

**Optimierung des Schneidprozesses und Prognose der relevanten
Arbeitsgrößen bei der Gesteinszerstörung unter Berücksichtigung
des Meißelverschleißes**

Von der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur
(Dr.-Ing.)

vorgelegt

von M.Sc. Maxim Vorona

geboren am 27.01.1985 in Arkhangelsk, Russland

Gutachter: Prof. Dr. Carsten Drebenstedt, Freiberg
Prof. Dr. Genrich Kholodnyakov, Sankt-Petersburg
Prof. Dr. Günter Kunze, Dresden

Tag der Verteidigung: 05.04.2012

Danksagung

Mein besonders herzlicher Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. Carsten Drebenstedt, der mir jederzeit mit hilfreichem Rat zur Seite stand sowie mit seiner wertvollen Erfahrung und konstruktiven Kritik die Qualität dieser Arbeit und mich persönlich gefördert hat.

Herrn Professor Dr. Genrich Kholodnyakov und Herrn Professor Dr. Günter Kunze danke ich für die Übernahme der Gutachtertätigkeit.

Für die stete Förderung des Entstehens dieser Dissertation, die fachlichen Hinweise und die motivierenden Gespräche bedanke ich mich sehr bei meinem technischen Betreuer und Freund Herrn Wolfgang Gaßner.

In gleichem Maße gilt mein Dank meinen Kollegen und Freunden Richard A. Eichler und Andreas Keller, ohne deren Interesse am Fortgang der Arbeiten, viele Stunden Korrekturlesen und ständige Bereitschaft zur Diskussion der Ergebnisse diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Für die wertvolle Hilfe bei der Lösung verschiedener technischer Probleme bedanke ich mich bei Herrn Tilo Tobies und Herrn Gerd Mützberger.

Den ehemaligen und heutigen Mitarbeitern des Institutes für Bergbau und Spezialtiefbau der TU Bergakademie Freiberg Martin Kreßner, Martin Uhlig, Martin Pfütze, Martin Hofmann, Dr. Günter Lippmann, Heike Kempe, Dashdavaa Altansetseg, Elisabeth Grießl und allen hier nicht aufgeführten danke ich für die Unterstützung, freundliche Aufnahme, das positive Arbeitsklima sowie die gute Zusammenarbeit und Hilfsbereitschaft.

Weiterhin schließe ich meine Eltern, meine Schwester, ihren Ehemann, meinen Neffen und meine Nichte in meinen Dank ein, die mit Verständnis und Unterstützung zugegen waren. Besonderer Dank gebührt meine Frau Veronika Modyanova, die während der Anfertigung dieser Dissertation viel Liebe und Geduld aufgebracht hat.

Versicherung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Weitere Personen waren an der Abfassung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Die Hilfe eines Promotionsberaters habe ich nicht in Anspruch genommen. Weitere Personen haben von mir keine geldwerten Leistungen für Arbeiten erhalten, die nicht als solche kenntlich gemacht worden sind.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Datum, Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Aktualität und Bedeutung der Arbeit..... | 7 |
| 2 | Theoretische Grundlagen des Schneidprozesses mit Rundschafmeißeln..... | 9 |
| 2.1 | Auswahl und Auslegung von Rundschafmeißeln..... | 9 |
| 2.2 | Geometrische Parameter von Meißeln..... | 12 |
| 2.3 | Modellbildung der Spanentstehung und Energieeinsatz beim Schneidvorgang | 13 |
| 2.4 | Schnittformen beim Schneidvorgang | 15 |
| 2.5 | Spanformen beim Schneidvorgang..... | 16 |
| 3 | Stand der Technik und des Wissens | 18 |
| 3.1 | Stand der Technik der maschinellen Gesteinszerstörung mit Rundschafmeißeln | 18 |
| 3.1.1 | Überblick zu Gesteinszerstörung mit Rundschafmeißeln im Tagebau | 18 |
| 3.1.2 | Überblick zu Gesteinszerstörung mit Rundschafmeißeln im Tiefbau..... | 19 |
| 3.1.3 | Zusammenfassung zum Stand der Technik | 22 |
| 3.2 | Stand des Wissens zu experimentellen Untersuchungen mit Rundschafmeißeln | 22 |
| 3.2.1 | Überblick zur deutsch- und englischsprachigen Literatur | 22 |
| 3.2.2 | Überblick zur russischsprachigen Literatur | 33 |
| 3.2.3 | Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Literatur | 37 |
| 3.3 | Stand des Wissens zu Verschleiß der Rundschafmeißel | 42 |
| 3.3.1 | Schneidtechnische Einflussgrößen auf den Meißelverschleiß..... | 42 |
| 3.3.2 | Qualitative Klassifizierung des Meißelverschleißes..... | 44 |
| 3.3.3 | Quantitative Klassifizierung des Meißelverschleißes..... | 46 |
| 3.4 | Bewertung der Rolle von Staub und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins im Bergbau..... | 48 |
| 3.4.1 | Staub | 48 |
| 3.4.2 | Stückigkeit des gewonnenen Gesteins..... | 50 |
| 3.4.3 | Zusammenfassung der Erkenntnisse über Staub und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins im Bergbau..... | 51 |
| 3.5 | Ziel der Promotion und Aufgabenstellung | 51 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4 | Beschreibung der Versuchseinrichtung und -methodik..... | 55 |
| 4.1 | Durchführung der Untersuchungen | 55 |
| 4.1.1 | Beschreibung der Voruntersuchungen..... | 56 |
| 4.1.2 | Beschreibung der Hauptuntersuchungen | 57 |
| 4.2 | Eingesetzte Schneidwerkzeuge..... | 60 |
| 4.3 | Versuchsgesteine | 61 |
| 4.4 | Schneidversuchsstand | 63 |
| 4.4.1 | Information zur Sonderhobelmaschine HXS 1000-50 | 63 |
| 4.4.2 | Laserscansystem und Messwerterfassung | 65 |
| 4.5 | Auswertung der Untersuchungen | 68 |
| 4.5.1 | Korngrößenanalyse des gelösten Gesteins..... | 68 |
| 4.5.2 | Ermittlung des Staubmengenanteils | 69 |
| 4.5.3 | Datenhaltung in der Arbeit | 72 |
| 5 | Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen..... | 74 |
| 5.1 | Voruntersuchungen..... | 74 |
| 5.2 | Hauptuntersuchungen | 75 |
| 5.2.1 | Einfluss des Meißelverschleißes auf die Schneidkräfte bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren | 75 |
| 5.2.2 | Einfluss des Meißelverschleißes auf die spezifische Energie bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren | 79 |
| 5.2.3 | Einfluss des Meißelverschleißes auf die Stückigkeit des gelösten Gesteins bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren..... | 80 |
| 5.2.4 | Einfluss des Meißelverschleißes auf die Staubentstehung bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren | 82 |
| 5.2.5 | Einfluss des Meißelverschleißes auf das Gesteinsvolumen bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren | 83 |
| 5.2.6 | Energieeinsatz beim Schneidprozess aus Sicht des Meißelverschleißes | 84 |
| 5.2.7 | Analyse der experimentellen Ergebnisse..... | 85 |
| 6 | Praktische Bedeutung der Arbeit und weiterer Untersuchungsbedarf..... | 96 |
| 6.1 | Anwendung der erhaltenen Resultate in der Praxis | 96 |
| 6.2 | Weiterer Untersuchungsbedarf | 102 |
| 7 | Zusammenfassung | 105 |

| | |
|----------------------------|-----|
| Literaturverzeichnis..... | 108 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 122 |
| Tabellenverzeichnis..... | 127 |
| Symbolverzeichnis..... | 129 |
| Anhangsverzeichnis..... | 131 |
| Anhang..... | 133 |

1 Aktualität und Bedeutung der Arbeit

Im Zuge eines weltweit gewachsenen Umweltbewusstseins wird seit einigen Jahren im Tagebau immer mehr über die Nutzung sprengstoffloser kontinuierlicher Verfahren zur Gewinnung von Festgestein nachgedacht [180]. Dabei handelt es sich zum Beispiel um den Einsatz von Tagebaufräsen (Continuous Surface Miner), der in der letzten Zeit zunehmend an Bedeutung gewinnt. Zu den Gründen zählen unter anderem Emissionen bei den Sprengarbeiten, die von den Anwohnern subjektiv unterschiedlich wahrgenommen werden, wie z. B. Lärm, Staub und Erschütterungen. Des Weiteren führt eine allgemeine Erschöpfung von mineralischen Rohstoffen zur Notwendigkeit eines selektiven Abbaus von Lagerstätten.

Die maschinelle Gewinnung wird auch erfolgreich im Tiefbau angewendet. Geräte wie Walzenschrämlader und Teilschnittmaschinen (Längs- und Querschneidkopf) haben in den verschiedenen bergmännischen Einsatzbereichen einen festen Platz erobert.

Zu Beginn des Einsatzes von Gewinnungsmaschinen wurden die Arbeitsorgane mit Flach-, Dach- und Kerbmeißeln bestückt, die in weichem bis mittelhartem Gestein und in der Kohle gut geeignet waren [37]. In festem, abrasivem Gestein zeigten sie hohen Verschleiß, woraufhin Kegel- oder Rundschaftmeißel sowie später Diskenmeißel entwickelt und eingesetzt wurden. Durch deren Dreh- und Rotationsfähigkeit wurde eine gleichmäßige Abnutzung erzielt (Abb. 1).

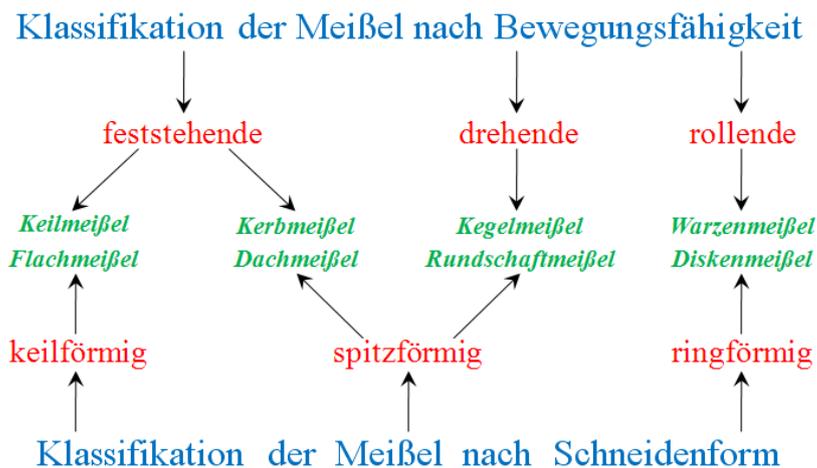


Abb. 1: Klassifikation der verwendeten Meißelarten

Heutzutage werden Rundschaftmeißel an den meisten Gewinnungsmaschinen wie Continuous Surface Miner (CSM), Teilschnittmaschinen und Walzenschrämlader im Bergbau verwendet. Darüber hinaus kommen diese Schneidwerkzeuge bei Maschinen

im Straßen- und Erdbau zum Einsatz. Mit Kerb- und Diskenmeißeln werden üblicherweise Hobelanlagen bzw. Vollschnittmaschinen ausgerüstet.

Die Anforderungen an die Technologie steigen immer weiter. Eine wichtige aktuelle Aufgabe in der Bergbauindustrie ist die weitere Entwicklung der Schneidtechnik. Diese fordert die Durchführung zahlreicher Untersuchungen sowohl des Fertigungsprozesses von Meißeln, der dafür verwendbaren Werkstoffe und der Charakteristiken von Gesteinen, als auch der Bestimmung von günstigen Schneidparametern.

Wie bekannt, haben geologische, felsmechanische und petrographische Eigenschaften des gewonnenen Gesteins (Druckfestigkeit, Abrasivität, Anisotropie etc.), Parameter der eingesetzten Schneidwerkzeuge (Material, Stiftdurchmesser, Keilwinkel etc.) sowie die Schneidbedingungen (Schnitttiefe, Schnittgeschwindigkeit etc.) entscheidenden Einfluss auf den Meißelverschleiß und -verbrauch. Diese bestimmen solche Arbeitsgrößen des Schneidprozesses wie Schneidkräfte, spezifischen Energieaufwand, Löseleistung, Stückigkeit des gelösten Gesteins, entstehende Staubmenge und demzufolge die Effektivität und die Kosten eines Gewinnungsverfahrens.

Bisherige Untersuchungen im Bereich maschineller Gesteinszerstörung mit Meißeln wurden sowohl im Tagebau als auch im Tunnel- und Tiefbau durchgeführt. Die Ausführungen in Kapitel 3 geben einen Überblick über diesbezüglich relevante Beiträge.

Ausgehend von oben stehenden Aussagen besteht die Idee der vorliegenden Arbeit darin, dass die vollständige Auswertung der Effektivität der Gewinnungsmaschine bzw. des Arbeitsorganes nur anhand von systematischen Beobachtungen bzw. Ermittlungen aller Arbeitsgrößen des Schneidprozesses während der gesamten Standzeit der Schneidwerkzeuge möglich ist.

