

# **TECHNISCHER BERICHT 82-04**

## **BEREITSTELLUNG VON BENTONITEN FÜR LABORUNTERSUCHUNGEN**

M. MÜLLER-VONMOOS  
G. KAHR

INSTITUT FÜR GRUNDBAU UND BODENMECHANIK  
ETH ZÜRICH, APRIL 1982



# **TECHNISCHER BERICHT 82-04**

## **BEREITSTELLUNG VON BENTONITEN FÜR LABORUNTERSUCHUNGEN**

M. MÜLLER-VONMOOS  
G. KAHR

INSTITUT FÜR GRUNDBAU UND BODENMECHANIK  
ETH ZÜRICH, APRIL 1982



<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	<u>Seite</u>
Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	I
Verzeichnis der Beilagen	III
1. EINLEITUNG	1
2. MATERIAL	2
2.1 MX-80	2
2.2 Montigel	2
2.3 Montigel K	2
3. METHODEN UND ERGEBNISSE	3
3.1 Röntgenographische Untersuchung	3
3.2 Thermoanalytische Untersuchung	3
3.3 Körnung	4
3.4 Karbonatgehalt	4
3.5 Fließgrenze	4
3.6 Methylenblauwert	5
3.7 Kationenaustauschkapazität	5
3.8 Austauschbare Kationen	6
4. DISKUSSION	7
LITERATURVERZEICHNIS	10
BEILAGEN	ab 11

## ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Eine im Auftrag der Nagra durchgeführte Projektstudie für die Endlagerung hochaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen sowie Literaturstudien haben gezeigt, dass sich Bentonit für das von der Nagra vorgesehene Endlagerkonzept für hochaktive Abfälle und schweizerische Verhältnisse als Verfüll- und Versiegelungsmaterial eignen könnte.

In der Folge wurde das Institut für Grundbau und Bodenmechanik an der ETH-Zürich (IGB) mit der Untersuchung von verschiedenen Bentoniten durch die Nagra beauftragt.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf den durch die Schweden vorgesehenen Na-Bentonit MX-80 aus Wyoming und den geographisch günstiger gelegenen Ca-Bentonit Montigel aus Bayern. Beim Montigel werden sowohl das Pulver wie auch das Granulat, welches in der Verarbeitung gewisse Vorteile zeigt, untersucht.

Im Rahmen der vorgesehenen Arbeiten war die Qualität der Bentonite zu überprüfen, insbesondere war festzustellen, ob die gelieferten Bentonite hinsichtlich Zusammensetzung und Eigenschaften homogen waren.

Massgebend für die Beurteilung der Qualität der Bentonite waren der Montmorillonit-Gehalt, der Karbonat-Gehalt, der Gehalt an oxydierbarer Substanz und die austauschbaren Ionen.

Die Untersuchungen ergaben, dass es sich bei den erwähnten Materialien um typische Na- und Ca-Bentonite handelt und die als repräsentativ betrachtbare Menge von je 500 kg (250 kg beim Montigel K) weitgehend homogen war.

Die Proben wurden röntgenographisch und thermoanalytisch untersucht, ferner die Körnung, der Karbonatgehalt, der Methylenblauwert, die Fliessgrenze, die Austauschkapazität und die austauschbaren Ionen bestimmt.

VERZEICHNIS DER BEILAGEN

Figur A1: Thermoanalytisch-massenspektrometrische Untersuchung von MX-80. Aufheizung mit 10°/min. in strömender Luft. Neben dem Mittelwert der Reaktions-temperatur Angabe der Extremwerte in Klammern.

DTA = Differenztemperatur, TG = Gewichtsänderung,  
DTG = 1. Ableitung der Gewichtsänderung

Figur A2: Thermoanalytisch-massenspektrometrische Untersuchung von Montigel.

Tabelle A1: Wassergehalt, Körnung, Karbonatgehalt, Fließgrenze und Methylenblauwert.

Tabelle A2: Kationenaustauschkapazität und austauschbare Ionen.

## 1. EINLEITUNG

Das schwedische Konzept zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle sieht die Verwendung von Bentonit bzw. Bentonit-Quarzsandmischungen als Verfüll- und Versiegelungsmaterial vor.

Eine im Auftrag der Nagra durchgeführte Projektstudie für die Endlagerung hochaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen sowie Literaturstudien haben gezeigt, dass sich Bentonit auch für das von der Nagra vorgesehene Endlagerkonzept und schweizerische Verhältnisse als Verfüll- und Versiegelungsmaterial eignen könnte.

In der Folge wurde im März 1981 das Institut für Grundbau und Bodenmechanik an der ETH-Zürich (IGB) mit der Untersuchung von verschiedenen Bentoniten durch die Nagra beauftragt.

