

Konstruktion einer Fräsvorrichtung zur Bearbeitung von Gesteinsprüfkörpern

Korte, T.

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wurden am IMW Versuche zur Bearbeitung von unterschiedlichen Gesteinen durchgeführt und eine Vorrichtung zur Bearbeitung von Gesteinsprüfkörpern konstruiert.

In cooperation with the german federal office for geological studies and natural resources, the IMW conducted experiments on the processing of various rock types and designed an apparatus to machine rock test specimen.

1 Einleitung

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist als nachgeordnete Fachbehörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit die zentrale Einrichtung zur Beratung der Bundesregierung in allen geowissenschaftlichen Fragen.

Seit mehreren Jahren werden von der BGR mikroakustische Messungen im Forschungsbergwerk ASSE und im Endlager für radioaktive Abfälle (ERA) Morsleben durchgeführt. Ermittelt werden die Lokationen von Mikrorissbildungen im Gebirge und

die Magnituden der seismischen Abstrahlung bei den Rissprozessen. Zum tieferen Verständnis der Mikrorissbildung und der Risserweiterung im Gebirge insbesondere bei geringer Beanspruchung sowie zur Identifikation von Heilungsprozessen werden in der BGR Laboruntersuchungen an zylindrischen Gesteinsproben bei ein- und triaxialen Beanspruchungen mit passiven und aktiven ultraschallseismischen Aufnehmern durchgeführt.

2 Aufgabenstellung

Zur Vorbereitung der Messungen werden zylindrische Gesteinsproben von 250 mm Länge und 100 mm Durchmesser stirnseitig und verteilt über die Mantelfläche mit insgesamt zwölf mikroakustischen Aufnehmern bestückt. Die Aufnehmer werden dabei in zylindrische Vertiefungen eingesetzt und die Aufnehmerverkabelung wird von der Vertiefung ausgehend in Nuten längs der Mantelfläche zur unteren Stirnseite geführt.

Die Abmessungen der Vertiefungen sollen variabel sein. Gefordert wurde ein Durchmesser bis 12 mm, eine Tiefe bis zu 10 mm und ein ebener Bohrungs-

grund. Die Nuten sind 1 mm tief und 1 mm breit. **Bild 1** zeigt schematisch, wie die Vertiefungen und Nuten am Gesteinsprüfkörper verteilt werden.

Die zu konstruierende Bohrvorrichtung soll eine Aufspannung und Ausrichtung des Probenkörpers ermöglichen und eine exakte Positionierung und Fertigung der Vertiefungen sicherstellen.

Eine weitere Aufgabe war die Durchführung von Bohrversuchen.