2 Theoretische Grundlagen des Schneidprozesses mit Rundschafftmeißeln

2.1 Auswahl und Auslegung von Rundschafftmeißeln

Zur Bestückung der Gewinnungsorgane bei Surface Minern, Teilschnittmaschinen oder Grabenfräsen steht eine Vielzahl von Rundschafftmeißeln verschiedener Hersteller zur Verfügung. Diese zeichnen sich im Einsatz durch eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Schneidwerkzeugen (Kerb- und Flachmeißel) aus:

- symmetrisch gleichmäßiger Verschleiß;
 - spitzförmig bleibender Meißelstift;
 - breiter Einsatzbereich hinsichtlich der Gesteinseigenschaften;
 - nahezu konstant bleibende Löseleistung über langen Zeitraum;
 - besseres Kühlvermögen;
 - präzisere Fertigung;
 - geringerer Preis.
- } durch die Drehfähigkeit

Sie haben sich deshalb sowohl im Tief- und Tunnelbau als auch im Tagebau durchgesetzt.

Jeder Rundschafftmeißel besteht generell aus einem relativ weichen aber zähen Werkzeugträger aus Stahl, in den ein Stift aus sehr hartem jedoch sprödem Wolframcarbid eingesetzt ist. Auslegung und Aussehen werden von den Herstellern in einer breiten Vielfalt variiert [205]. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die wesentlichen Faktoren oder Parameter von gebräuchlichen Rundschafftmeißeln.

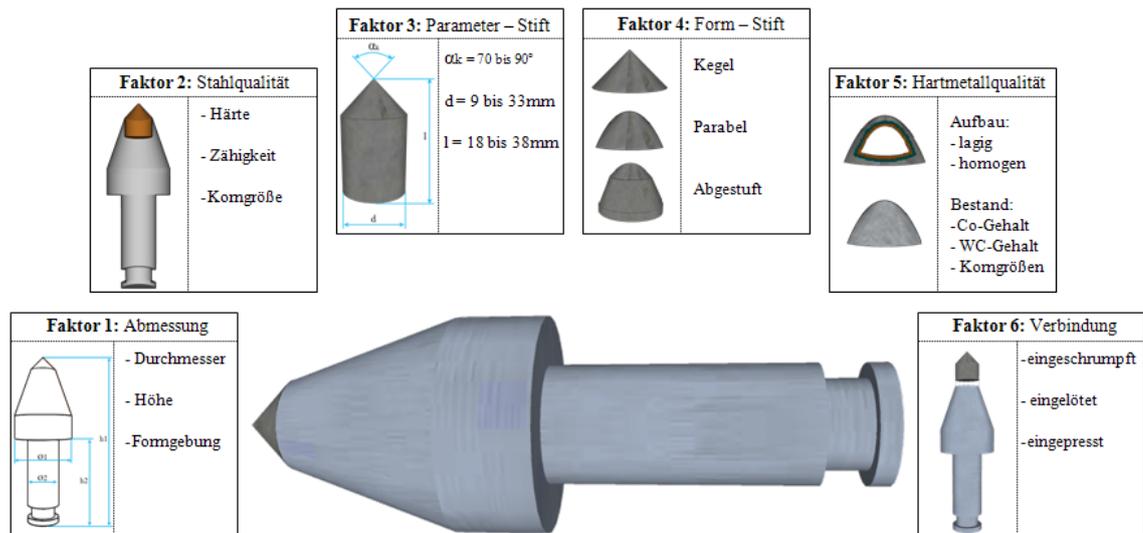


Abb. 2: Variationsmöglichkeiten bei der Auslegung von Rundschachtmeißeln

Die oben dargestellten Parameter richten sich hauptsächlich nach den Gesteinseigenschaften (Druck- und Spaltzugfestigkeit, Gehalt an schleißscharfen Mineralen im Gestein usw.). Um die optimale Wahl zu treffen und folglich die Standzeit der Rundschachtmeißel zu verlängern, gelten empirische Auswahlkriterien für jeden Faktor.

Faktor 1

Momentan bestehen hinsichtlich der Meißelabmessungen „schlanke“ und „gedrungene“ Bauformen. Ihr Einsatz ist wesentlich von den Einsatzbedingungen und den Parametern des Hartmetallstiftes (Faktoren 3 und 4) abhängig.

Faktor 2

Als Werkzeugträgermaterial für Rundschachtmeißel werden in der Regel niedrig legierte Stähle verwendet, deren Qualität für die Standzeit des Schneidwerkzeuges relevant ist. Durch die hohe Verschleißrate des Stahls treten der bevorzugte Verschleiß des Werkzeugträgers und schließlich die Gefahr des Stiftausbruchs aufgrund ungenügender seitlicher Bettung auf.

Faktor 3

Bezugnehmend auf Faktor 2 wird der Meißelstift für die Zerspaltung abrasiven Gesteins vorwiegend länger angefertigt und von massivem Trägermaterial umgeben, wodurch der Verlust (Ausbruch) des Hartmetalleinsatzes möglichst lange verhindert werden kann.

Während in weichem Gebirge die Rundschachtmeißel mit schlanken Stiften verwendet werden, kommen die Schneidwerkzeuge mit größerem Durchmesser der Hartmetalleinsätze bei hartem Gebirge zum Einsatz (Tabelle 1).

Tabelle 1: Parameter des Hartmetallstiftes in Abhängigkeit von den Gesteinseigenschaften

| Gestein | Durchmesser Hartmetallstift | Abrasivität (Verschleißkoeffizient) | Länge Hartmetallstift |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| weiches (< 15 MPa) | 9 bis 14 mm | geringe (< 1 N/mm) | 18 bis 25 mm |
| mittelhartes (15 bis 50 MPa) | 12 bis 19 mm | mittlere (1 bis 2 N/mm) | 22 bis 29 mm |
| hartes (50 bis 80 MPa) | 17 bis 25 mm | hohe (2 bis 3 N/mm) | 25 bis 33 mm |
| sehr hartes (> 80 MPa) | 23 bis 33 mm | sehr hohe (> 3 N/mm) | 31 bis 38 mm |

Wichtig ist ebenfalls, dass die Wahl des Keilwinkels (s. Kapitel 2.2), der üblicherweise 70° bis 90° beträgt, durch unterschiedlichste Schneidbedingungen bestimmt wird. Im Gegensatz zu den Rundschäftmeißeln mit stumpfem Keilwinkel, die eine längere Standzeit besitzen, gewährleisten die Meißel mit spitzem Keilwinkel gute Löseleistung durch das bessere Eindringvermögen [15, 16, 17, 95, 170, 171, 55, 105, 142, 148, 205].

Faktor 4

Die kegelförmigen Stifte sind geeignet zur Verwendung in hartem, wenig abrasivem Gebirge, wo die Eindringfähigkeit des Meißels im Vordergrund steht. Um die Schneidwerkzeuge bei der Gewinnung mittelhartes Gesteins mit hohem Gehalt an schleißscharfen Mineralen effizient zu verwenden, sollen abgestufte Hartmetalleinsätze, die widerstandsfähig gegen abrasiven Verschleiß sind, ausgewählt werden.

Faktor 5

Der Hartmetallstift steht im Kontakt mit dem Gebirge und ist infolgedessen den höchsten Kräften und Temperaturen ausgesetzt. Das wird bei der Verwendung von Hartmetallen mit einer einaxialen Druckfestigkeit von 2800 bis 8000 MPa Rechnung getragen. Sie bestehen vor allem aus Wolframcarbid, seltener aus Tantalcarbid, Niobcarbid oder Titancarbid, die durch Kobalt gebunden werden. Dabei spielt der Kobaltgehalt eine erhebliche Rolle, weil mit ihm die Härte und Sprödigkeit des Materials beeinflusst werden kann. So steigt mit abnehmendem Kobaltanteil die Druckfestigkeit an, während die Biegefestigkeit sinkt [89, 148].

Faktor 6

Die Befestigung des Meißelstiftes im Werkzeugträger kann durch drei Verbindungsverfahren erreicht werden: Einpressen, Einschrumpfen und Einlöten. Die Praxis zeigt, dass der Hartmetalleinsatz mit einem Durchmesser bis ca. 12 mm eingeschrumpft bzw. mit größerem Durchmesser eingelötet wird [82].

2.2 Geometrische Parameter von Meißeln

Die Definition der Winkelparameter des einzelnen Meißels im Raum ist in Abbildung 3 dargestellt.

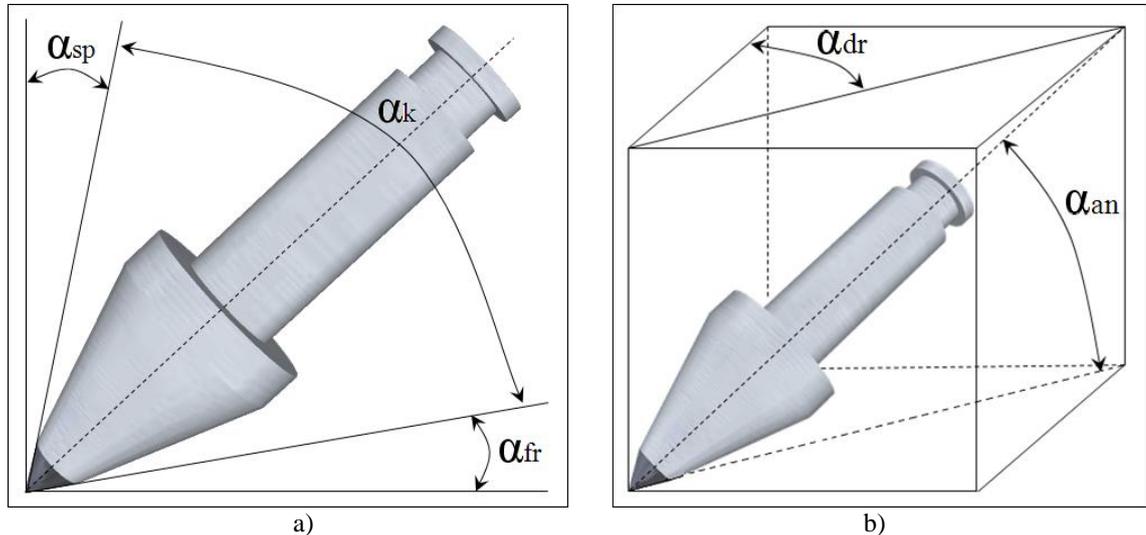


Abb. 3: Definition der Winkel an einem Rundschachtmeißel im Raum

a) Span (α_{sp})-, Frei (α_{fr}) - und Keilwinkel (α_k); b) Anstell (α_{an})- und Drehwinkel (α_{dr})

Span- und Freiwinkel bestimmen die Position des Meißels zum Gestein, der Keilwinkel wird durch die Hartmetalleinsatzgeometrie vorgegeben (Abb. 3-a):

- Spanwinkel (α_{sp}) – Winkel zwischen der Normalen der Schneidbahn und der Mantellinie der Meißelspitze;
- Keilwinkel (α_k) – Winkel der Meißelspitze;
- Freiwinkel (α_{fr}) – Winkel zwischen der Tangente der Schneidbahn und der Mantellinie der Meißelspitze.

Die Stellung des Schneidwerkzeuges bezogen auf das Gewinnungsorgan wird über den Anstell- und Drehwinkel beschrieben (Abb. 3-b):

- Anstellwinkel (α_{an}) – Winkel zwischen der Meißelachse und der senkrechten Projektion der Meißelachse;
- Drehwinkel (α_{dr}) – Winkel zwischen der Tangente der Schneidbahn und der senkrechten Projektion der Meißelachse.

2.3 Modellbildung der Spanentstehung und Energieeinsatz beim Schneidvorgang

Für die Zerstörung von Gestein sind verschiedene Kräfte notwendig, die durch den Hartmetallstift in das Gebirge eingeleitet werden. Um das Eindringen in das Mineral zu vollziehen, den Meißel im Schnitt zu halten und schließlich den Schnitt mit einer konstanten bestimmten Schnitttiefe zu erzeugen, muss eine ausreichend große Andruckkraft (Normalkraft) realisiert werden. Die in der Schnittrichtung auftretende Kraft wird als Schnittwiderstand bezeichnet. Sie dient der Überwindung der Gesteinsfestigkeit und führt zum Ausbruch von Gesteinsstücken (Gesteinskörnern). Tendenziell steigt der Schnittwiderstand mit der hereingewonnenen Gesteinsmenge an. Wenn es zwei Freiflächen oder Diskontinuitäten des Gesteins (z. B. Schichtung, Zwischenmittel) gibt, entsteht zusätzlich eine Seitenkraft.

Infolge der Wirkung der drei oben genannten Kräfte bildet sich eine Zermalmungszone im Gebirge in Richtung der Resultierenden aus. Weiter steigende Spannung führt zur Verformung des Gesteins, sowie zur Ausbildung und Ausbreitung von Rissen bei lokaler Überschreitung der Druckfestigkeit, was den Widerstand (Blockierung) seitens des Gebirges verringert. Während der weiteren Bewegung des Meißels erfolgt die Überwindung der Zugfestigkeit des Materials. Einzelne Stücke werden abgetrennt und aus der Bewegungsbahn des Schneidwerkzeuges entfernt. Hinter dem Meißel kommt es dabei zur Entstehung von Staub [156]. Abbildung 4 stellt die wesentlichen Merkmale beim Schneidvorgang am Rundschachtmeißel dar.