Die Untersuchungen sehen vor, die insbesondere in Schweden erarbeiteten, konzeptbeeinflussenden Resultate bzw. Parameter durch eigene Methoden bzw. Versuche unter Berücksichtigung der in der Schweiz zu erwartenden Endlagerbedingungen zu verifizieren. Entscheidungsunterlagen für die Wahl der weiter zu verwendenden Bentonitart sollen bereitgestellt und für diese die noch ausstehenden ingenieurtechnischen und nuklearspezifischen Parameter bestimmt werden.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf den durch die Schweden vorgesehenen Na-Bentonit MX-80 aus Wyoming und den geographisch günstiger gelegenen Ca-Bentonit Montigel aus Bayern. Beim Montigel werden sowohl das Pulver als auch das Granulat, welches in der Verarbeitung gewisse Vorteile zeigt, untersucht.

Im Rahmen der vorgesehenen Untersuchungen war die Qualität der Bentonite zu überprüfen; insbesondere war festzustellen, ob die gelieferten Bentonite hinsichtlich Zusammensetzung und Eigenschaften homogen waren.

Zu diesem Zweck wurden von einer im Werk bereitgestellten 500 kg-Charge 2 kg als Vorausbuster entnommen und im tonmineralogischen Labor des IGB untersucht. Nach Feststellung der Eignung wurden die Bentonite in Säcken zu 50 kg an das IGB geliefert und pro Sack 1 kg zur röntgenographischen und thermoanalytischen Untersuchung und zur Bestimmung von Körnung, Karbonatgehalt, Fliessgrenze, Methylenblauwert, Austauschkapazität und austauschbaren Ionen entnommen.

Diese Untersuchungen sind im vorliegenden Bericht im Detail beschrieben.



2. MATERIAL2.1 MX-80 500 kg

Na-Bentonit, Wyoming (USA), Granulat

Bentonit International GmbH, D-41 Duisburg-Meiderich,  
Postfach 326. Lieferung durch Meier-Gaissert C.G.,  
Mittelstrasse 12, 8008 Zürich.

Labornummer 39674/0 tonmineralisches Labor des IGB  
39674/1-9 IGB

2.2 Montigel 500 kg

Ca-Bentonit, Bayern (BRD), Pulver

Süd-Chemie AG, Osternriederstrasse 15, D-8052 Moosburg.

Labornummer 39856/0 tonmineralisches Labor des IGB  
39856/1-9 IGB

2.3 Montigel K 250 kg

Ca-Bentonit, Bayern (BRD), Granulat

Süd-Chemie AG, Osternriederstrasse 15, D-8052 Moosburg.

Labornummer 39857/0 tonmineralisches Labor des IGB  
39857/1-4 IGB

### 3. METHODEN UND ERGEBNISSE

#### 3.1. ROENTGENOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG

Die Proben wurden diffraktometrisch an orientierten Präparaten untersucht. Zum Nachweis von Montmorillonit wurde die Verschiebung des 001-Basisreflexes nach Einlagerung von Glycerin untersucht. Dazu wurden die Präparate mit Glycerin benetzt und über Nacht bei 105°C im Exsikkator in Glycerindampf aufbewahrt.

MX-80 enthielt vorwiegend Montmorillonit, daneben vor allem Quarz, Feldspäte und etwas Karbonat, u.a. etwas Siderit. Der Basisabstand des Montmorillonits betrug 12,35 Å, entsprechend einer Wasserschicht im Zwischenschichtraum. Danach handelte es sich weitgehend um Na-Montmorillonit.

Montigel enthielt neben Montmorillonit etwas Glimmer/Illit, Quarz, Feldspäte und Karbonat. Der Basisabstand des Montmorillonits betrug 15,03 Å, entsprechend etwa zwei Wasserschichten. Danach handelte es sich weitgehend um Montmorillonit mit Ca und Mg als Gegenionen.

#### 3.2. THERMOANALYTISCHE UNTERSUCHUNG

Alle Proben wurden auf einer Mettler-Thermowaage mit angeschlossenem Massenspektrometer (Müller-Vonmoos, Kahr und Rub, 1977) mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 10°/Min. in strömender Luft untersucht. Typische Aufnahmen von MX-80 und Montigel wurden in den Figuren A1 und A2 dargestellt. Neben dem Mittelwert der Reaktionstemperatur wurden die Extremwerte in Klammern angegeben.