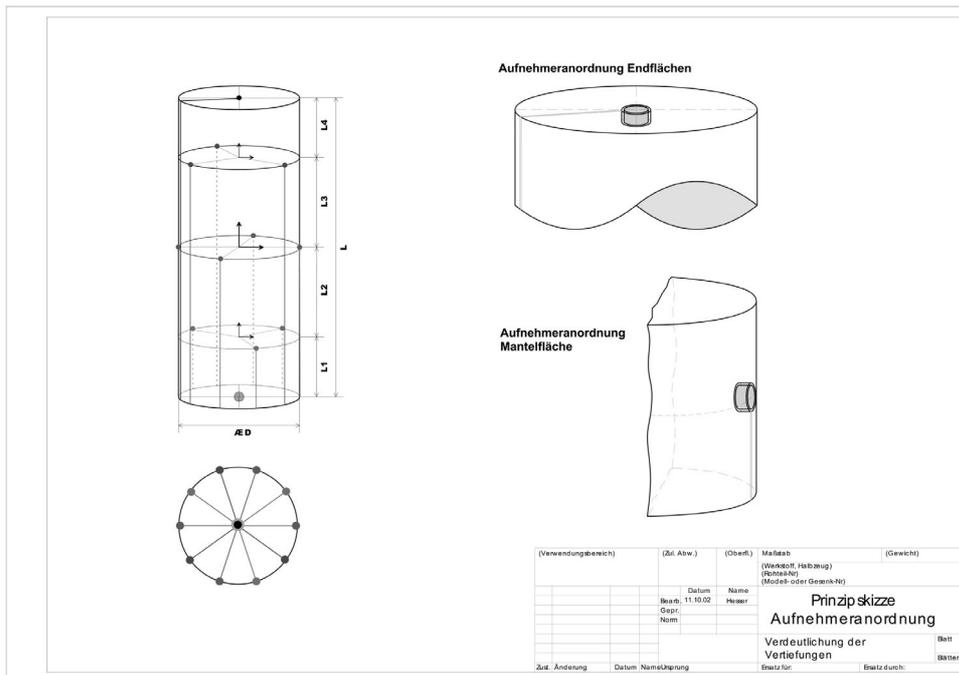


Bild 1: Prinzipskizze Aufnehmeranordnung

Für die Bearbeitung unterschiedlicher Gesteine existieren nur Empfehlungen, die insbesondere auf den Bergbau bezogen sind. Verfahren zur Präparation unterschiedlicher Probenkörper im Laborbereich erforderten Vorversuche zur Auswahl des Bearbeitungsverfahrens, der geeigneten Werkzeuge und angemessener Bearbeitungsparameter.

3 Gestein

Die Untersuchungen an den Gesteinsprüfkörpern dienen in diesem Fall der Standortevaluierung für eine Endlagerung radioaktiver Abfälle. Das Ziel einer untertägigen Endlagerung ist, die Abfälle langfristig sicher einzulagern und dauerhaft von der Biosphäre fernzuhalten. Dies soll durch ein System unterschiedlicher Barrieren gewährleistet werden. Wirtsgestein und geologische Formationen oberhalb eines unterirdischen Endlagers sollten die Funktion einer natürlichen Barriere in einem Mehrbarrierensystem übernehmen. Endlagertypische Gesteine sind Salzgestein, Anhydrit und Tonstein. Diese Gesteine sind unter anderem Gegenstand der Untersuchungen der BGR und daher mit der Bohrvorrichtung zu bearbeiten /1/.

3.1 Tonstein

Tonstein entsteht durch die Ablagerung von Sedimentpartikeln mit einem Durchmesser von weniger als 2 µm. Tonstein verfügt über ein feinstkörniges, geschichtetes Gefüge. Die Dichte variiert entsprechend der Zusammensetzung und des Wassergehaltes. Damit die Eigenschaften sich in Hinblick auf die späteren Versuche nicht verändern, ist eine definierte Lagerung des Gesteins erforderlich. Es ist ein relativ weiches Material mit einer Härte von 1 bis 2 auf der Mohs'schen Härteskala (**Tab. 1**). Tonstein ist geschiefert und hat dadurch bedingt eine geringe einaxiale Druckfestigkeit von ca. 10 MPa.

3.2 Anhydrit

Anhydrit (Kalziumsulfat CaSO_4) entsteht durch marine Evaporation, das heißt durch Ausfällung bei der Verdunstung von Meerwasser.

Es ist ein feinkristallines, klüftiges und sprödes Material. Es hat eine Härte von 3 bis 3,6 entsprechend der Mohs'schen Härteskala. Die Dichte beträgt 2,95 g/cm³. Anhydrit hat eine einaxiale Druckfestigkeit von ca. 60 bis 100 MPa. Es ist an der Luft beständig.

Härtegrad	Standardmineral	Härteprüfung
1	Talk	
2	Gips	Fingernagel
3	Kalkspat	Kupfermünze
4	Flußspat	
5	Apatit	Messer
6	Feldspat	Fensterglas
7	Quarz	Stahlfeile
8	Topas	
9	Korund	
10	Diamant	

Tab. 1: Mohs'sche Härteskala /2/

3.3 Salzgestein

Steinsalz entsteht wie Anhydrit durch marine Evaporation. Es hat in der Regel eine körnige bis grobkristalline Struktur, wobei die Korngrößen entsprechend der Entstehungsgeschichte stark variieren.