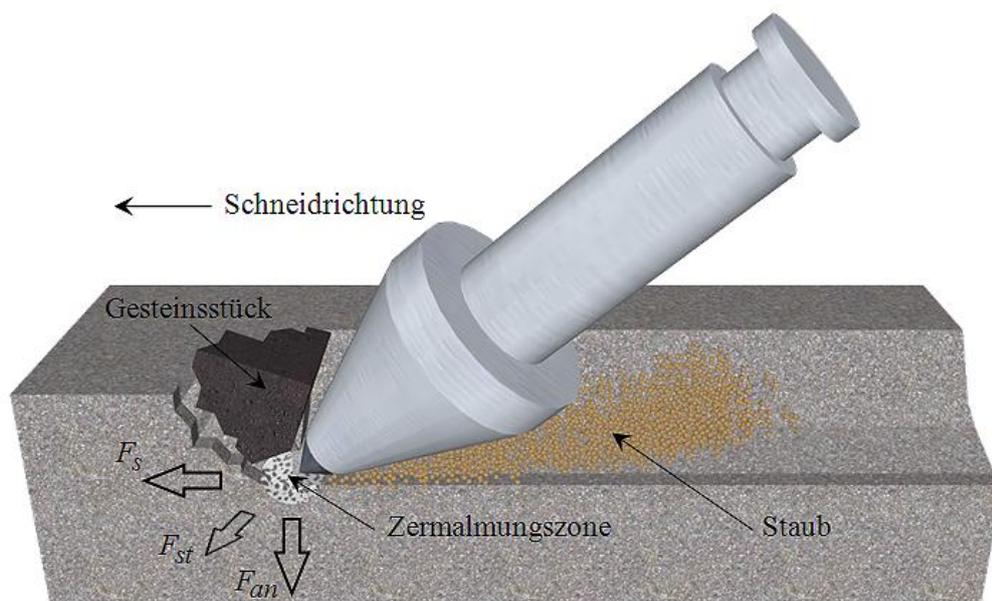


Abb. 4: Schematische Darstellung des Schneidvorganges (teillblockierter Schnitt)
 F_s – Schnittwiderstand; F_{an} – Andruckkraft (Normalkraft); F_{st} – Seitenkraft.

Der Schnittwiderstand F_s kann in zwei Teile zerlegt werden, nämlich in die für die Überwindung der durch die Andruckkraft verursachte Schneidreibung F_{sr} und die für Spanbildung erforderliche Kraft F_{sb} (Formel 1).

$$F_s = F_{sb} + F_{sr} = F_{sb} + \mu \cdot F_{an} \quad [\text{N}] \quad (1)$$

mit: μ Reibungskoeffizient

Auf diese Weise kann die erforderliche Energie Q_s beim Schneidprozess nach Formel 2 berechnet werden.

$$Q_s = Q_{sb} + Q_{sr} = F_{sb} \cdot L_s + \mu \cdot F_{an} \cdot L_s \quad [\text{J}] \quad (2)$$

mit: Q_{sb} Spanbildungsenergie [J]

Q_{sr} Reibungsenergie [J]

L_s Schneidlänge [m]

Der spezifische Energieaufwand W_{sp} gibt an, welche Arbeit (Energie) für das Volumen an gewonnenem Gestein erforderlich ist bzw. mit welcher Kraft entlang der Schnittpur das Gestein aus einem Verband gelöst wird.

$$W_{sp} = \frac{Q_s}{3,6 \cdot V_{hw}} = \frac{F_s \cdot L_s}{3,6 \cdot V_{hw}} \quad [\text{kWh/m}^3] \quad (3)$$

$$W_{sp} = W_{sp}^{sb} + W_{sp}^{sr} = \frac{Q_{sb}}{3,6 \cdot V_{hw}} + \frac{Q_{sr}}{3,6 \cdot V_{hw}} = \frac{F_{sb} \cdot L_s}{3,6 \cdot V_{hw}} + \frac{\mu \cdot F_{an} \cdot L_s}{3,6 \cdot V_{hw}} \quad [\text{kWh/m}^3]$$

mit: V_{hw} Volumen des gewonnenen Gesteins [cm³]

W_{sp}^{sb} spezifische Spanbildungsenergie [kWh/m³]

W_{sp}^{sr} spezifische Reibungsenergie [kWh/m³]

Der in dieser Dissertation verwendete Begriff „relevante Arbeitsgrößen“ umfasst:

- Schneidkräfte;
- spezifische Energie;
- Stückigkeit des gewonnenen Gesteins;
- Staubmengenanteil.

2.4 Schnittformen beim Schneidvorgang

In Abhängigkeit von der Anzahl und der Kombination der Freiflächen unterscheiden sich folgende Schnittformen [68]:

- freier Schnitt – Spanen mit zwei seitlichen Freiflächen;
- teilblockierter Schnitt – Spanen unter gegenseitiger Beeinflussung benachbarter Schnittbahnen;
- vollblockierter Schnitt – Spanen aus dem Vollen;
- vertiefender Schnitt – Spanen durch ständiges Vertiefen der Schnittfurche.

Die Arbeitsweisen heutiger Gewinnungsmaschinen nutzen vor allem voll- und teilblockierte Schnitte. In aufeinander folgenden Schneidzyklen werden diese meist vertieft (Abb. 5).

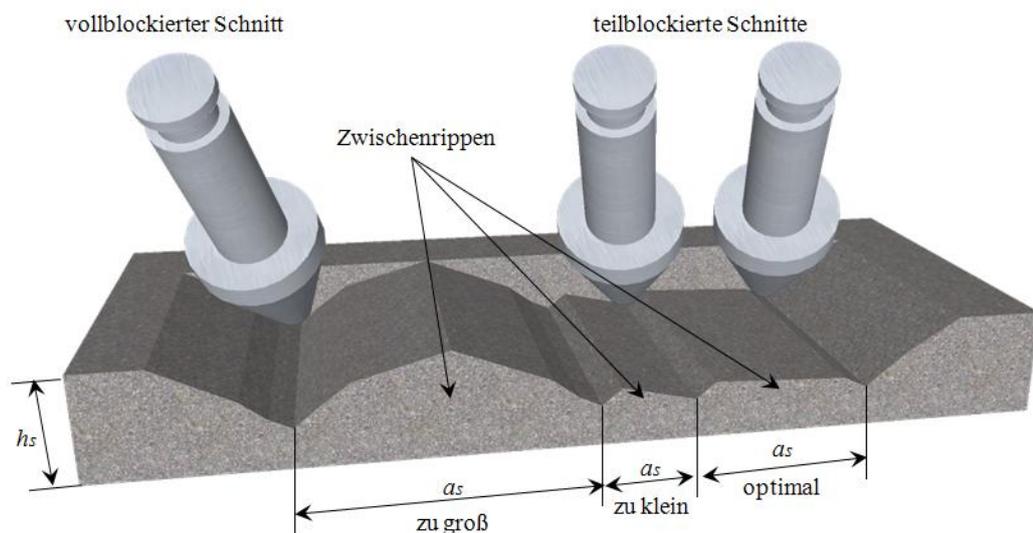


Abb. 5: Voll- und teilblockierte Schnitte: h_s – Schnitttiefe; a_s – Schnittlinienabstand

Beim vollblockierten Schnitt beeinflussen sich räumlich benachbart arbeitende oder zeitlich hintereinander folgende einzelne Meißel gegenseitig nicht. Dies führt zu einer hohen Schnittkraft bzw. spezifischen Energie, um das Gestein lösen zu können.

Die teilblockierte Arbeitsweise ist gekennzeichnet durch den Einsatz eines Schneidwerkzeuges in einem Abstand zur Ausbruchskontur eines vorherigen Schnittes, um zusätzlich zum eigentlichen Spanvolumen die dazwischen befindliche Gesteinsrippe zu brechen. Die Darstellung und die Effektivität von teilblockierten Schnitten werden durch den Rippenbruchfaktor (k) ausgedrückt. Er beschreibt das Verhältnis zwischen Schnittlinienabstand (a_s) und Schnitttiefe (h_s).

Bei zu kleinem Rippenbruchfaktor wird eine geringe Gesteinsmenge hereingewonnen. Wenn k zu groß ist, bleiben Zwischenrippen stehen.

2.5 Spanformen beim Schneidvorgang

In der betrieblichen Praxis gibt es drei grundlegende Spanformen, die je nach den Aufbaubesonderheiten des Arbeitsorgans, der Gewinnungsmaschinen und den Einsatzbedingungen ausgewählt werden (Abb. 6):

- progressive $(h_{s,1} < h_{s,2})$;
- degressive $(h_{s,1} > h_{s,2})$;
- lineare $(h_{s,1} = h_{s,2})$.

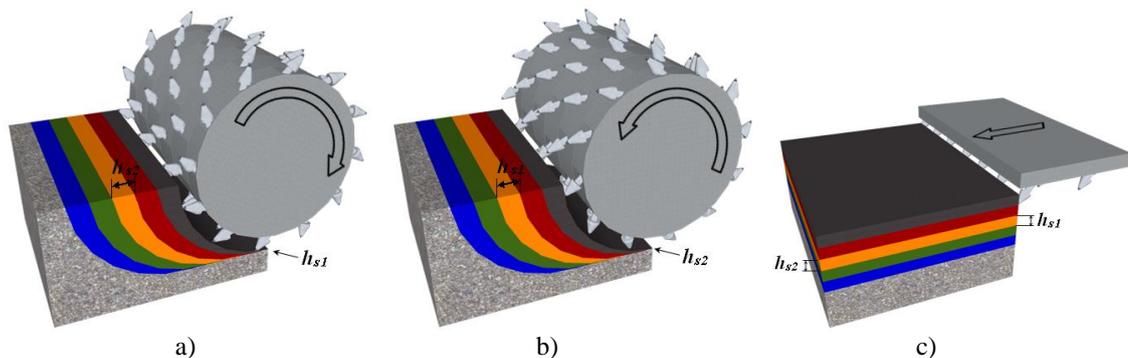


Abb. 6: Verschiedene Spanformen

a) progressive Spanform; b) degressive Spanform; c) lineare Spanform

Die progressive Rotation des Gewinnungsorgans ist unter anderem typisch für Teilschnittmaschinen mit einem Längsschneidkopf und für Surface-Miner mit einer Mittelwalze. Durch die Bewegung der Meißel zur freien Oberfläche hin werden beim Austritt der Schneidwerkzeuge oft große Gesteinskörner ausgebrochen und somit weniger spezifische Energie für die Zerstörung aufgewendet. Während des Schneidvorgangs nimmt die Schnitttiefe stetig zu und der Rippenbruchfaktor verringert sich (Abb. 7-a).

Die Gesteinsgewinnung mit der degressiven Spanform (Teilschnittmaschine mit einem Querschneidkopf und Surface-Miner mit einer Heck- oder Frontwalze) fordert hingegen mehr spezifische Energie, da beim Eindringen des Meißels in den Gesteinskörper die Schnitttiefe maximal ist und während des Schneidprozesses abnimmt. Andererseits wird dabei eine gleichmäßigere Kornverteilung des gewonnenen Materials erreicht (Abb. 7-b).

Bei der linearen Spanform arbeiten die Meißel stets bei konstanter Schnitttiefe und folglich bei konstantem Rippenbruchfaktor, was zum Beispiel für Hobelmaschinen im Strebbau typisch ist (Abb. 7-c).

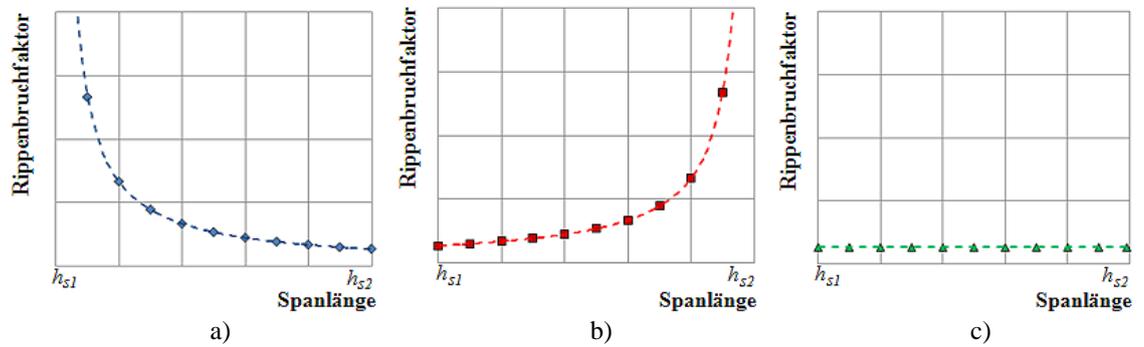


Abb. 7: Änderung des Rippenbruchfaktors in Abhängigkeit von Spanform und -länge
a) progressive Spanform; b) degressive Spanform; c) lineare Spanform

3 Stand der Technik und des Wissens

3.1 Stand der Technik der maschinellen Gesteinszerstörung mit Rundschaftmeißeln

3.1.1 Überblick zu Gesteinszerstörung mit Rundschaftmeißeln im Tagebau

Rundschaftmeißel werden im Tagebau an Continuous Surface Miner (CSM) verwendet. Unter einem CSM wird eine kontinuierlich fräsende Gewinnungsmaschine verstanden, welche das Gestein in dünnen Schichten abträgt.