Der MX-80 gab sein adsorbiertes Wasser bis 213° ab. Die DTA, DTG (1. Ableitung der Gewichtsabnahme) und die massenspektrometrische Aufzeichnung der Wasserabgabe ließen keine Schulter erkennen. Danach dominierten einwertige Gegenionen. Die exothermen Reaktionen bei 340 und 454° wurden in Stickstoffatmosphäre unterdrückt. Danach handelte es sich um die Zersetzung organischen Materials. Die Reaktion bei 553° wurde unter Stickstoff nicht unterdrückt. Das deutete auf eine Karbonatzersetzung, vermutlich auf die Zersetzung von FeCO<sub>3</sub>. Der MX-80 enthielt etwas Pyrit. Die exothermen Reaktionen und die SO<sub>2</sub>-Entwicklung bei 495 und 555° waren aber sehr schwach und traten nicht bei allen Proben auf. Die OH-Entwässerung bei 711° überlappte mit der Karbonatzersetzung. Bei 951° lag die Hochtemperaturumwandlung des Montmorillonits. Ab etwa 880° begann wieder eine schwache Gewichtsabnahme, wobei im Massenspektrometer SO<sub>2</sub> angezeigt wurde. Der Verlauf

der Thermoanalyse war in allen Proben sehr ähnlich. Die Gewichtsabnahme nach Abgabe des adsorbierten Wassers bis zum Beginn der Gewichtsabnahme bei  $880^{\circ}$  betrug nach Abzug des Karbonat- $\text{CO}_2$  4,38-4,63 mg (Mittelwert 4,48 mg) pro 100 mg ofentrockenes Material. Danach enthielt das ofentrockene Material 90 % Montmorillonit. Dieser Wert war aber sicher etwas zu hoch, da die Gewichtsabnahme durch die Zersetzung der organischen Substanz nicht berücksichtigt wurde. Dagegen dürfte der geringe Pyritgehalt für die Berechnung des Montmorillonitgehaltes unbedeutend gewesen sein.

Die Montigel-Proben gaben ihr adsorbiertes Wasser bis  $379^{\circ}$  ab. Nach der Schulter bei  $210^{\circ}$  herrschten zweiwertige Gegenionen vor. Die Montigel-Proben enthielten kaum organisches Material; auch Pyrit war nicht nachzuweisen. Typisch waren die beiden OH-Entwässerungen bei  $541$  und  $667^{\circ}$ . Sie überlappten mit der Karbonatzersetzung, bei der es sich nach der Schulter bei der massenspektrometrischen Aufzeichnung der  $\text{CO}_2$ -Entwicklung weitgehend um die Zersetzung von Dolomit handelte. Bei  $920^{\circ}$  lag die Hochtemperaturumwandlung des Montmorillonits. Der Verlauf der Thermoanalyse war auch bei den Montigel-Proben sehr ähnlich. Die Gewichtsabnahme nach Abgabe des adsorbierten Wassers betrug nach Abzug des Karbonat- $\text{CO}_2$  4,30-4,61 mg (Mittelwert 4,43 mg) pro 100 mg ofentrockenes Material. Danach enthielt das ofentrockene Material 89 % Montmorillonit.

### 3.3. KOERNUNG

Die Körnung wurde nach Ultraschall-Dispergierung durch nasse Siebung bei 0,06 mm und die Bestimmung des Anteils  $<0,02$  mm und  $<0,002$  mm mit dem Pipetten-Apparat bei Annahme eines spezifischen Gewichtes von  $2,65 \text{ g/cm}^3$  bestimmt (Müller-Vonmoos, 1971). Dazu wurden 2mal 2,5 g lufttrockener Bentonit in je 100 ml 0,01-proz. Calgonlösung 6 Min. beschallt ( $20 \text{ kHz}$ ,  $28,2 \cdot 10^4 \text{ cm}$ ). Der Anteil der ofentrockenen Fraktionen wurde in Prozent des ofentrockenen Bentonits in Tabelle A1 angegeben.

### 3.4. KARBONATGEHALT

Der Karbonatgehalt wurde nach Aufschluss mit verdünnter Salzsäure (2 Volumenteile konzentrierte HCl + 1 Volumenanteil Wasser) volumetrisch nach Passon bestimmt und als  $\text{CaCO}_3$  in Prozent der ofentrockenen Probe in Tabelle A1 angegeben.

### 3.5. FLIESSGRENZE

Die Fließgrenze wurde nach SNV 670 345 mit dem Klopffaparat nach Casagrande und mit dem Fallkonusapparat (Karls-

son, 1981) bestimmt. Bekanntlich bereitet die Bestimmung der Fliessgrenze hochplastischer Tone nach Casagrande Schwierigkeiten. Deshalb wendeten wir auch die Fallkonusmethode an. Von jeder Probe wurden drei Eindringungswerte des Konus im Bereich zwischen 7 und 15 mm gemessen. Aus diesen Werten wurde die Fliessgrenze bei einer Eindringtiefe von 10 mm graphisch ermittelt. Die mit dem Fallkonus bestimmten Werte wurden in der Tabelle A1 zusammengestellt.