Die Mohs'sche Härte beträgt 2,5 und die Dichte 2,16 g/cm³. Die einaxiale Druckfestigkeit beträgt 20 bis 30 MPa.

Steinsalz ist an trockener Luft beständig, wobei Steinsalz und insbesondere Salzstaub an feuchter Luft sehr korrosiv wirkt /3,4/.

4 Bearbeitungsversuche

Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Zunächst wurden die Proben in mit einer Universal-Werkzeugfräsmaschine bearbeitet. Dabei wurden sowohl Bohrungen als auch Nuten erstellt. Diese Versuche führten zu den Erkenntnissen, welche Werkzeuge grundsätzlich zur Bearbeitung geeignet sind und lieferten ansatzweise Grundlagen bezüglich der Bearbeitungsparameter. Die Bearbeitungsparameter wurden systematisch variiert, um so die optimale Schnittgeschwindigkeit und den optimalen Vorschub zu ermitteln.

Es wurden drei Fräsverfahren an den Gesteinsprüfkörpern erprobt:

- Herstellung der Bohrungen mit einem Schafffräser: Ein Schafffräser bietet sich zur Herstellung der Bohrungen an, da die erzeugte Geometrie die Anforderungen einer zylindrischen Bohrung mit ebenem Grund erfüllt.
- Herstellung der Nuten mit einem Schafffräser: Die Nuten werden analog dem Nutenfräsen, wie es zum Beispiel bei der Herstellung von

Passfedernuten im Maschinenbau verwandt wird, erzeugt.

- Herstellung der Nuten mit einem Scheibenfräser: Die Nuten werden dabei durch Stirn-Umfangfräsen hergestellt. Dies entspricht dem Verfahren, wie es vom Auftraggeber bisher durchgeführt wurde. Die Rotationsachse des Werkzeugs steht dabei im Gegensatz zu den anderen Verfahren nicht radial zum Prüfkörper, sondern tangential. Es ist dementsprechend eine Umspannung des Werkstückes, beziehungsweise eine Neuausrichtung des Werkzeuges erforderlich.

Die Versuche zeigten, dass sowohl die Bohrungen als auch die Nuten an sämtlichen Probenmaterialien mit Schafffräsern aus Schnellarbeitsstahl angefertigt werden können. **Bild 2** zeigt eine Bohrung und eine Nut an einem Tonsteinprüfkörper.



Bild 2: Bohrung und Nut an einer Tonsteinprobe

Schließlich wurden Fräsversuche mit Werkzeugen in Originalabmessungen entsprechend der Anforderungsliste durchgeführt. Die hohen Schnittgeschwindigkeiten in Verbindung mit dem geringen Durchmesser des Fräasers führen zu hohen Werkzeugdrehzahlen. Die Bearbeitung der Anhydritprobe mit einer Schnittgeschwindigkeit von 45 mm/min erfordert zum Beispiel bei einem Fräserdurchmesser von 1 mm eine Drehzahl von ca. 14500 Umdrehungen/min. Diese Drehzahlbereiche waren mit der zur Verfügung stehenden Universal-Fräsmaschine nicht zu erreichen.

Es wurde daher in der Werkstatt des IMW eine provisorische Fräsvorrichtung mit einem pneumatischen Geradschleifer als Fräsantrieb angefertigt.

Der Geradschleifer wurde durch eine Führung mit Trapezspindeltrieb bewegt. Die Gesteinsproben wurden mit einem Prisma auf dem Werk Tisch fixiert.

Zum Absaugen des entstehenden Staubes diente ein Staubsauger.

Die bearbeiteten Proben wurden schließlich dem Auftraggeber zur Begutachtung zur Verfügung gestellt. Bei dieser Prüfung wurde insbesondere festgestellt, ob die erzeugte Oberflächenqualität den Anforderungen genügt und ob die Kosten der Werkzeuge in Bezug zur Standzeit seitens des Auftraggebers tragbar sind.