Die weltweit bedeutendsten Hersteller von Tagebaufräsen sind derzeit:

- Wirtgen (Deutschland) – Modellreihe SM;
- Vermeer (USA) – Modellreihe Terrain Leveler;
- Krupp (Deutschland) – Modellreihe KSM;
- Tenova TAKRAF (Deutschland) – Modellreihe MTS;
- Huron (USA) – Modellreihe Easi-Miner;
- FLSmidth's Rahco (USA) – Modellreihe CME.

Die Einsatzbedingungen der CSM sind im Wesentlichen durch die Gesteinsfestigkeit beschränkt, die normalerweise bis 120 MPa beträgt, und von der Walzenpositionierung abhängig (Abb. 8). Tagebaufräsen von den verschiedenen Herstellern lassen sich in folgende Geräteklassen einteilen:

- CSM mit Frontwalze (z. B. Takraf, Krupp);
- CSM mit Mittelwalze (z. B. Wirtgen);
- CSM mit Heckwalze (z. B. Vermeer).



a)



b)



c)

Abb. 8: Im Tagebau eingesetzte CSM

a) mit Frontwalze (www.takraf.com); b) mit Mittelwalze (www.wirtgen.com); c) mit Heckwalze

Besondere Bedeutung kommt der Drehrichtung der Walze zu. Bei einigen Herstellern schneidet die Walze das Gestein von unten nach oben (progressiv). Vorteilhaft ist, dass die Meißel besser in sehr harte Gesteine eingreifen können. Dabei werden aber beim Austritt der Meißel oft große Gesteinsbrocken ausgehoben, wodurch unter Umständen die Gewinnung beeinträchtigt wird. Im Gegensatz dazu kann durch die Gewinnung von oben nach unten (degressiv) eine gleichmäßigere Kornverteilung erreicht werden [198].

Für die verschiedenen Geräteklassen der CSM sind wichtige Eigenschaften bzw. Merkmale in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Vergleich der Eigenschaften bzw. Merkmale der CSM für die verschiedenen Geräteklassen

| Eigenschaft / Merkmal | Frontwalze | Mittelwalze | Heckwalze |
|---|------------|-------------|-----------|
| hohe Genauigkeit | + | + | + |
| Schneiden von Randbereichen | + | - | + |
| direkte Verladung des Materials | + | + | - |
| Verladung des Materials durch Zusatzgeräte | - | + | + |
| effiziente Nutzung von Gewichtskraft des CSMs | - | + | - |
| unabhängig von der Planumsoberfläche | + | - | +/- |
| guter Zugang zum Meißelwechsel | + | - | + |
| gute Manövrierfähigkeit bzw. Kurvengängigkeit | + | - | + |
| „-“ – nein; „+/-“ – teilweise/relativ; „+“ – ja | | | |

3.1.2 Überblick zu Gesteinszerstörung mit Rundschaftmeißeln im Tiefbau

Alle im Tiefbau eingesetzten Gewinnungsmaschinen mit Rundschaftmeißeln wie im Tagebau sind multifunktionale Geräte, die sich im Wesentlichen aus dem Gewinnungs- und dem Ladesystem zusammensetzen und demzufolge mehrere Einzelarbeitsgänge mit dem Gestein vereinigen [74]:

- Lösen des Gesteins;
- Aufnehmen des gelösten Materials;
- Fördern und Laden des aufgenommenen Materials.

Teilschnittmaschinen (TSM) und Continuous Miner (CM)

Die momentan wichtigen Hersteller der Teilschnittmaschinen in der Welt sind:

- Antraquip (USA) – Modellreihen AQM, AM, SM;
- Dosco (England) – Modellreihen MD, LH;

- Eickhoff (Deutschland) – Modellreihe ET;
- Sandvik (Schweden) – Modellreihen MT, MR, MA;
- Wirth / Aker Solution (Norwegen) – Modellreihe T.

Die optimale Gestaltung der Schneidköpfe von Teilschnittmaschinen ist eine entscheidende Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Vortrieb. Auf diese Weise lassen sich in Abhängigkeit vom Schneidkopf zwei Klassen unterscheiden:

- TSM mit Querschneidkopf (Wirth, IBS, Sandvik, Antraquip, Eickhoff);
- TSM mit Längsschneidkopf (Wirth, Sandvik, Dosco, Eickhoff).

Bei den mit einem Querschneidkopf (QK) ausgerüsteten Maschinen rotieren meist zwei Schrämköpfe quer zur Längsrichtung des Auslegerarmes (Abb. 9-a). Das Gewinnungsorgan der TSM mit Längsschneidkopf (LK) rotiert um die Auslegerachse (Abb. 9-b) [235].

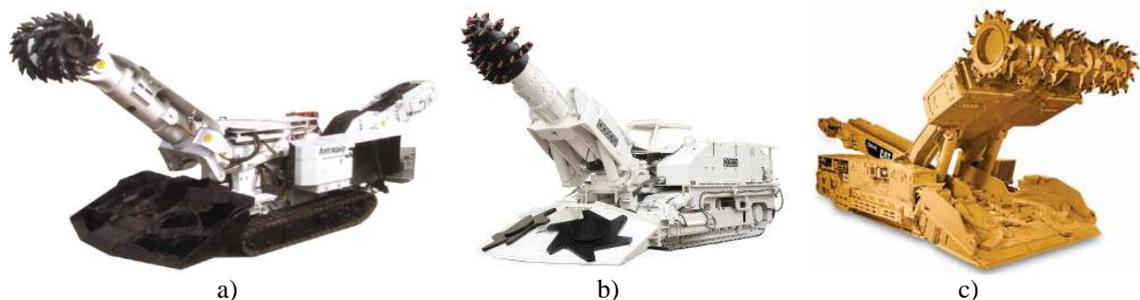


Abb. 9: im Tiefbau eingesetzte Gewinnungsmaschinen mit Auslegern
 a) TSM mit Querschneidkopf (www.antraquip.net); b) TSM mit Längsschneidkopf (www.dosco.co.uk);
 c) Continuous Miner (www.mining.cat.com)

Die Continuous Miner sind mit einem walzenförmigen Meißelträger ausgerüstet, der als Querschneidkopf ausgeführt ist (Abb. 9-c). Der Schneidkopf ist an einem Ausleger angebracht. Zur Gewinnung wird die rotierende Walze an dem vertikal schwenkbaren Ausleger über die Ortsbrust geführt. [40]. Die größten Hersteller im Bereich der Continuous Miner sind:

- Caterpillar (USA) – Modellreihe CM;
- Joy Mining Machinery (USA);
- Sandvik (Schweden) – Modellreihen MT, MR, MA;
- Wirth / Aker Solution (Norwegen) – Modellreihe T.

Tabelle 3 fasst wichtige Eigenschaften und Merkmalen der TSM und CM zusammen.

Tabelle 3: Vergleich der Eigenschaften und Merkmale der TSM und CM

| Eigenschaft / Merkmal | TSM-QK | TSM-LK | CM |
|---|--------|--------|----|
| große Meißelanzahl | + | - | + |
| leichte Innenbedüsung | +/- | + | - |
| Anzahl der Hauptschneidrichtungen | 2 | 3 | 1 |
| großes Überprofil | - | - | + |
| wenig empfindlich bei wechselnden Gesteinseigenschaften | + | - | + |
| hohe Stabilität | + | - | + |
| effiziente Nutzung der Schichtungen des Gebirges | + | - | + |
| gutes Aushalten von Zwischenmittel | +/- | + | - |
| Punktgenauigkeit des Schneidkopfes | - | + | - |
| hohe Schneidleistung | - | - | + |
| „-“ – nein; „+/-“ – relativ/teilweise; „+“ – ja | | | |

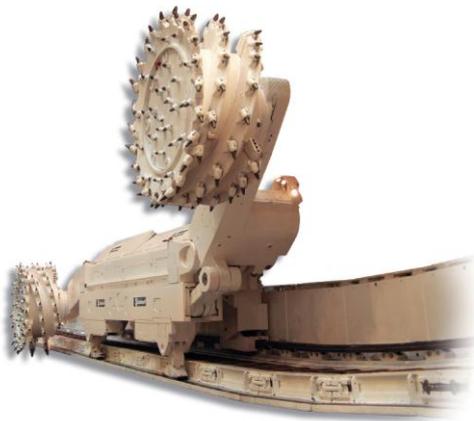


Abb. 10: Eickhoff Walzenschrämlader
(Foto: www.eickhoff-bochum.de)

Walzenschrämlader

Die modernen Walzenschrämlader haben zwei Schrämwälzen. Dabei gewinnt die Hangendwalze zwischen 60 und 90% des Materials, die Liegendwalze führt die Ladearbeiten aus und gewinnt die restlichen 10 bis 40% der Rohstoffe. Für die Ladearbeit werden außerdem Räumereinrichtungen verwendet, die für

den Transport des Materials aus dem Gewinnungsraum auf den Kettenkratzförderer sorgen. [69, 235]. Die größten Hersteller derartiger Geräte sind:

- Eickhoff (Deutschland);
- Caterpillar (USA);
- Joy Mining Machinery (USA).

Die nachgewiesenen Unterschiede dieser Klasse der Gewinnungsmaschinen gegenüber den Hobelanlagen mit Kerbmeißeln, die meistens die Alternative zu den Walzenschrämladern darstellen, sind:

- geeignet für größere Mächtigkeit;
- eine gleichmäßige Beladung und maximale Auslastung der Fördermittel;
- größerer Anfall von Feinkorn als beim Einsatz von Hobelanlagen;
- höherer technischer Aufwand.

3.1.3 Zusammenfassung zum Stand der Technik

Der vorliegende Überblick zur maschinellen Gesteinszerstörung zeigte die Vielfalt der Gewinnungsmaschinen mit Rundschaftmeißeln, die im Bergbau erfolgreich zum Einsatz kommen und die große Anzahl der Hersteller. Die Geräte unterscheiden sich sowohl in Dimension, Leistung, Konstruktion als auch in Gestaltung, Positionierung und Größe des Gewinnungsorgans. Jede Maschinenart hat bestimmte technische Eigenschaften und Vorteile, die auf ihr Einsatzgebiet abgestimmt sind. Jedoch allen Maschinen eigen, ist der Schneidprozess, der durch die Schneidwerkzeuge am Gewinnungsorgan ausgeführt wird.

Deshalb muss für alle diese Geräte der Schneidprozess durch die Bestimmung energetisch günstiger Schneidparameter sowie der richtigen Meißelanordnung optimiert werden. Diese sind abhängig von den Gesteinseigenschaften, der gewünschten Stückigkeit des gelösten Materials und der zu erreichenden Förderleistung.

3.2 Stand des Wissens zu experimentellen Untersuchungen mit Rundschaftmeißeln

3.2.1 Überblick zur deutsch- und englischsprachigen Literatur

Eine Reihe von Arbeiten über das Spanen mit Rundschaftmeißeln, u. a. von *U. Mahnert und H. Gerhardt* [129, 130, 131], *J. Tockner und H. Wagner* [208], *K.G. Hurt* [90], *I. Evans* [46, 49], *Y. Nishimatsu* [141], *K.E. Ranman* [159], *K. Gehring* [60], *A. Laue* [122], *A.W. Khair und V.B. Achanti* [1, 99], *M. Seifert* [182], *P. Sobek* [193], *B. Tiryaki und J.N. Boland* [206], *F.F. Roxborough* [166, 85, 167], befasste sich mit theoretischen und mathematischen Beschreibungen des Mechanismus eines Schneidprozesses und mit Untersuchungen der Änderung der Schneidkräfte und der spezifischen Energie. Die Einflussgrößen waren dabei meistens Meißelgeometrie, Schnitttiefe, Schneidlinienabstand, Schneidlänge, Gesteinseigenschaften usw.

Es wurde festgestellt, dass ein spitzer Keilwinkel des Schneidwerkzeuges durch das bessere Eindringvermögen in das Gestein zu einem niedrigen spezifischen Energiebedarf führt (Abb. 11-a). Außerdem durchläuft die spezifische Energie mit zunehmendem Schnittlinienabstand nach anfänglich sehr großen Werten ein lokales Minimum, um danach wieder anzusteigen (Abb. 11-b). Dabei verbessert sich die Energiebilanz mit einer Vergrößerung der Schnitttiefe [129].

