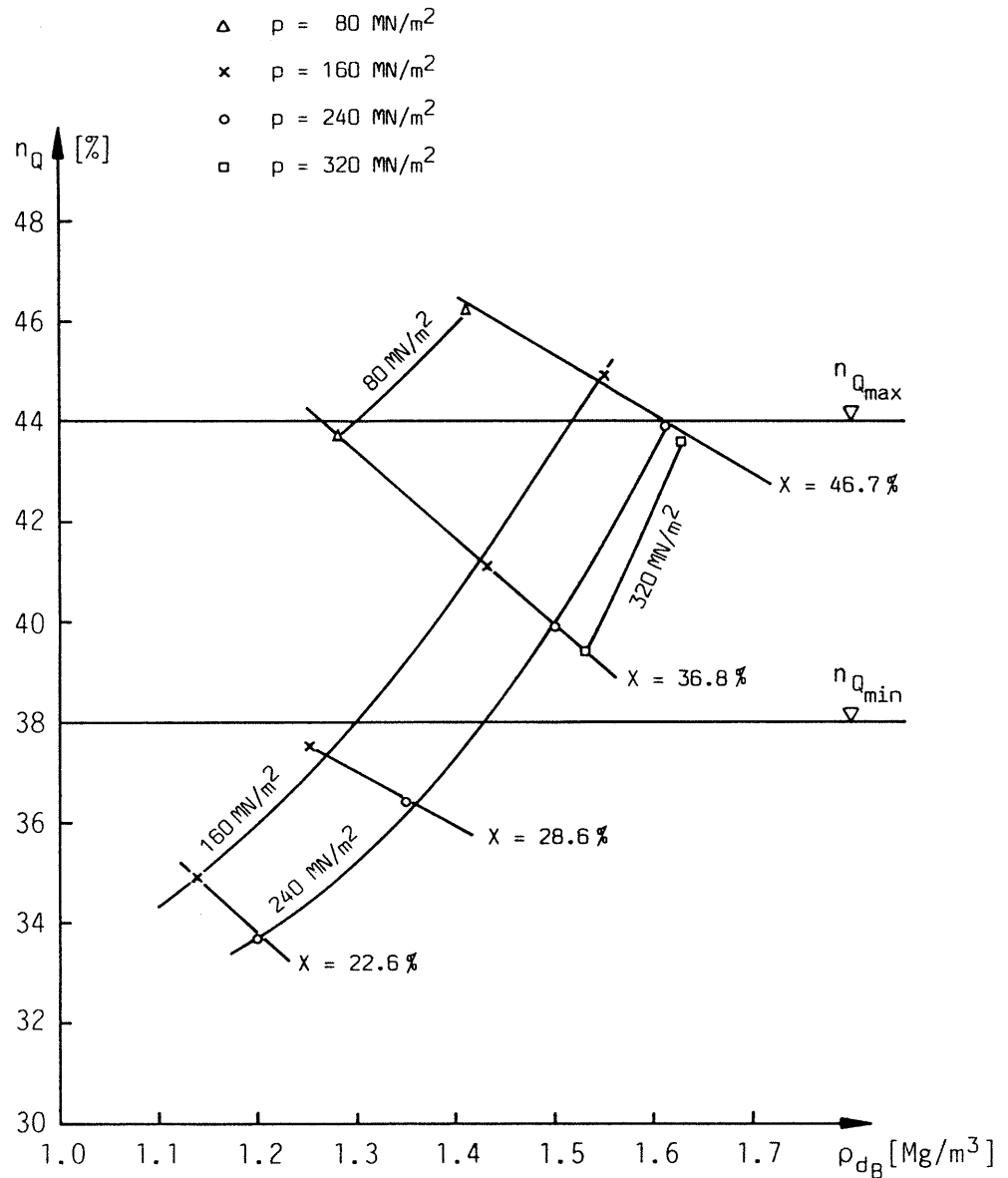
Figur 4: Erforderliche Pressdrücke in Funktion der errechneten mittleren Bentonittrockendichten

Diese Figur verdeutlicht die in Kap. 4 gemachte Aussage, wonach die zum Erreichen einer bestimmten mittleren Bentonittrockendichte notwendigen Pressdrücke 10-20 Mal höher sind als bei reinem Bentonit.

Wie auch bei reinem Bentonit sind zum Herstellen von Proben gleicher Trockendichte bei Mischungen mit dem pulverförmigen Bentonit Montigel wesentlich höhere Pressdrücke erforderlich als bei Mischungen mit dem Granulat MX-80.

Darüber hinaus geht aus der obigen Figur hervor, dass im Bereich sehr hoher Pressdrücke eine Erhöhung der auf-gebrachten Kraft keine wesentliche Vergrößerung der errechneten Bentonittrockendichte mehr zur Folge hat.