Tab. 2 zeigt eine Übersicht über Richtwerte der Bearbeitungsparameter für die untersuchten Gesteine.

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit v_c	Vorschub f_z
Tonstein	20 m/min	0.02 mm/Fräserzahn
Steinsalz	45 m/min	0.02 mm/Fräserzahn
Anhydrit	45 m/min	0.02 mm/Fräserzahn

Tab. 2: Bearbeitungsparameter beim Fräsen unterschiedlicher Gesteine

Die Richtwerte der Bearbeitungsparameter für die untersuchten Gesteine (**Tab. 2**) geben Anhaltspunkte über die Schnittgeschwindigkeit und Vorschub. Der inhomogene und anisotrope Aufbau verursacht jedoch unsystematisch wechselnde Werkstoffeigenschaften, was die Festlegung der erforderlichen Bearbeitungsparameter erschwert.

Die wechselnden Eigenschaften durch die grobkörnige Struktur des Steinsalzes und des Anhydrites verursachten beim Fräsen in einigen Bereichen der Probe Materialausbrüche am Rand der Nuten und im Übergang zur Stirnseite.

Tonstein zeigte sich aufgrund seines sehr feinkörnigen Gefüges recht stabil bezüglich der Bearbeitungsparameter. Die Tonsteinprüfkörper sind jedoch aufgrund der Schieferung empfindlich und neigen dazu, bei der Handhabung auseinander zu brechen.

5 Ausführung der Fräsvorrichtung

5.1 Kinematische Beziehungen

Eine grundsätzliche Anforderung bei der Konstruktion der Fräsvorrichtung war die Auswahl der kinematischen Beziehungen zwischen Werkstück (Prüfkörper) und Werkzeug (Schafffräser). Grundsätzlich

können die Relativbewegungen sowohl vom Werkstück als auch vom Werkzeug durchgeführt werden. Die Bohrversuche zeigten, dass mit einem Geradschleifer zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen sind. Aufgrund der geringen Masse des Schleifers ist es sinnvoll, die Vorschub- und Zustellbewegungen vom Werkzeug ausführen zu lassen. Die rotatorische Positionierung an der Mantelfläche erfolgt über das Werkstück. Weiterhin wurde eine vertikal stehende Ausrichtung des Prüfkörpers gewählt, um keine Biegebeanspruchungen durch das Eigengewicht in der Gesteinsprobe zu erhalten.

5.2 Spannen und Zentrieren

An die Aufspannung des Prüfkörpers wurde eine Reihe von Anforderungen gestellt. Diese sind im wesentlichen:

- Die Druckspannungen sind zu begrenzen, da das Gesteinsmaterial empfindlich ist und hohe Spannungen die späteren Versuchsergebnisse verfälschen oder eventuell Risse verursachen.
- Der Prüfkörper muss um die eigene Achse drehbar sein und eine Bearbeitung in jeder Position ermöglichen.
- Eine Zentrierung und exakte Positionierung des Prüfkörpers ist erforderlich.

Konstruktiv wurden die Funktionen „Positionieren und Zentrieren“ und „Spannen“ getrennt. Die Zentrierung und Positionierung erfolgt über ein Dreibackenfutter. Die Spannbacken werden durch nicht gehärtete Blockbacken ausgetauscht, die auf das Maß der Probenkörper ausgedreht werden. Diese Maßnahme bewirkt, dass die auftretenden Druckspannungen im Werkstück begrenzt sind.

Die Funktion „Spannen“ erfolgt über einen Stempel, der von oben auf die Probe gepresst wird. Die erforderliche Anpresskraft wird durch ein Feingewinde als Spindel aufgebracht. Um eventuell auftretende Parallelitätsabweichungen auszugleichen, ist das Anpressstück kugelförmig ausgeführt. Damit auch hier die Druckspannungen reduziert werden, presst das Kugelstück nicht direkt auf das Werkstück. Vor dem Spannen wird eine Scheibe auf die Stirnseite der Probe gelegt, die die Anpressfläche vergrößert. Die Anpressvorrichtung wird nicht auf den drehbaren Teil der Vorrichtung montiert. Um dennoch eine Rotation des Prüfkörpers zu ermöglichen, wird der Anpressstempel durch ein Lager drehbar gelagert (**Bild 3**).