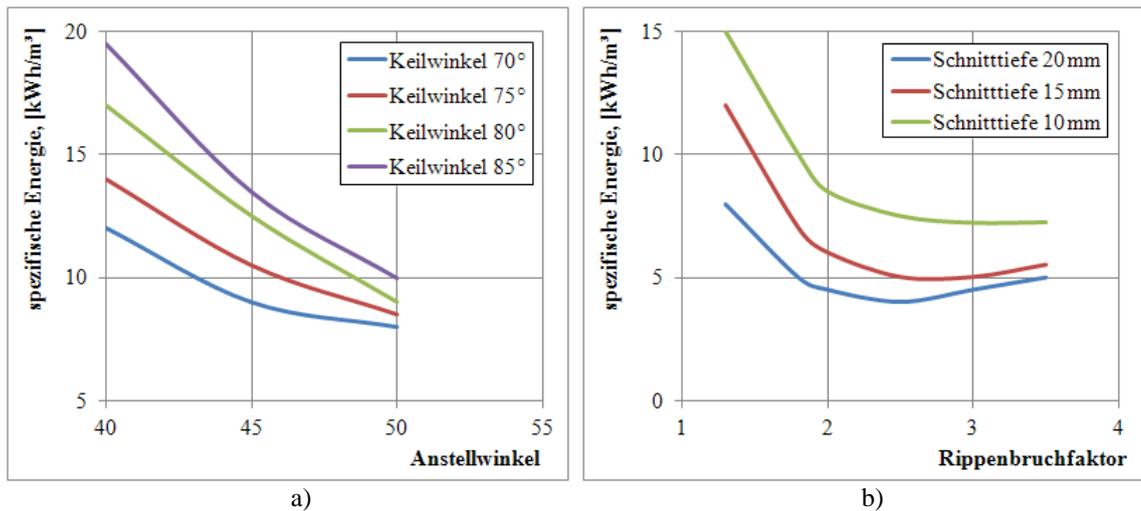


Abb. 11: Änderung der spezifischen Energie bei der Gesteinszerstörung [129]
 a) in Abhängigkeit vom Anstellwinkel bei einer Schnitttiefe von 10 mm; b) in Abhängigkeit vom Rippenbruchfaktor

Die Untersuchungen zeigten ebenfalls, dass beim Anwachsen des Anstell- bzw. Drehwinkels sich die Schnittkraft bis zu einem lokalen Minimum verringert, wonach sie wieder ansteigt (Abb. 12-a, Abb. 12-b).

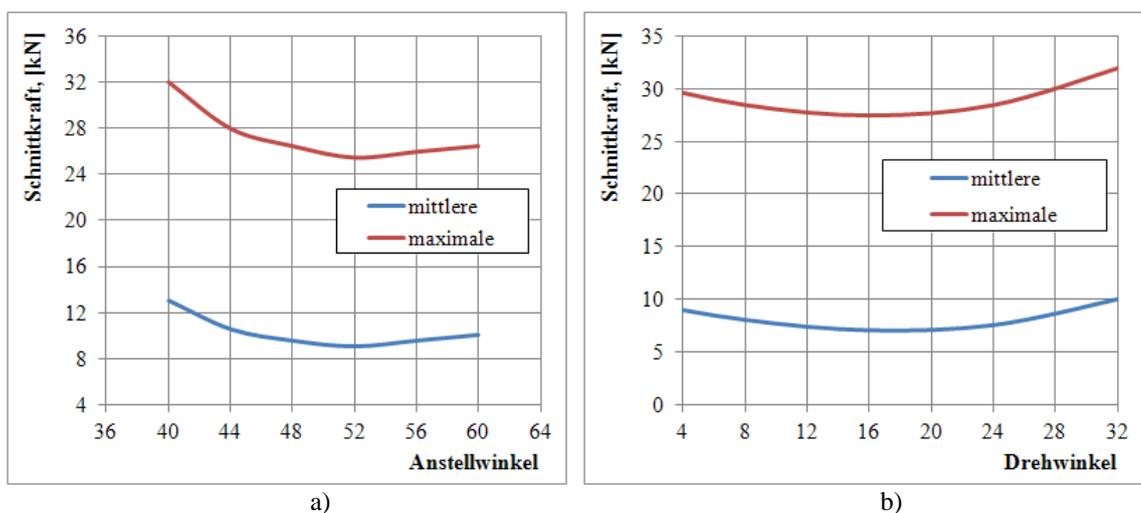


Abb. 12: Änderung der Schnittkraft bei der Gesteinszerstörung [90]
 a) in Abhängigkeit vom Anstellwinkel; b) in Abhängigkeit vom Drehwinkel

Mit der Erweiterung des Anwendungsbereiches kontinuierlicher, sprengstoffloser Gewinnung (Surface Miner) auf Gesteine im Festgesteinstagebau beschäftigten sich *F.X. Spachtholz* und *B. Schimm* [195, 196, 197] in ihren Arbeiten. Ihre Ziele waren die Reduzierung der Meißelwechselfrequenz, eine Definition des Gewinnungsvermögens, der Stückigkeit des gewonnenen Gesteins und des Gesamtlängenverlustes des Schneidwerkzeuges bei verschiedenen Fräswalzen, der eingesetzten Meißelanordnung auf den Arbeitsorganen und den Schneidwerkzeugtypen (Abb. 13).

Der Surface Miner war auch der Versuchsgegenstand in den Beiträgen von *C. Drebenstedt und M.A. Vorona* [215, 218, 220], in denen die Abhängigkeit der Anzahl der gewechselten Meißel von der gewonnenen Gesteinsmasse bei verschiedenen Festigkeiten dargestellt ist (Abb. 14).

Die Auswirkung der Spanform auf die wichtigen Arbeitsergebnisse beim Einsatz der CSM wurden von *E. Väli* [212] festgestellt. Im Vergleich zu degressiver Arbeitstechnologie der Frästrommel verringern sich bei progressiver Spanform der spezifische Energieaufwand um 38%, der prozentuale Massenanteil der Fraktion von 0 bis 25 mm um 17% und der Meißelverbrauch pro 1.000 t um 65%.

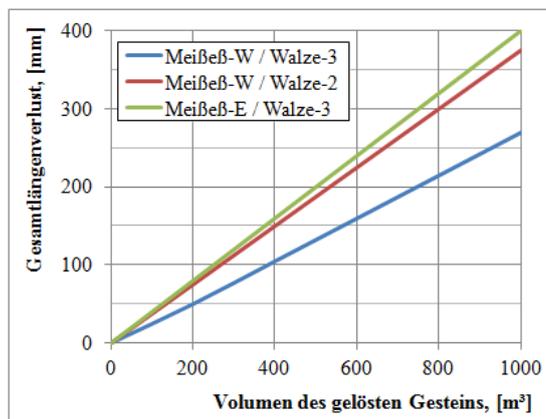


Abb. 13: Gesamtlängenverlust der untersuchten Fräswalzen-Meißel-Kombinationen in Abhängigkeit vom Fräsvolumen [197]

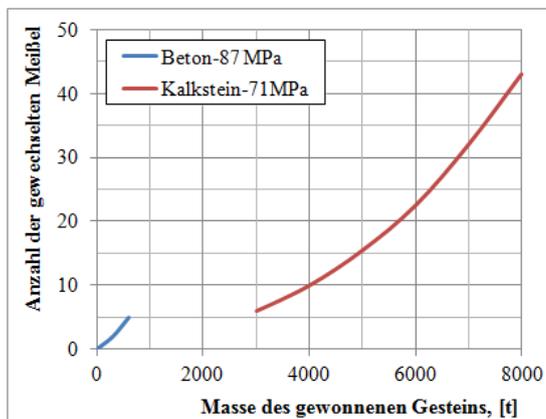


Abb. 14: Anzahl der gewechselten Meißel in Abhängigkeit von der Gesteinsmasse bei verschiedenen Festigkeiten [218, 220]

Zum Beispiel ist ausgeführt, dass bei Rundschafftmeißeln an Teilschnittmaschinen sich der Werkzeugverbrauch mit abnehmendem Trennflächenabstand des Gebirges verringert (Abb. 15).

Eine Vielzahl der von *K. Gehring und E. Lammer* [62, 64, 117] publizierten Artikel über Gesteinszerstörung ist dem Einsatz von Teilschnittmaschinen gewidmet und betrifft den Einfluss der Gesteinseigenschaften und technischen Parameter der Gewinnungsmaschine auf die Löseleistung und den spezifischen Meißelverschleiß und zwar:

- „spezifischer Meißelverschleiß zu Schneidleistung“;
- „Häufigkeit des Sprödruches zu Gesteinsfestigkeit“;
- „spezifischer Meißelverschleiß zu Schnittgeschwindigkeit“;
- „spezifischer Werkzeugverschleiß zu Trennflächenabstand“.

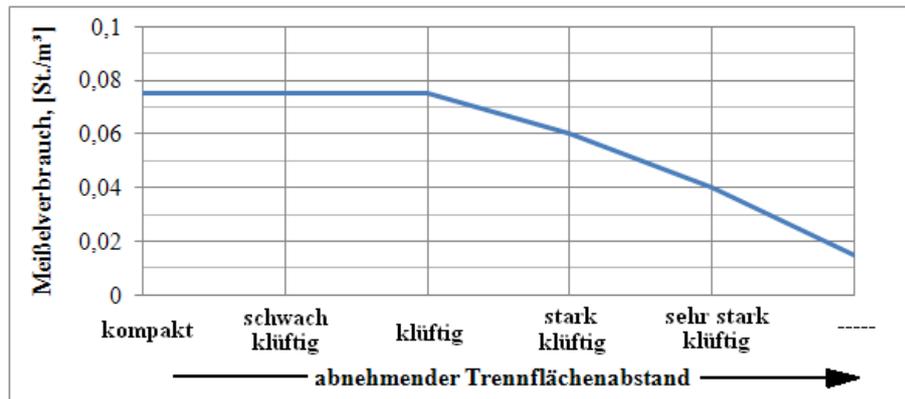


Abb. 15: Meißelverbrauch in Abhängigkeit vom Trennflächenabstand in sandigen Schiefem [63]

In einer seiner Arbeiten hat *K. Gehring* [60] die Veränderung der Schnittkraft und des Querschnittes der Spanfurchen bei scharfem Meißel und bei drei Meißeln mit unterschiedlichen Verschleißzuständen untersucht. Dafür wurde bei einer konstanten Schnitttiefe (6 mm) und vollblockierten Schnitten ein Gipsblock verwendet.

Die Betrachtungen ergeben vor allem, dass mit zunehmendem Verschleiß ein deutliches Ansteigen der Schnittkraft eintritt und die zerdrückte Zone bzw. der Querschnitt der Spanfurchen größer wird (Abb. 16-a, Abb. 16-b).

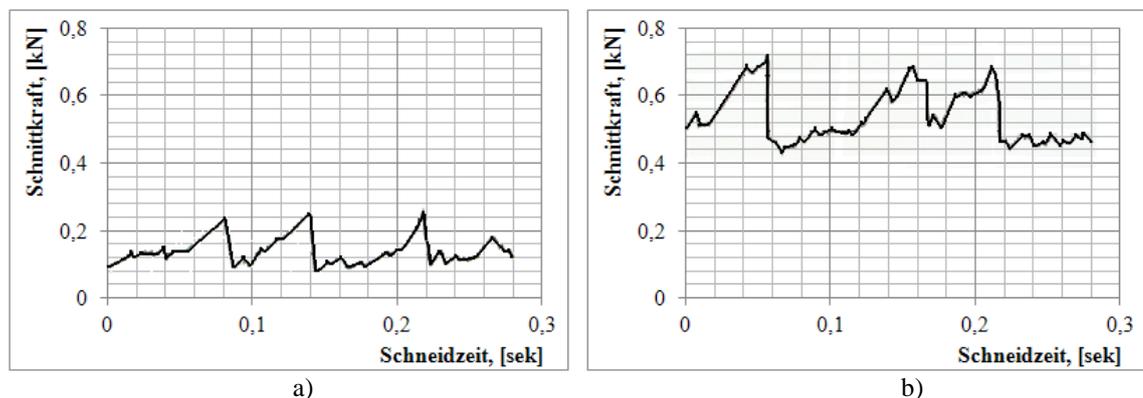


Abb. 16: Schnittkraftdiagramme für Meißel verschiedener Verschleißzustände [60]
a) scharfer Meißel; b) verschlissener Meißel (Verschleißstufe 3)

Die später von *A.W. Khair, J.A. Organiscak und D. Xu* [101, 142] sowie *B.D. Hanson und W.W. Reopke* [79, 161] durchgeführten Untersuchungen mit vollblockierten Schnitten zeigten ebenfalls den Anstieg des Schnittwiderstandes und der spezifischen Energie mit zunehmender Abnutzung des Schneidwerkzeuges (Abb. 17).