Für Montigel streuten die nach beiden Methoden bestimmten Fliessgrenzen wenig. Nach der Casagrande-Methode lagen die Werte zwischen 132 und 135 %, nach der Fallkonusmethode zwischen 131 und 136 %. Beim Montigel K ergaben sich nach Casagrande für die Proben 0 bis 2 Werte von 158 % und nach der Fallkonusmethode Werte zwischen 152-156 %. Die Proben 3 und 4 wiesen hingegen nach beiden Methoden etwas höhere Werte auf. Grössere Streuungen ergaben sich bei der Untersuchung von MX-80 nach der Casagrande-Methode. Die Werte lagen zwischen 472 und 526 % (Mittelwert 500 %). Mit der Fallkonus-Methode wurden Werte zwischen 401 und 423 % (Mittelwert 410 %) bestimmt. Die mit dem Fallkonus bestimmten Werte waren also immer etwas tiefer als die nach Casagrande bestimmten Werte. Das Verhältnis der beiden Mittelwerte betrug 1,22. Schwedische Untersuchungen ergaben ähnliche Ergebnisse.

### 3.6. METHYLENBLAUWERT

Die Bestimmung nach API (1974) wurde wie folgt leicht abgeändert. 300-500 mg lufttrockener Bentonit wurden in 100-150 ml Wasser und 2,5 ml 1-n.  $H_2SO_4$  aufgeschlämmt. 0,01-m. Methylenblaulösung wurde portionenweise (0,2-1 ml) aus einer Bürette zur aufgeschlämzten Suspension gegeben. Die Titration wurde mit einem Tropfen der Suspension auf Filterpapier (Schleicher und Schuell LS 14) überprüft. Zeigte sich ein blassblauer Ring um den Bentonit, war der Endpunkt der Titration erreicht. Nach 15 Min. wurde die Suspension nochmals auf dem Filterpapier geprüft. Die Ergebnisse der Bestimmung des Methylenblauwertes wurden in Millimol pro 100 g ofentrockenes Material in Tabelle A1 zusammengestellt.

### 3.7. KATIONENAUSTAUSCHKAPAZITÄT

Die Kationenaustauschkapazität wurde durch Austausch mit Ammoniumazetat bei pH 7, Auswaschen mit Alkohol und Titration des Ammoniums nach Destillation bestimmt. Die Kationenaustauschkapazität wurde in Milliäquivalent pro 100 g ofentrockene Probe in Tabelle A2 angegeben.

### 3.8. AUSTAUSCHBARE KATIONEN

Zur Bestimmung der austauschbaren Kationen wurden 5 g lufttrockener Bentonit über Nacht in 100 ml 0,2-m. alkoholischer  $\text{NH}_4\text{CNS}$ -Lösung geschüttelt, zentrifugiert und dekantiert. Die Proben wurden 6mal durch Zugabe von 25 ml Alkohol ausgewaschen. Die dekantierte alkoholische Lösung wurde eingedampft. Der Rückstand wurde in Wasser gelöst, und das ausgetauschte Na, K, Mg und Ca wurden flammenphotometrisch bzw. komplexometrisch bestimmt. Der Anteil der Ionen wurde in Milliäquivalent pro 100 g ofentrockene Probe und in Prozent der Summe des ausgetauschten Na, K, Mg und Ca in Tabelle A2 angegeben.

#### 4. DISKUSSION

Bentonite bestehen vorwiegend aus Montmorillonit. Sie ändern ihr bodenmechanisches Verhalten mit den Gegenionen. So ist ihre Plastizität in der Na-Form gross, und sie nimmt mit der Umwandlung in die Ca-Form deutlich ab. In der Natur kommen Bentonite vorwiegend in der Na- und Ca-Form vor. Es schien deshalb sinnvoll, je einen Na- und Ca-Bentonit für die Laboruntersuchungen auszuwählen.

Die schwedischen Untersuchungen wurden vorwiegend mit dem Na-Bentonit MX-80 durchgeführt. Wir wählten den gleichen Bentonit, um die Ergebnisse unserer Untersuchungen mit den schwedischen Arbeiten vergleichen zu können. Das Grundwasser in der Schweiz ist im Gegensatz zu Schweden häufig ziemlich hart. Ein Na-Bentonit wird durch hartes Grundwasser in die Ca-Form umgewandelt. Es schien deshalb sinnvoll, den Schwerpunkt unserer Untersuchungen auf den Ca-Bentonit zu legen.