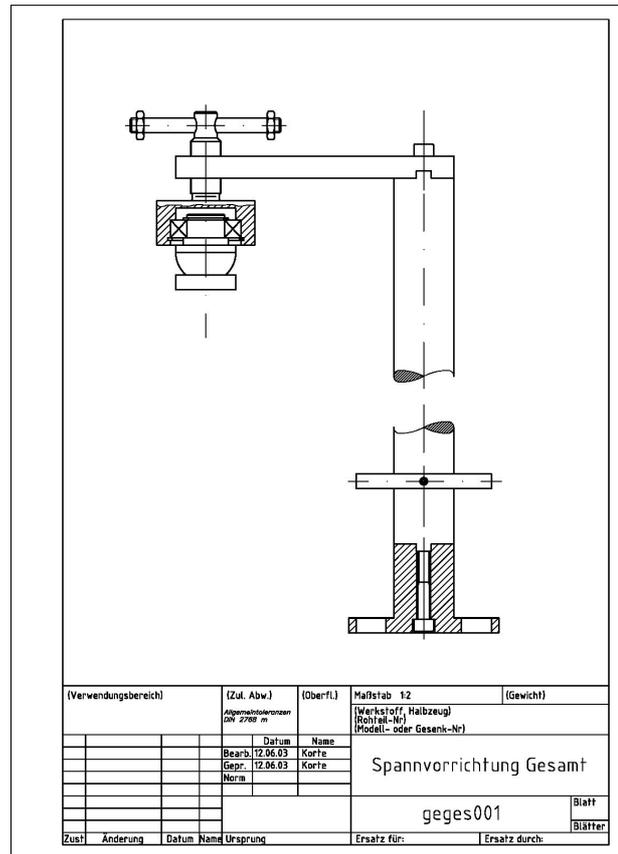


Bild 3: Spanneinrichtung

5.3 Drehen des Prüfkörpers

Die Anforderungen, die an die Funktion „Drehen“ gestellt wurden, sind:

- Ermöglichen einer Rotation um 360°
- Drehen auf eine definierte Position
- Fixierung der eingenommenen Position

Die Rotation des Prüfkörpers wird konstruktiv erfüllt, indem das Dreibackenfutter drehbar gestaltet ist. Dabei wird das Futter auf eine Welle geschraubt, die mit zwei Rillenkugellagern in einem Gehäuse gelagert ist.

Die Funktionen „Einnehmen einer definierten Position“ und „Fixierung der Position“ werden zusammengefasst. Dies ist möglich, da laut Anforderungsliste eine stufenlose Positionierung nicht erforderlich ist. Es wird eine Teilscheibe zentrisch auf die Welle der Dreheinrichtung montiert. Außerdem werden zwei Teilscheiben angefertigt, die über zylindrische Bohrungen in Abständen von 5° beziehungsweise 6° verfügen.

Auf die Grundplatte der Fräsvorrichtung wird eine Führung montiert. In dieser Führung ist ein zylindrischer Stift mit konischer Spitze gelagert. Dieser Stift presst sich durch eine Feder in die Bohrungen der Teilscheibe. Zum Positionieren kann der Stift

gegen die Federspannung zurückgezogen, die Welle mit dem Dreibackenfutter gedreht und der Stift in die nächste erforderliche Position auf der Teilscheibe gerückt werden. Die Durchmesser der Scheiben wurden so bemessen, dass sie ohne Demontage des Dreibackenfutters ausgetauscht werden können. **Bild 4** zeigt die Dreh- und Positioniereinrichtung.