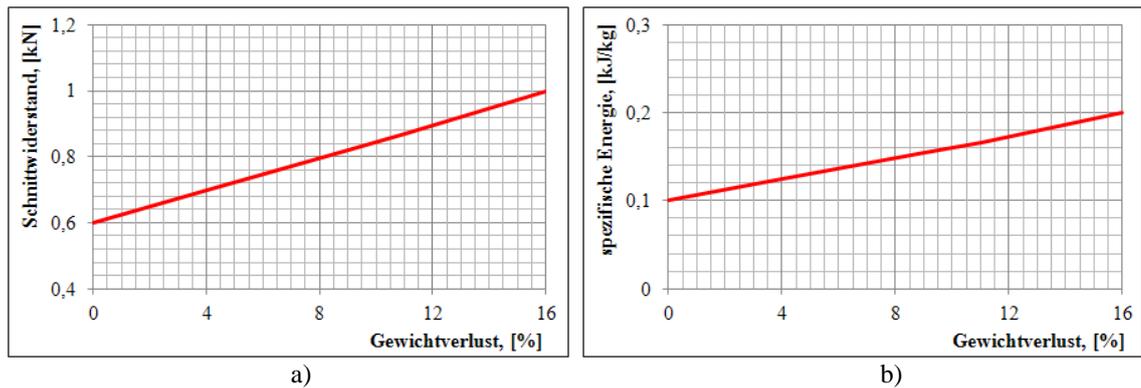


Abb. 17: Auswirkung des Meißelverschleißes [142]
a) auf Schnittwiderstand; b) auf spezifische Energie

Das Ziel der Dissertation von *H.F Wiese* [221] war es, ein Rechnerprogramm zu entwickeln, um die Schneidarbeit eines Querschneidkopfes zu simulieren und eine optimale Meißelverteilung auf dem Schneidkopf zu berechnen.

K. Gehring [65] schlug in seinem Beitrag, unter Verwendung von praktischer Erfahrung und Erkenntnissen aus dem Einsatz von Teilschnittmaschinen, ein Modell-Schema zur Abschätzung und Ermittlung von Richtwerten der mit Gesteins- und Gebirgseigenschaften zusammenhängenden Korrekturfaktoren für die Prognose der erzielbaren Abbauleistung und des erwartbaren Meißelverbrauches für einen Voest-Alpine Surface Miner vor.

Einen großen Beitrag auf dem Gebiet der maschinellen Gesteinszerstörung leisteten die türkischen Wissenschaftler *C. Balci und N. Bilgin* [8, 9], *H. Copur und H. Tuncdemir* [30], *R.M. Goktan* [77], *N. Gunes Yilmaz und M. Yurdakul* [78]. Die durchgeführten Untersuchungen mit über 20 verschiedenen Gesteinen am Schneidversuchsstand an der Technischen Universität Istanbul (Abb. 18) waren auf die Bestimmung des Einflusses der felsmechanischen Eigenschaften (Elastizitätsmodul, Spaltzug- und Druckfestigkeit), der Schnitttiefe und des Schnittlinienabstandes auf die Schnittkraft und den Energiebedarf ausgerichtet. Dadurch wurde zum Beispiel der direkt proportionale Zusammenhang zwischen der spezifischen Energie und der Zugfestigkeit festgestellt (Abb. 19).

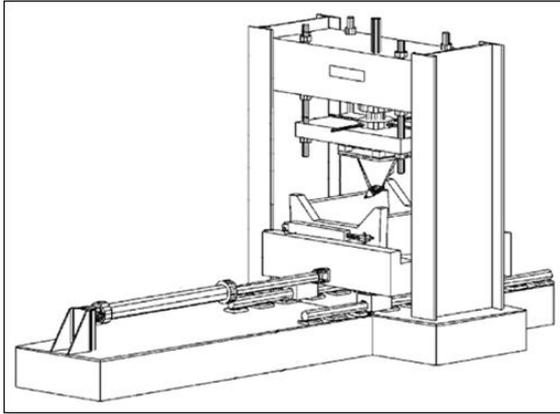


Abb. 18: Schneidversuchsstand an der Technischen Universität Istanbul [30]

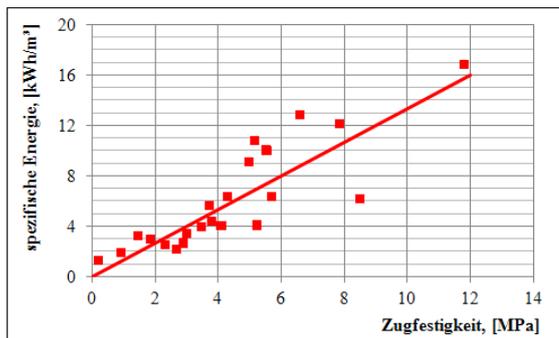
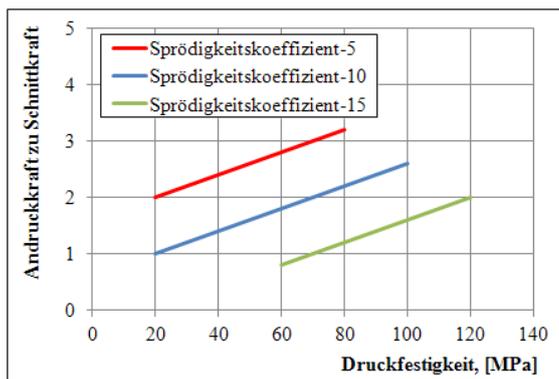


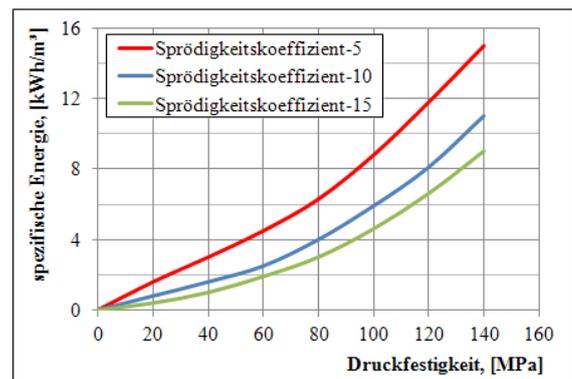
Abb. 19: Abhängigkeit der spezifischen Energie von der Gesteinszugfestigkeit [8, 9]

Unter Verwendung eigener Resultate und Erkenntnisse anderer Wissenschaftler, entwickelten *P. Frenyo, W. Lange und P. Henneke* [55, 56] in ihren Arbeiten eine Auslegungsmethodik für Längs- und Querschneidköpfe. Sie beschrieben die Auswirkung der verschiedenen Parameter (Meißelart, Schnittgeschwindigkeit, Anstell- und Drehwinkel, Schnittlinienabstand, Druckfestigkeit und Sprödigkeit) auf die Auswahl und die Löseleistung von Schneidköpfen, den Meißelverschleiß, die Energie für die Zerstörung sowie den Quotienten zwischen Andruckkraft und Schnittkraft.

Es wurde festgestellt, je härter das Mineral ist, desto größer sind der Quotient und der Energiebedarf (Abb. 20-a, Abb. 20-b). Bei relativ weichen und spröden Mineralien ist er etwa 1; bei harten und zähen Mineralien beträgt das Verhältnis ca. 3 [55].



a)



b)

Abb. 20: Auswirkung von Sprödigkeitskoeffizient und Druckfestigkeit des Gesteins beim Schneiden a) auf Quotient aus Andruckkraft und Schnittkraft [55]; b) auf spezifische Energie [56]

In den Arbeiten von *H.W. Kleinert* [105, 106] und *V. Mertens* [133] wurden die Wahl schneidtechnischer und meißelabhängiger Größen (Anstell- und Keilwinkel, Durchmesser des Hartmetallstiftes) je nach Einsatzbedingungen betrachtet.

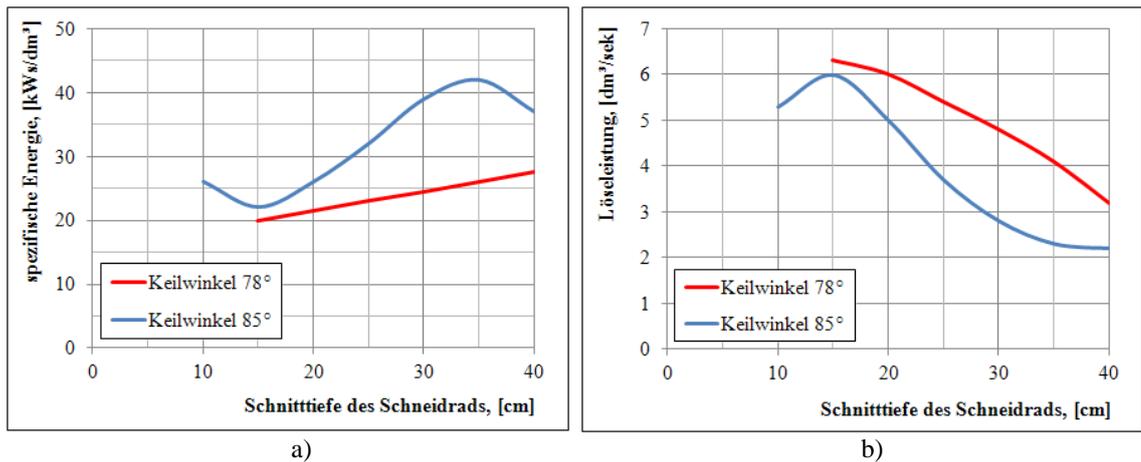


Abb. 21: Auswirkung des Keilwinkels [105]
 a) auf die spezifische Energie; b) auf die Löseleistung

Ballige Meißel mit stumpfem Keilwinkel haben zum Unterschied zu schlanken Schneidwerkzeugen mit spitzen Keilwinkeln ungünstigere Löseleistung und größeren spezifischen Energieaufwand, jedoch längere Standzeiten [106] (Abb. 21).

Die Bestimmung des Verschleißverhaltens und der Schnittkraft in Abhängigkeit von verschiedenen Schneidwerkstoffen (Polydiamant, Hartmetall und Keramik) bei unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten, Schnitttiefen und Gesteinen ist durch *J. Haaf und S. Driesch* [37, 82] vorgenommen worden (Abb. 22). In diesem Bereich führten ebenfalls *H.R. Phillips und F.F. Roxborough* [145], *P. Kaitkay und S. Lei* [91] ihre Forschungen durch.

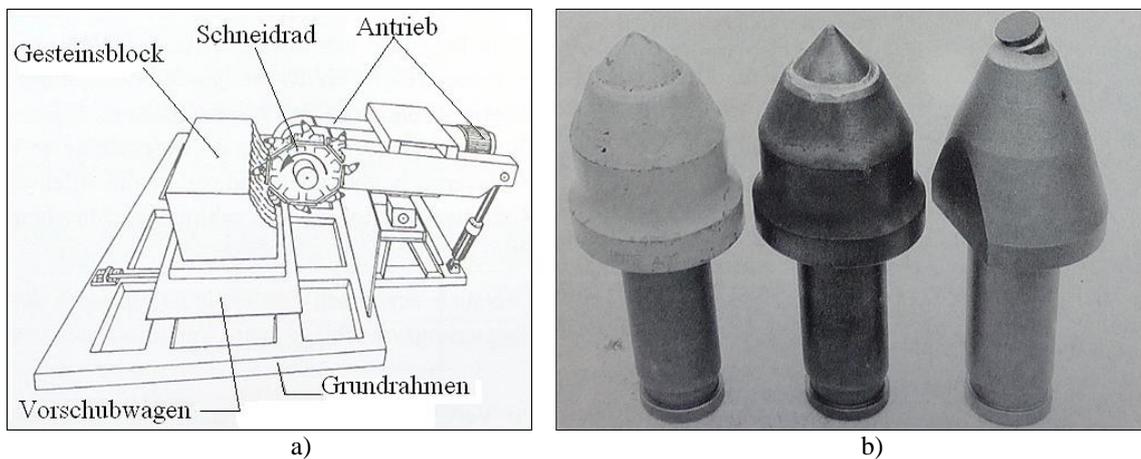


Abb. 22: Versuchseinrichtungen zur Untersuchung des Meißelverschleißes [37]
 a) Schneidversuchsstand; b) Versuchsmeißel (Hartmetall-, Keramik- und PKD-Meißel);

Dabei wurde die Schnittgeschwindigkeit zwischen 0,5 und 3,5 m/s variiert. Die Startsnitttiefe betrug 5 bis 40 mm. Als Versuchsblöcke wurden drei künstliche Gesteine (Schiefer-ton) und ein natürlicher Sandstein mit Druckfestigkeiten von 36, 46, 64 und 82 MPa eingesetzt.

Die Ergebnisse zeigten, dass bei Startsnitttiefen von 10 mm und 20 mm der spezifische Verschleiß für grob- und normalkörniges Hartmetall steigt und tendenziell ähnlich ist [82]. Die kritische Schnittgeschwindigkeit mit deutlich ansteigendem Abriebswert liegt bei 2 m/s bzw. 3 m/s (Abb. 23).