Die nächsten grösseren Ca-Bentonitvorkommen liegen in Bayern im Raume Moosburg, Landshut, Mainburg. Weitere Bentonitvorkommen in Frankreich und Italien. Bei Annahme eines Stollendurchmessers von 3 m, einer gesamten Stollenlänge von 30'000 m und einem Raumgewicht von  $1.8 \text{ t/m}^3$  würden für eine vollständige Verfüllung eines Endlagers mit Bentonit ca. 400'000 t benötigt. Dies entspricht etwa  $2/3$  einer Jahresproduktion der Süd-Chemie, welche im süddeutschen Raum Bentonit abbaut.

Der Bentonit MX-80 wird als Granulat geliefert. Die Verarbeitung, besonders die Verdichtung des pulverförmigen Montigels, bereitete Schwierigkeiten. Deshalb wurden später noch 250 kg granulierter Montigel geliefert. Beim MX-80 handelt es sich um ein primäres Granulat. Man lässt den grubenfrischen Ton trocknen, zerkleinert und gewinnt das Granulat durch Siebung. Was auf dem groben Sieb bleibt, wird noch einmal zerkleinert und wieder gesiebt. Der Anteil, der das feine Sieb passiert, wird anderweitig verwendet. Das primäre Granulat enthält also nicht den ganzen Bentonit. Seine Zusammensetzung kann deshalb etwas ändern. Der bayrische Bentonit wird zunächst zum pulverförmigen Montigel gemahlen und dann durch Verdichten zwischen Walzen und durch Sieben zum sekundären Granulat verarbeitet. Dabei wird der ganze Bentonit verarbeitet, d.h. das feine Material wird immer wieder verdichtet und gesiebt.

Massgebend für die Beurteilung der Qualität der Bentonite waren der Montmorillonit-Gehalt, der Gehalt an Karbonat und oxydierbarem Material und die austauschbaren Ionen. Bei Annahme von 0,66 Ladungen pro Elementarzelle, einem Molgewicht von 740 und einem Anteil von 20 % der Austauschkapazität als Austausch an Kantenflächen liess sich aus der Austauschkapazität beim MX-80 ein Montmorillonit-Gehalt von 72 % und beim Montigel ein Gehalt von 58 % des ofentrockenen Bentonits berechnen. Aus der Bestimmung des Methylenblauwertes liess sich bei Annahme der Adsorption von 70 mäg Methylenblau an 100 g ofentrockenem Montmorillonit für MX-80 ein Montmorillonit-Gehalt von 81 % und beim Montigel ein Gehalt von 61 % des ofentrockenen Bentonits berechnen. Von ähnlicher Grössenordnung war der Anteil der Fraktion <0,002 mm, der vermutlich weitgehend aus Montmorillonit bestand. Demgegenüber waren die thermoanalytisch bestimmten Werte zu hoch. Beim MX-80 wurde der Gewichtsverlust durch Verbrennung des organischen Materials nicht berücksichtigt. Der Grund für die zu hohe OH-Wasserabgabe beim Montigel ist noch nicht bekannt. Aehnliche Beobachtungen machten wir auch bei der Untersuchung eines anderen Montmorillonits mit zwei OH-Entwässerungen. Das Hauptgewicht der Anwendung der Thermoanalyse lag nicht in der Bestimmung des Montmorillonit-Gehaltes, sondern in der Untersuchung der Homogenität der Bentonite. Der MX-80 enthielt als oxydierbare Substanzen organisches Material,  $\text{FeCO}_3$  und sehr wenig Pyrit. Nach der Thermoanalyse war der Gehalt an organischer Substanz im MX-80 wesentlich grösser als im Montigel. Der Gehalt an organischer Substanz war im Montigel sehr gering. Pyrit und  $\text{FeCO}_3$  liessen sich nicht nachweisen. Beide Bentonite enthielten wenige Prozente Karbonat. Die Karbonate sind löslich und können die Austauschgarnitur des Montmorillonits beeinflussen. Nach Austausch mit Ammoniumrhodanid in Alkohol betrug der Na-Anteil im MX-80 89 % und die Summe von Ca und Mg beim Montigel 97 %. Es handelte sich also um einen ausgesprochenen Na- bzw. Ca-Bentonit. Die meisten Ca-Bentonite enthalten einen bedeutenden Anteil Mg in der Austauschgarnitur. Die Fließgrenzen entsprachen Bentoniten in der Na- und Ca-Form.