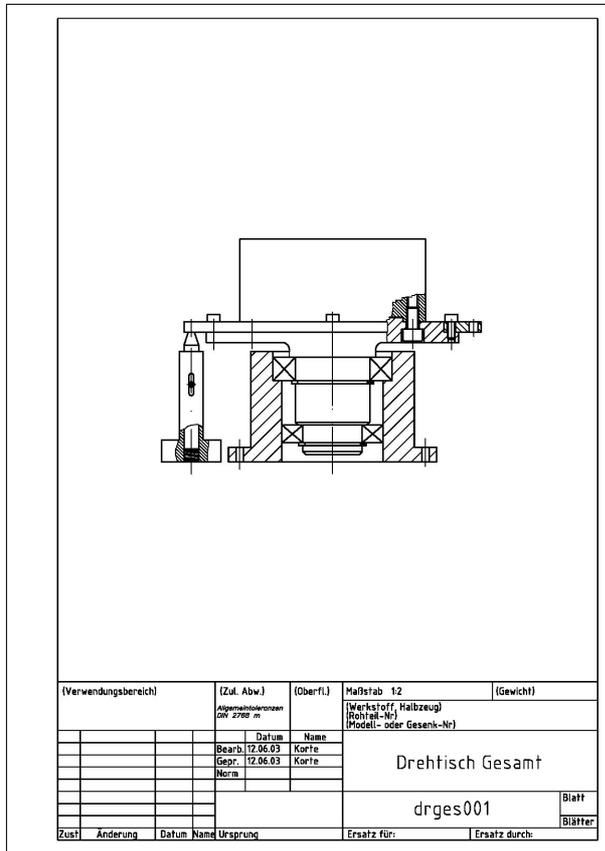


Bild 4: Drehtisch mit Positioniereinrichtung

5.4 Bearbeitung der Stirnseiten

An den Prüfkörpern sind zudem stirnseitig Bohrungen und Nuten herzustellen. Für die Bearbeitung ist ein Umspannen des Werkstückes in die horizontale Lage erforderlich.

Der Probenkörper wird mit einer Werkstückaufnahme fixiert und positioniert. Diese Werkstückaufnahme besteht aus zwei aufklappbaren Prismen, zwischen denen das Werkstück eingespannt werden kann. Die Prismen sind auf eine Scheibe mit dem gleichen Durchmesser wie die zylindrischen Proben befestigt, so dass die Werkstückaufnahme in das Dreibackenfutter gespannt werden kann. Um die Probe zur bereits gefertigten umfangsseitigen Nut auszurichten, ist an der Werkstückaufnahme ein Zeiger angebracht, der die Positionierung der gefertigten Nut auf einer vertikalen Linie mit dem Zentrum der Stirnseite ermöglicht.

Die Stirnseite des zylindrischen Probenkörpers befindet sich im gleichen Abstand zum Fräs Werkzeug wie zuvor die Mantelfläche. Dies wird durch einen Anschlag an der Werkstückaufnahme gewährleistet. Da die Probe dazu außermittig in die Prismen eingespannt wird, was zu einem hohen Biegemoment in der Probe und der Welle der Dreheinrichtung führt, muss der Probenkörper durch eine Stütze gehalten werden. Diese Stütze stellt durch ihre als Prisma gestalteten Auflageflächen zudem sicher, dass die Stirnseite rechtwinklig zur Rotationsachse des Werkzeugs ausgerichtet ist. In **Bild 5** ist die Werkstückaufnahme dargestellt.