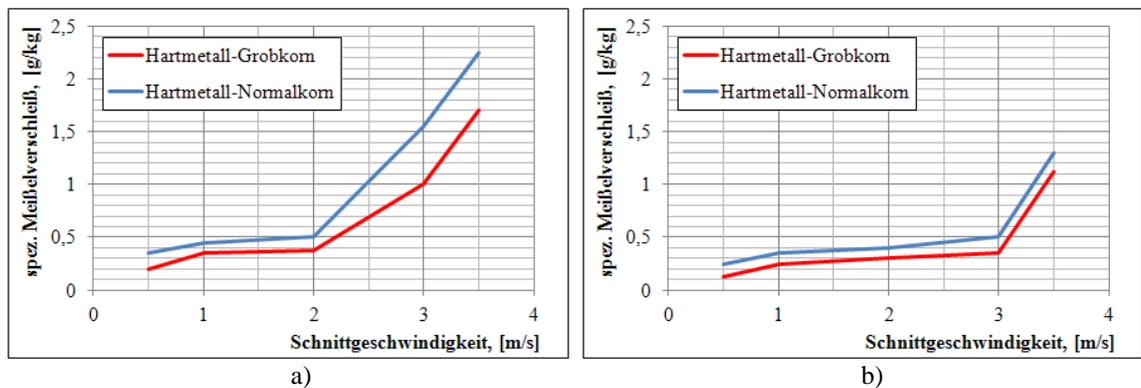


Abb. 23: Meißelverschleiß in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit im Sandstein [37]
a) bei einer Startsnitttiefe von 10 mm; b) bei einer Startsnitttiefe von 20 mm

Die Anwendung des Thermostabilen Diamantwerkstoffes (TSDW) als Material für die Meißelspitze war der Gegenstand mehrerer wissenschaftlicher und praktischer Untersuchungen von *X.S. Li*, *B. Tiryaki* und *I. Gipps* [125, 126, 207] am Forschungszentrum SCIRO Enquiries (Australia). Durch den Vergleich mit traditionellen Schneidwerkzeugen mit Wolframcarbidspitze (WC) wurde festgestellt, dass dieser alternative Werkstoff die Standzeit der Meißel verlängert, die auftretende Andruckkraft senkt und folglich ermöglicht, festere Gesteine zu zerstören (Abb. 24). Ergänzend wurde der Schneidprozess mit der DEM-Methode modelliert, um den Meißelverschleiß vorherzusagen sowie optimale Parameter für die Maschine und die Schneidwerkzeuge zu bestimmen. Mit der Modellierung im gleichen Fachgebiet beschäftigten sich auch *J. Rojek* und *H. Kargl* [150].

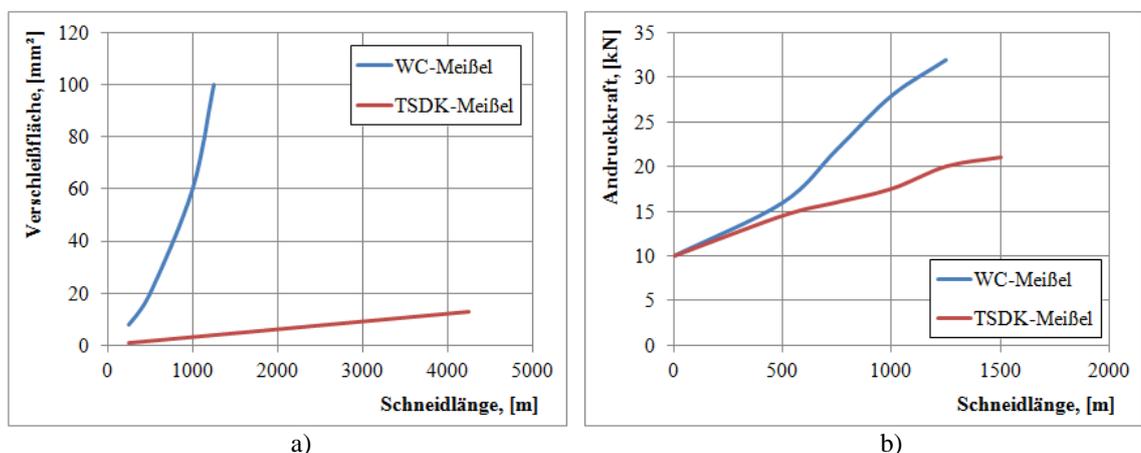


Abb. 24: Auswirkung der Schneidlänge bei verschiedenen Werkstoffen [125, 126]
a) auf die Verwehleiffläche; b) auf die Andruckkraft

H. Wilhelm [223] untersuchte und analysierte in seiner Dissertation die Auswirkung der Veränderung von Einsatzparametern wie Gesteinsart, Schnitttiefe, Schnittpurabstand und Schnittgeschwindigkeit auf die Meißeltemperatur und den Energieumsatz sowie bestimmte geeignete Meißelformen und Werkstoffeigenschaften zur Reduzierung der Temperaturentwicklung beim Schneidvorgang.

Es wurde bestimmt, wie sich die Temperatur an der Meißelspitze mit der Versuchszeit erhöht. Dabei hat die Schnittgeschwindigkeit direkten Einfluss auf die Steigerung der Temperatur (Abb. 25).

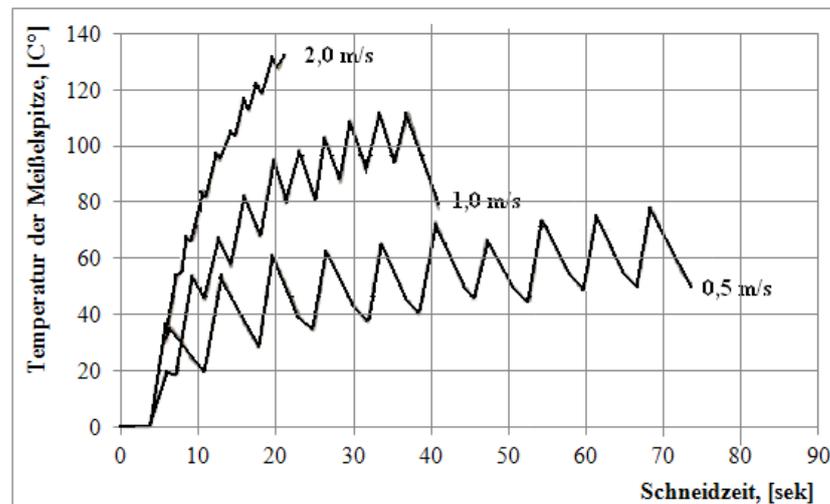


Abb. 25: Entwicklung der Meißeltemperaturen bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten [223]

S. Driesch [38, 39] hat in seinen Arbeiten auf dem Versuchstand „Schneidköpfe für Teilschnitt-Vortriebsmaschinen“ der DMT-Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH an mehreren Sandsteinproben (von 79 bis 119 MPa) den Einfluss des Durchmessers bei grob- und normalkörnigen Hartmetallstiften und des gelösten Gesteinsvolumens auf den Verschleiß, der als Massenverlust der Meißel quantifiziert wurde, beschrieben.

Die Versuchsgruppe umfasste die Meißeltypen A bis D, deren Stifte Durchmesser von 19 bis 30 mm aufwiesen und bei denen über die gesamte Versuchsreihe ein annähernd linear zunehmender Verschleiß festzustellen war. Eine weitere Erkenntnis ist die höhere Verschleißbeständigkeit bei den Meißeln mit größerem Durchmesser des Hartmetallstiftes (Abb. 26).

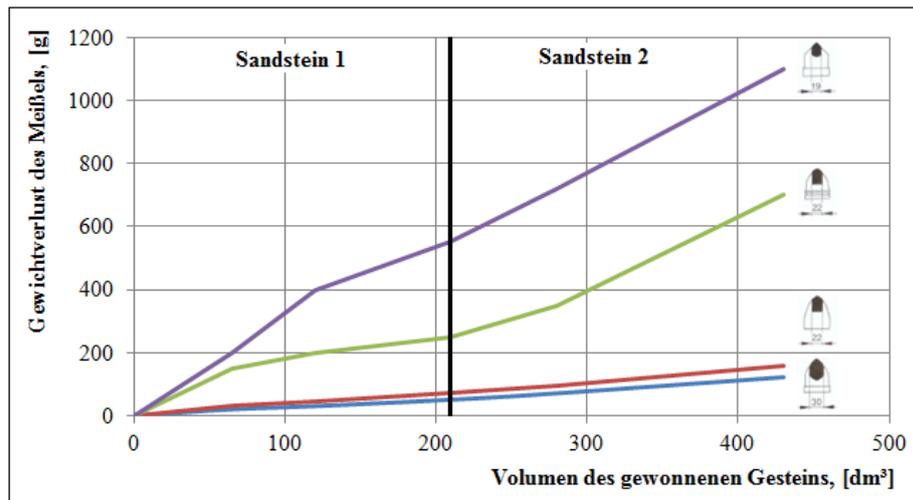


Abb. 26: Verschleiß von Rundschäftmeißeln mit „normalkörnigem“ Hartmetall beim Schneiden in den Sandsteinen Nr. 1 und Nr. 2 [39]

Für alle Versuche betrug die Schnittgeschwindigkeit der Meißel 1,8 m/s. Der Anstellwinkel der Werkzeuge betrug 48°; der Drehwinkel variiert positionsabhängig zwischen 6° und 47° [38]. Ähnliche Untersuchungen wurden von *P.R Mehrotra* [132] und *K. Kotwica* [109, 110] durchgeführt.

Darüber hinaus wurde die Abnahme des Meißelverschleißes und der entstehenden Staubmenge bei der Verwendung eines Hochdruckwasserstrahls in den Arbeiten von *K. Kotwica* [109, 110] und *A.W. Khair* [98] festgestellt.

Im Rahmen eines von der EU geförderten Forschungsvorhabens mit dem Namen ICACUT-ROC untersuchten *J. Tockner und H. Wagner* [208] die Frage des Zerspanens festerer Gesteine mit größerer Abrasivität. Bei den Untersuchungen wurden etwa 1 m³ große Sandstein- und Granitblöcke (111 MPa und 124 MPa) mit Rundschäftmeißeln zerspannt. Die Schneidbedingungen wurden so gewählt, dass bei einer Schnittgeschwindigkeit im Bereich von 0,6 bis 2 m/s der Schnittlinienabstand immer das Doppelte der Schnitttiefe betrug. Es wurde unter anderem ermittelt:

- Der Verschleiß, der als Gramm Hartmetallverlust je Meter Schneidlänge definiert ist, nimmt überproportional mit der Schnitttiefe und der Schnittgeschwindigkeit zu [208] (Abb. 27-a).
- Bei konstanter Schnittgeschwindigkeit erhöht sich der spezifische Meißelverschleiß (g/dm³) leicht mit der Normalkraft. Eine plötzliche Zunahme des Verschleißes ergibt sich oberhalb einer Größe von etwa 1,5 m/s (Abb. 27-b).

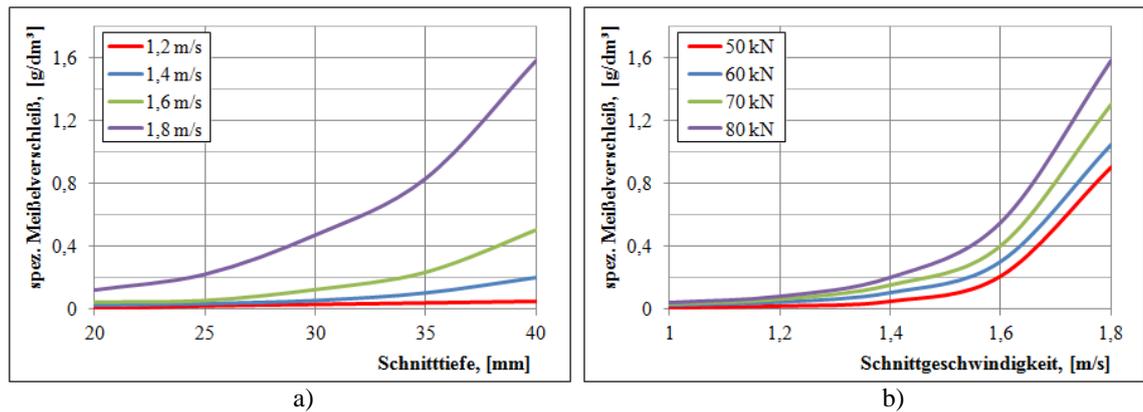


Abb. 27: Änderung des Meißelverschleißes bei der Gesteinszerstörung [208]

a) in Abhängigkeit von Schnitttiefe und Schnittgeschwindigkeit;

b) in Abhängigkeit von Schnittgeschwindigkeit und Andruckkraft

Der Kobaltgehalt des Hartmetalls als ein wesentlicher Faktor wurde in der Arbeit von *K.G. Hurt und K.M. MacAndrew* [89] beschrieben. Es gilt, ein Optimum zwischen Materialhärte und Materialsprödigkeit zu finden, da mit geringerem Kobaltgehalt die Biegefestigkeit des Materials abnimmt, was zu einem spröderen Materialverhalten und damit zu einer höheren Anfälligkeit für Sprödbbruchversagen führt [89]. Hierbei wurde auch die Auswirkung der Schnitttiefe und Schnittgeschwindigkeit auf den Meißelverbrauch untersucht.

Eine Analyse des Einflusses der Schneidparameter auf die Staubentstehung für Rundschaft-, Flach- und Kerbmeißel bei vollblockierten Schnitten wurden von Autoren wie *I. Evans* [48], *O.Z. Hekimoglu und B. Tiryaki* [81], *A.W. Khair* [99, 98, 101], *W.W. Roepke, B.D. Hanson und M.N. Pils* [79, 146, 160, 161, 162], *R.J. Fowell und N.N. Ochei* [53, 54] vorgenommen.