Bentonite kommen in bis 3 m mächtigen Schichten vor. Die Zusammensetzung der Schichten kann ändern. Der aus verschiedenen Schichten abgebaute Bentonit muss also gut vermischt werden, um Bentonite gleichbleibender Qualität

herzustellen. Es war deshalb zu prüfen, ob das in Säcken zu 50 kg gelieferte Material von gleicher Qualität war. Dieser Nachweis wurde durch unsere Untersuchungen erbracht. Abgesehen von kleinen Abweichungen wie die etwas höhere Fließgrenze von 39857/3 und 4 und kleinen Unterschieden der Körnung zeigten die Untersuchungen, dass das gelieferte Material weitgehend homogen war.

Institut für Grundbau  
und Bodenmechanik,  
ETH-Zürich

H.J.L.

Prof. H.J. Lang  
(Vorsteher)



LITERATURVERZEICHNISPublikationen

- /1/ API (American Petroleum Institute) (1974):  
Standard Procedure for Testing Drilling Fluids.  
API RP 13B, 5th Ed.
- /2/ Karlsson, R. (1981): Consistency Limits.  
Swedish Council for Building Research, Stock-  
holm, 42 p.
- /3/ Müller-Vonmoos, M. (1971): Zur Korngrößenfraktio-  
nierung tonreicher Sedimente.  
Schweiz. Miner.Petrogr.Ges., Mitt.51, p 245-257
- /4/ Müller-Vonmoos, M., Kahr, G. und Rub, A. (1977):  
DTA-TG-MS in the Investigation of Clays. Quan-  
titative Determination of H<sub>2</sub>O, CO and CO<sub>2</sub> by  
Evolved Gas Analysis with a Mass Spectrometer.  
Thermochimica Acta, 20, p 387-393.
- /5/ Norm SNV 670 345: Konsistenzgrenzen.  
Schweiz. Normenvereinigung.