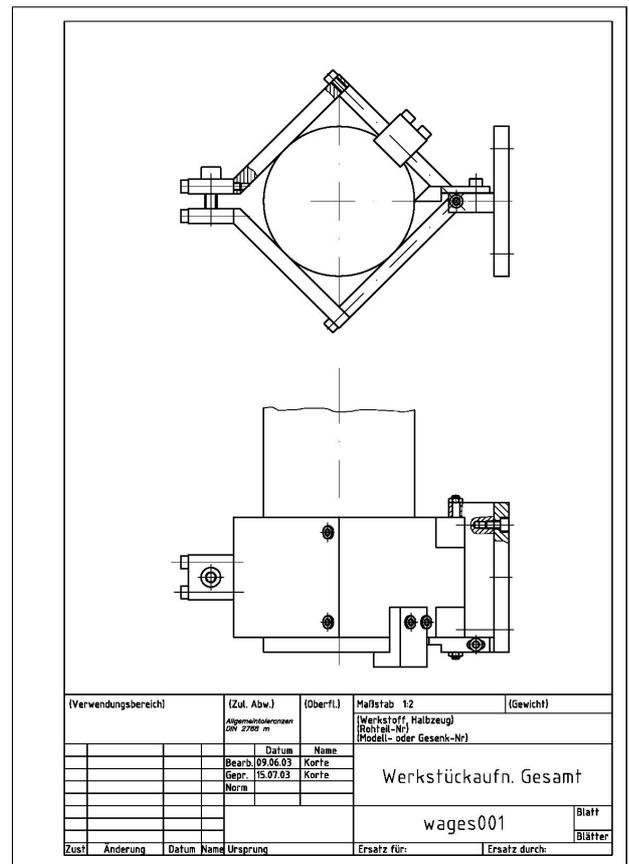


Bild 5: Werkstückaufnahme zur Bearbeitung der Stirnseiten

5.5 Lineareinheiten

Für die linearen Vorschub-, Zustell- und Positionierbewegungen sind Führungen erforderlich. Es werden zylindrische Führungen verwendet. Sie sind durch Faltenbälge vollständig abdichtbar, was insbesondere bei der Bearbeitung der Steinsalzproben von Bedeutung ist, da der entstehende Staub stark korrosiv wirkt. Als Antrieb der Lineareinheiten dient eine Trapezspindel. Das erforderliche Antriebsmoment kann sowohl über ein Handrad als auch über einen Gleichstromtriebemotor aufgebracht wer-

den. Der Motor kann vom Handrad durch eine Mitnehmerkupplung abgetrennt werden (**Bild 6**).

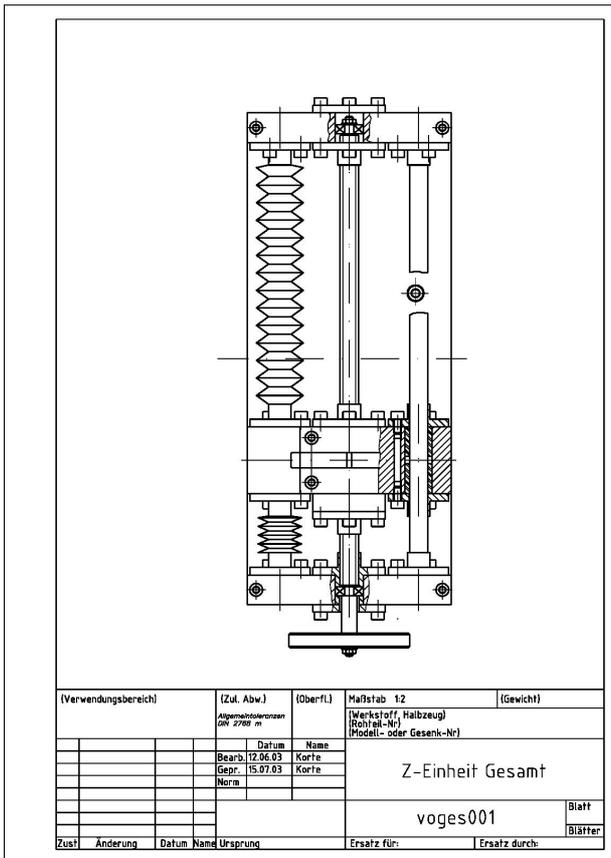


Bild 6: Lineareinheit für radiale Vorschub- und Zustellbewegungen

6 Zusammenfassung

Es wurde eine Bohr- und Fräseinrichtung zur Bearbeitung zylindrischer Gesteinsprüfkörper konstruiert. Basis für die Konstruktion waren Fräsversuche. Es wurde ermittelt, dass herkömmliche Schafffräser aus Schnellarbeitsstahl, angetrieben durch einen Geradschleifer mit hoher Drehzahl, die Anforderungen an Standzeit, Oberflächenqualität und Bearbeitungsgeschwindigkeit erfüllt.