Damit der erforderliche Korn-zu-Korn-Kontakt der Quarz-körner erreicht wird, muss der Porenanteil des Quarz-



Figur 5: Zusammenhang zwischen Porosität n_Q und errechneten Trockendichten ρ_{dB} in Funktion von Pressdruck und Bentonitgehalt

sandes n_0 zwischen 38 % (dichteste Lagerung) und 44 % (lockerste Lagerung) liegen. Figur 5 zeigt für Montigel mit einem Wassergehalt von 15 % den Zusammenhang zwischen der Porosität des Quarzsandes n_0 und der errechneten Trockendichten des Bentonites in Funktion des Bentonitgehaltes und der Pressdrücke.

Man erkennt deutlich, dass mit geringen Bentonitgehalten (22,6 % und 28,6 %) Porositäten erreicht werden, die unterhalb denjenigen für die dichteste Lagerung liegen. Dies kann auf eine teilweise Zerstörung der Quarzkörner zurückgeführt werden, was an den verdichteten Proben visuell auch feststellbar war.

Andererseits erreicht man mit hohen Bentonitgehalten (46,7 %) nur noch mit sehr grossen Pressdrücken ($> 200 \text{ MN/m}^2$) einen Korn-zu-Korn-Kontakt. Bei geringeren Drücken schwimmt sonst das Quarzkorn im Bentonit.

Geht man davon aus, dass eine minimale rechnerische Bentonittrockendichte von $1,4 \div 1,5 \text{ Mg/m}^3$ erreicht werden sollte, so erkennt man in der obigen Figur für die in Abschnitt 3.1 beschriebene Quarzsand-Kornverteilung deutlich den Bereich möglicher Mischungsverhältnisse und die entsprechend notwendigen Pressdrücke.

Der Anteil an Montigel-Bentonit sollte somit zwischen 35 % und 45 % liegen, wenn man die Pressdrücke auf z.B. 240 MN/m^2 begrenzen will. Bei Drücken kleiner 160 MN/m^2 werden die Proben allgemein sehr spröde und brüchig.

Für Gemische Quarzsand-MX-80 gelten prinzipiell analoge Aussagen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Proben allgemein spröder sind und mit lufttrockenem MX-80 und Pressdrücken kleiner als 160 MN/m^2 praktisch keine kompakten Proben hergestellt werden können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass MX-80 in der Granulat-, Montigel hingegen in der Pulverform vorliegt.

Bei den schwedischen Versuchen 9 wurden vergleichsweise sehr viel geringere Verdichtungsenergien (entsprechend Proctor Modified) aufgebracht. Daher resultierten kleinere Trockendichten und höhere Wassergehalte der Gesamtproben, z.B. bei einem Bentonitanteil von 30 - 35 % $1,7$ bis $1,8 \text{ Mg/m}^3$ und 12 % gegenüber $2,2$ bis $2,3 \text{ Mg/m}^3$ und 5 % bei den IGB-Versuchen.

Je nach Trockendichte der Gesamtprobe ergeben sich unterschiedliche Bentonittrockendichten, und damit sind auch unterschiedliche Quelleigenschaften, welche zur Zeit untersucht werden, zu erwarten.

Institut für Grundbau und Bodenmechanik
E T H Zürich

H.J.

Prof. H.J. Lang, Vorsteher

LITERATUR

- [1] Müller-Vonmoos M. und Kahr G.: Bereitstellung der Bentonite für die Laboruntersuchungen. NAGRA, Technischer Bericht 82-04, 1982.
- [2] Bucher, F., Jeger P., Kahr G., Lehner J.: Herstellung und Homogenität hochverdichteter Bentonitproben. NAGRA, Technischer Bericht 82-05, 1982.
- [3] Kahr G. und Müller-Vonmoos M.: Wärmeleitfähigkeit von Bentonit MX-80 und Montigel nach der Heizdrahtmethode. NAGRA, Technischer Bericht 82-06, 1982.
- [4] Müller-Vonmoos M. und Kahr G.: Mineralogische Untersuchungen von Wyoming-Bentonit MX-80 und Montigel. NAGRA, Technischer Bericht 83-12, 1983.
- [5] Bucher F. und Spiegel U.: Quelldruck von hochverdichteten Bentoniten. NAGRA, Technischer Bericht 84-18, 1984.
- [6] Kahr G., Hasenpatt R., Müller-Vonmoos M.: Ionendiffusion im hochverdichteten Bentonit. NAGRA, Technischer Bericht 85-23, 1985.
- [7] Bucher F., Jedelhauser P., Jeger P.: Schrumpfversuche an Bentonitproben. NAGRA, Technischer Bericht 85-24, 1985.
- [8] Müller-Vonmoos M. und Kahr G.: Langzeitstabilität von Bentonit unter Endlagerbedingungen. NAGRA, Technischer Bericht 85-25, 1985.
- [9] Pusch R.: Use of clays as buffers in radioactive repositions. KBS - Teknisk Rapport 83-46, 1983.
- [10] Studer J., Ammann W., Meier P., Müller Ch., Glauser E.: Verfüllen und Versiegeln von Stollen, Schächten und Bohrlöchern. NAGRA, Technischer Bericht 84-33, Band 2, 1984.
- [11] Bucher F., Jedelhauser P.: Quell-, Durchlässigkeits- und Schrumpfversuche an hochverdichteten Quarzsand-Bentonitgemischen. NAGRA, Technischer Bericht (in Vorbereitung).