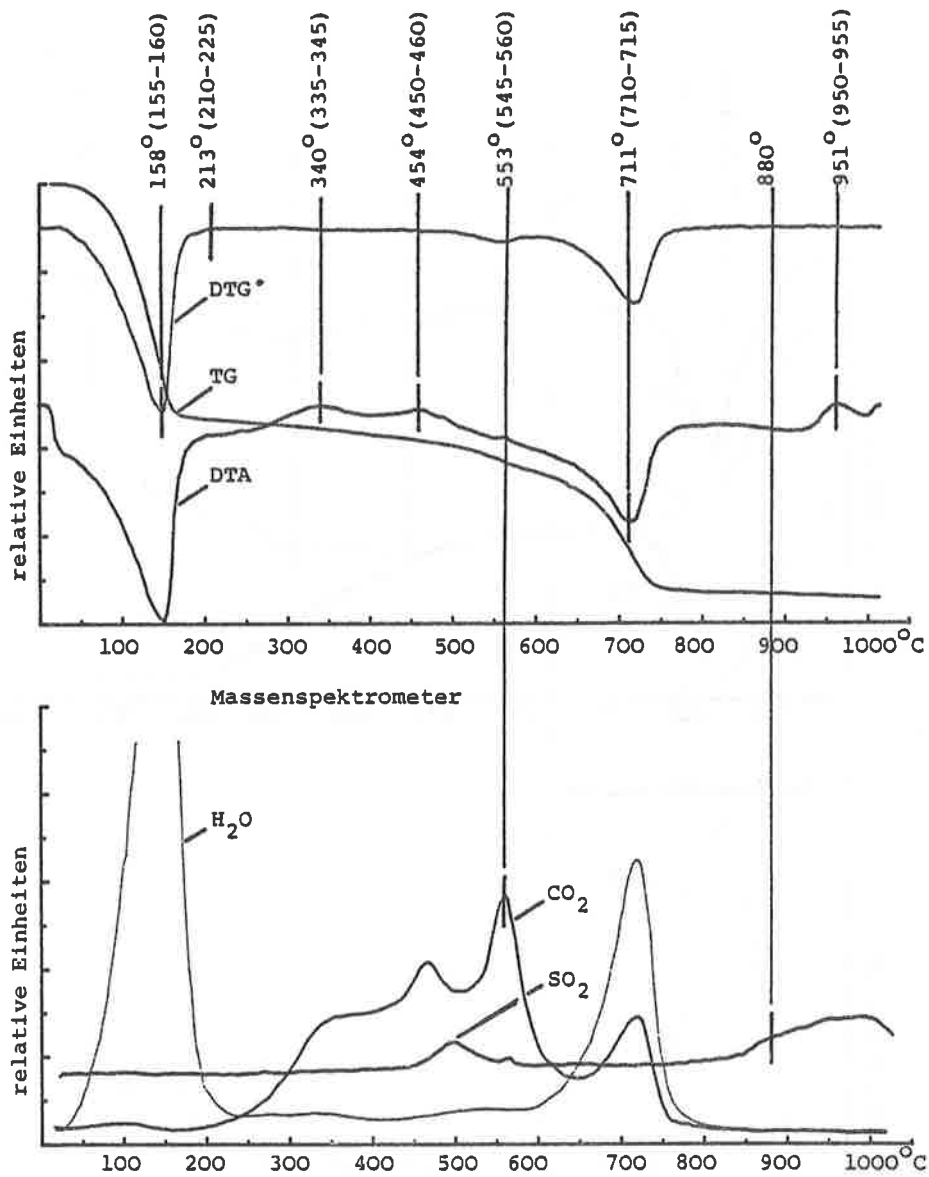


Fig. A1: Thermoanalytisch-massenspektrometrische Untersuchung von MX-80. Aufheizung mit 10°/Min. in strömender Luft. Neben dem Mittelwert der Reaktionstemperatur Angabe der Extremwerte in Klammern.

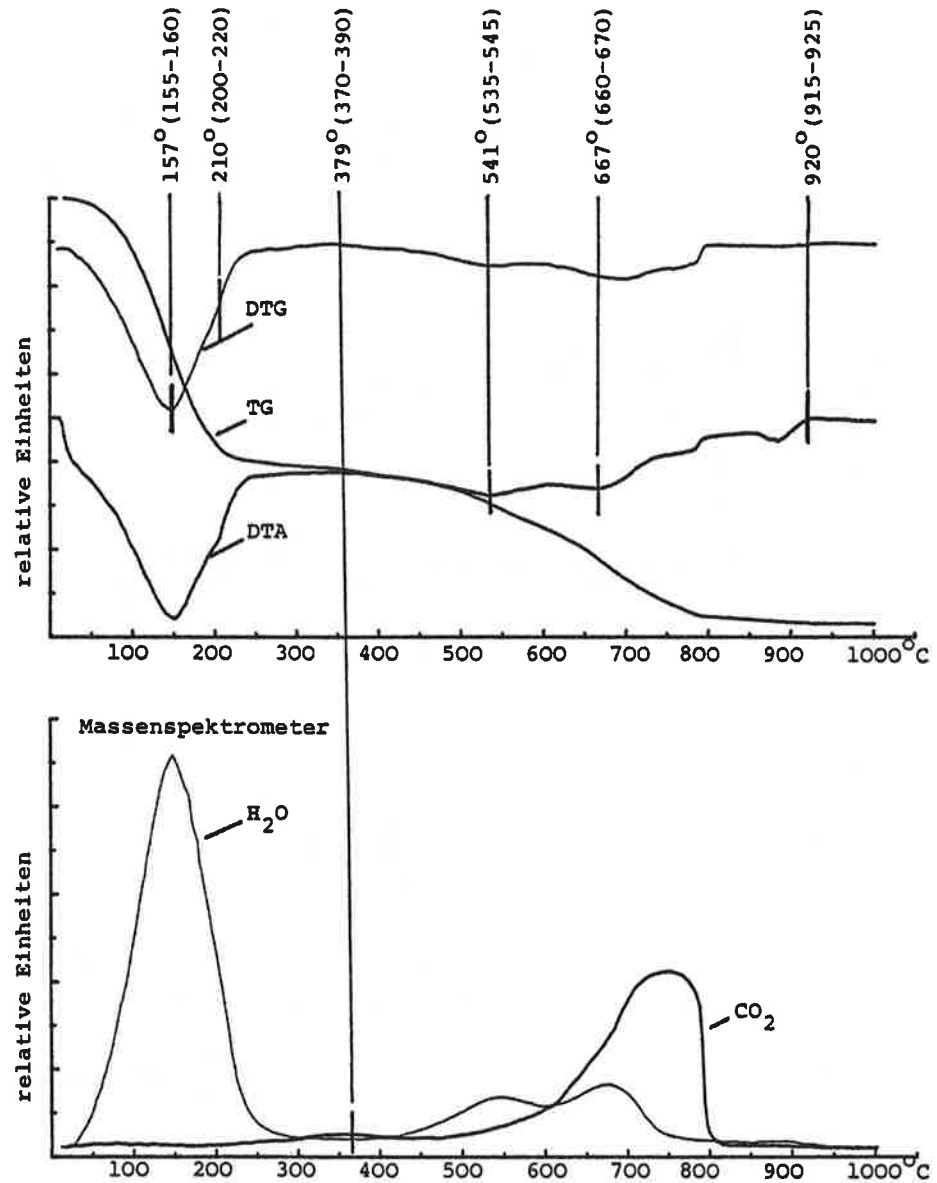


Fig. A2: Thermoanalytisch-massenspektrometrische Untersuchung von Montigel. Aufheizung mit 10°/Min. in strömender Luft. Neben dem Mittelwert der Reaktionstemperatur Angabe der Extremwerte in Klammern.