Die Bohr- und Fräsvorrichtung wurde in der Werkstatt der BGR gefertigt und befindet sich dort im Einsatz. **Bild 7** und **Bild 8** zeigen die gefertigte Fräsvorrichtung.

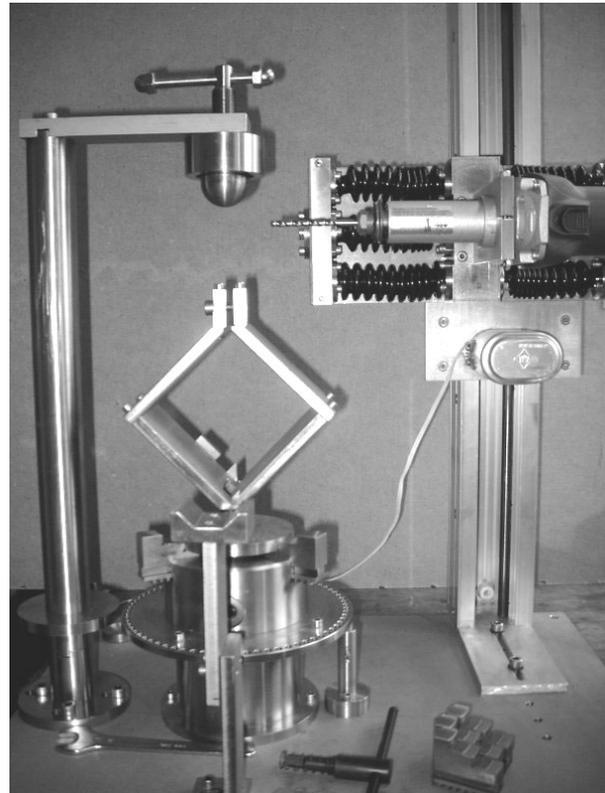


Bild 7: Bohr- und Fräsvorrichtung

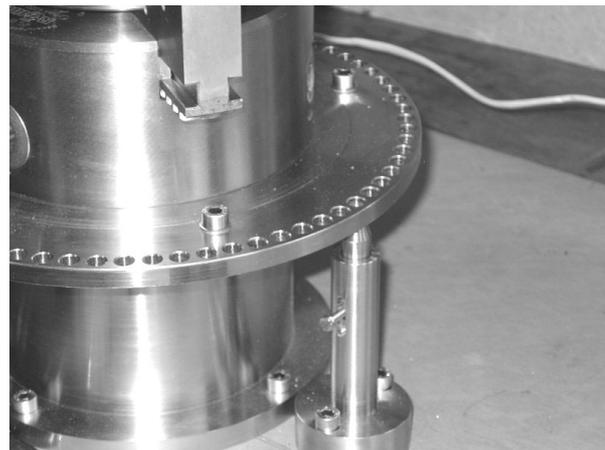


Bild 8: Detail der Dreh- und Positioniereinrichtung

7 Literatur

- /1/ Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte: Auswahlverfahren für Endlagerstandorte : Empfehlungen des AkEnd. 2002 – Abschlußbericht
- /2/ Bentz, A. (Hrsg.) ; Martini, H.J. (Hrsg.): Lehrbuch der angewandten Geologie, zweiter Band, erster Teil. 1. Aufl. Stuttgart : Ferdinand Enke Verlag, 1968
- /3/ Correns, C.: Einführung in die Mineralogie. 2. Aufl. Berlin : Springer, 1968
- /4/ Press, F. ; Siever, R.: Allgemeine Geologie : Eine Einführung. 1. Aufl. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 1995