Tabelle A1: Wassergehalt, Körnung, Karbonatgehalt, Fließgrenze\*  
und Methylenblauwert ( $Mb_W$ ). ( $W_L$ )

Ergebnisse bezogen auf ofentrockenes Material.

Probe	W %	>63 $\mu$ %	20-2 $\mu$ %	< 2 $\mu$ %	Karbonat %	$W_L$ %	$Mb_W$ mmol/100g
<u>MX-80</u>							
39674/0	7,4	5,6	12,9	75,8	1,7	405	57,6
39674/1	7,4	5,2	13,2	77,4	1,7	407	55,7
39674/2	7,6	5,0	13,9	76,4	1,2	420	55,9
39674/3	7,4	5,6	12,3	76,6	1,5	413	55,7
39674/4	8,5	5,3	13,1	76,0	1,3	411	57,8
39674/5	8,5	5,8	12,9	75,5	1,6	402	55,0
39674/6	8,5	6,0	12,6	77,5	1,6	401	55,1
39674/7	8,2	5,0	13,3	76,4	1,3	423	58,4
39674/8	8,5	4,9	13,1	76,3	1,1	410	56,7
39674/9	8,6	5,7	13,2	75,2	1,4	415	56,1
<u>Montigel</u>							
39856/0	8,1	2,6	21,0	70,7	3,7	136	42,7
39856/1	8,5	2,1	17,3	74,4	3,9	135	42,3
39856/2	8,9	2,7	25,6	64,2	3,4	134	42,3
39856/3	7,6	2,2	21,2	70,5	3,8	133	42,5
39856/4	11,6	2,4	20,0	70,3	3,8	134	43,5
39856/5	10,4	2,4	18,8	71,5	3,7	132	42,5
39856/6	10,3	2,4	19,9	70,5	3,6	131	43,0
39856/7	8,9	2,4	19,7	70,1	3,7	131	42,3
39856/8	9,7	2,2	23,9	67,8	3,5	133	42,8
39856/9	9,7	2,6	21,2	69,8	3,8	135	42,8
<u>Montigel K</u>							
39857/0	9,8	2,4	16,8	74,6	3,8	156	40,4
39857/1	9,9	2,0	16,2	76,2	4,0	152	40,7
39857/2	9,7	2,2	16,8	76,2	3,8	155	40,8
39857/3	9,2	2,2	15,8	77,2	3,9	165	40,4
39857/4	10,7	1,9	15,3	78,2	4,2	171	41,4

\* Ermittlung im Fallkonusapparat

Tabelle A2: Kationenaustauschkapazität (KAK) und austauschbare Ionen.  
 Ergebnisse in Prozent des ofentrockenen Materials.

Probe	K	A	K	Na	K	Mg	Ca	Summe				
	mäq/100g	mäq/100g	%	mäq/100g	%	mäq/100g	%	mäq/100g				
MX-80	39674/0	75,5 77,2	76,4	62,4	85,5	0,2	0,3	3,0	4,1	7,4	10,1	73,0
	39674/1*	76,8 77,8	77,3	59,8	90,2	0,1	0,2	2,4	3,6	4,0	6,0	66,3
	39674/2*	76,9 77,3	77,1	60,0	89,7	0,1	0,2	2,2	3,3	4,6	6,9	66,9
	39674/3*	78,1 77,8	78,0	59,4	90,1	0,1	0,2	2,6	4,0	3,8	5,8	65,9
Montigel	39856/0	62,6 61,3	62,0	1,8	2,9	0,2	0,3	22,4	36,1	37,6	60,6	62,0
	39856/1	63,7 64,0	63,9	1,6	2,6	0,2	0,3	22,4	36,7	36,8	60,3	61,0
	39856/2	63,1 63,3	63,2	1,2	1,9	0,2	0,3	22,6	36,6	37,8	61,2	61,8
	39856/3	59,9 61,1	60,5	1,2	1,9	0,2	0,3	22,8	36,7	38,0	61,1	62,2
Montigel K	39857/0	63,2 62,2	62,7	1,0	1,6	0,4	0,7	22,8	37,4	36,8	60,3	61,0
	39857/1	64,2 62,6	63,4	1,0	1,6	0,4	0,6	22,8	36,8	37,8	61,0	62,0
	39857/2	64,2 62,9	63,6	1,2	1,9	0,4	0,6	23,2	36,9	38,0	60,5	62,8
	39857/3	63,6 62,7	63,2	1,0	1,6	0,4	0,6	22,6	36,7	37,6	61,0	61,6

\* Austausch mit 0,1-m. alkoholischer Ammoniumrhodanid-Lösung