Diese zeigten, dass bei steigender Schnittgeschwindigkeit, bei sinkender Schnitttiefe und mit wachsendem Verschleiß des Schneidwerkzeuges die Staubkonzentration zunimmt (Abb. 28). Der Staubmengenanteil an der Masse des gewonnenen Gesteins nimmt wiederum mit zunehmender Schnitttiefe ab. Einen Einfluss auf den Anfall des Staubes hat ebenfalls die Größe des Hartmetallstiftes, was in den Arbeiten von *R.A. Qayyum* [158] und *A.W. Khair* [1, 98, 99] beschrieben wurde.

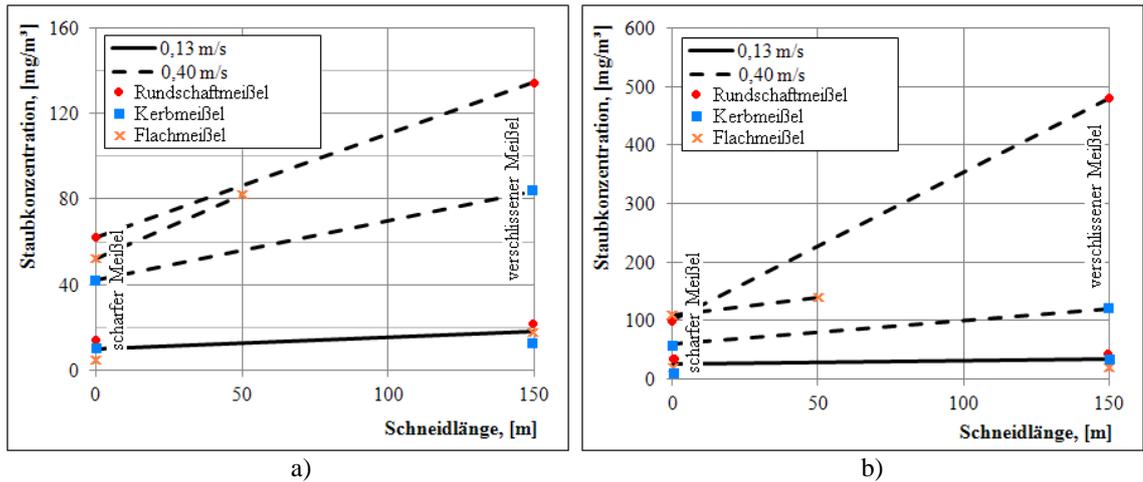


Abb. 28: Staubmengenanteil bei der Sandsteinzerstörung mit verschiedenen Meißeln [53, 54]
 a) mit einer Schnitttiefe von 2 mm; b) mit einer Schnitttiefe von 8 mm

Später untersuchten *C. Drebenstedt und Q.V. Phan* [34, 35, 59, 143, 144] ergänzend Zusammenhänge zwischen dem Staubmengenanteil und dem Spanwinkel. Die Versuchsergebnisse zeigten eine erhebliche Auswirkung der Schneidparameter auf die Staubentstehung bei der Gesteinszerstörung. Der Staubmengenanteil nimmt mit der Vergrößerung des Spanwinkels und der Schnittgeschwindigkeit zu (Abb. 29).

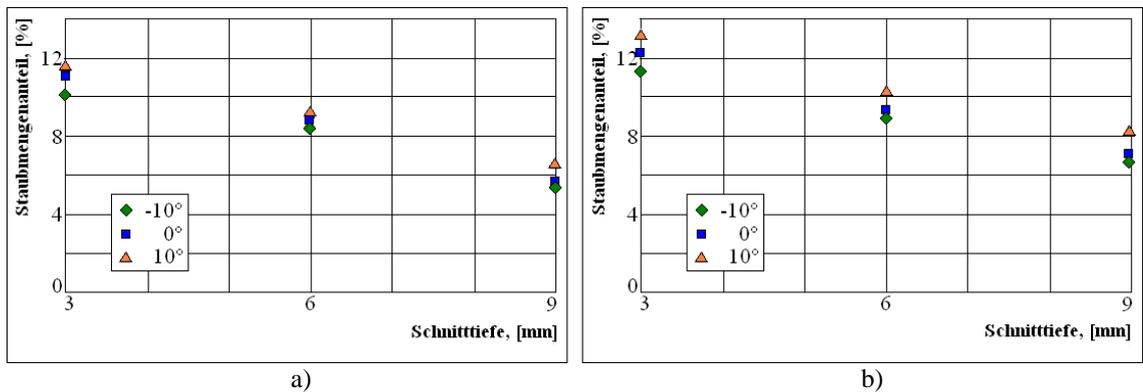


Abb. 29: Prozentualer Staubmengenanteil der Körngröße $< 125\mu\text{m}$ mit verschiedenen Spanwinkeln bei der Kalksteinzerstörung [144]
 a) mit einer Schnittgeschwindigkeit von 0,22 m/s; b) mit einer Schnittgeschwindigkeit von 0,46 m/s

3.2.2 Überblick zur russischsprachigen Literatur

I.A. Levankowskij [124], *W.W. Semenow und I.G. Schmakin* [186, 187, 188], *N.I. Sisoew und N.N. Burenkow* [26, 190], *D.A. Ungmeister und O.W. Kowalew* [211] führten in ihren Artikeln die Grundlagen zur Auswahl der Schneidwerkzeuge und die Berechnungsmethodik der Kräfte und des Meißelverschleißes an.

In ihrem Buch beschrieben *E.S. Posin und A.P. Adamasson* [154] die vorgenommene Suche des effektiven Schneidwerkzeuges für den Schieferabbau. Durch die Testprüfungen mit den Rundschaftmeißeln RKS-1 und RKS-2 im Vergleich mit dem Kerbmeißel I90MB wurden der spezifische Meißelverschleiß pro 1.000 t, der Hartmetallverlust pro 1.000 t und die spezifische Energie bestimmt.

Die Ergebnisse laufen darauf hinaus, dass anfänglich der Hartmetallstift intensiv verschleißt – Zone I. Dann nimmt die Verschleißintensität ab – Zone II. Nach dem Hartmetallausbruch verschleißt der Meißelschaft stark – Zone III (Abb. 30-b).

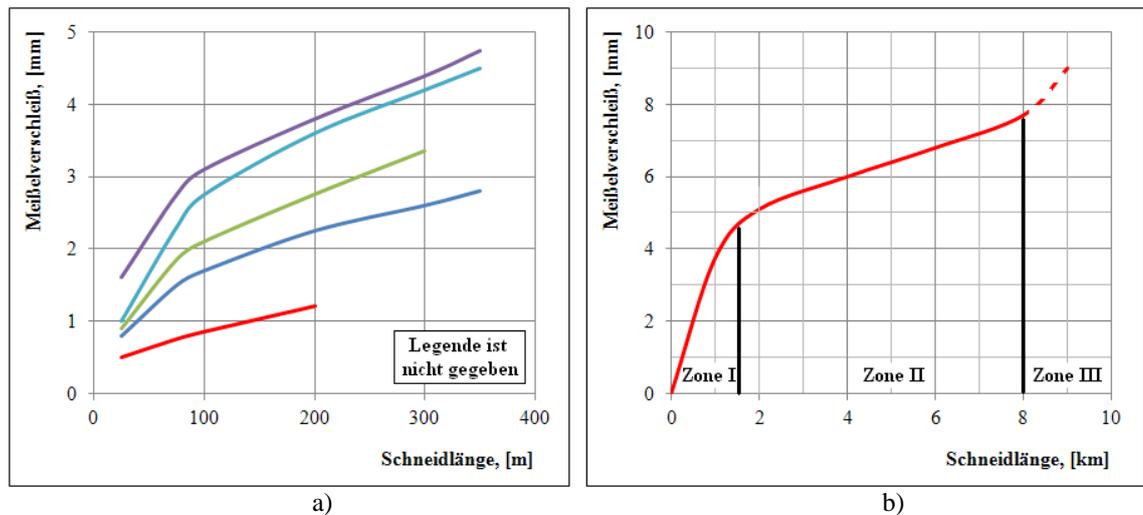


Abb. 30: Verschleiß der Meißel RKS in Abhängigkeit von der Schneidlänge
a) bei verschiedenen Gesteine nach Levankowskij [124]; b) nach Posin und Adamasson [154]

Untersuchungen solcher Art führten auch *E.W. Belich und L.M. Gusselnikow* [13] in den Bergwerken des Kohlereviere Workuta durch, um den Meißelverbrauch sowie die Gründe des Ausfalles von Schneidwerkzeuge zu bestimmen.

Eine große Anzahl der Versuche mit Rundschaftmeißeln wurde von ukrainischen Wissenschaftlern der Nationalen Technischen Universität Donezk vollzogen. Den wesentlichen Beitrag dazu leisteten *A.K. Semenchenko, O.E. Schabaew, N.W. Hizenko, D.A. Semenchenko, N.M. Chaplik* [183, 184, 185]. In den Arbeiten widmeten sie sich der Beachtung des Einflusses der Schnitttiefe und des Freiwinkels auf Schnittkraft und spezifische Energie sowie der Berechnung der Änderung von Schnitttiefe und -breite, Frei- und Spanwinkel bezüglich der Meißelpositionierung auf der Walze.

Die Analyse zeigte, dass im Bereich der Schnitttiefen 3, 6 und 9 mm die Verringerung des Freiwinkels zum Anstieg der Schnittkraft führt. (Abb. 31).

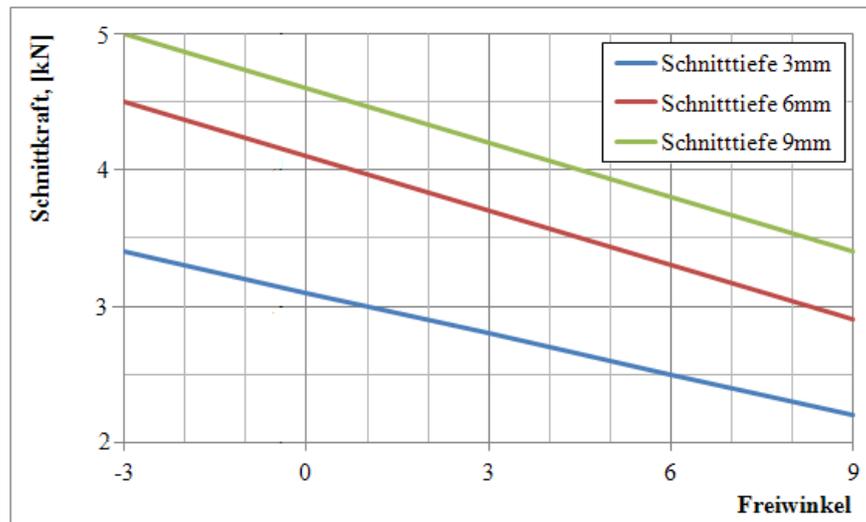


Abb. 31: Änderung der Schnittkraft bei verschiedenen Freiwinkeln und Schnitttiefen [183]

S.N. Popov [152] untersuchte den Gewichtsverlust des Meißels in Abhängigkeit von der Schneidlänge bei unterschiedlichsten Einsatzbedingungen (Schnitttiefe der Fräswalze, Asphaltfestigkeit und -temperatur) unter Verwendung einer Wirtgen Straßenfräse.

Es wurde festgestellt, dass die Verschleißintensität der Werkzeuge bei der Abnahme der Temperatur und mit zunehmender Schnitttiefe der Fräswalze steigt. Grund dafür ist die Vergrößerung der Länge, die der Meißel im Asphalt zurückgelegt hat (Abb. 32).

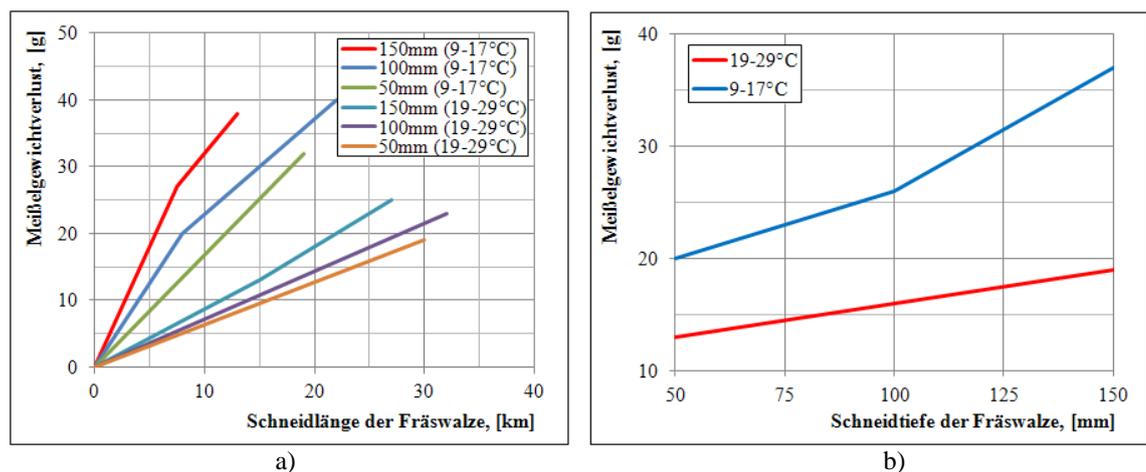


Abb. 32: Gewichtsverlust des Meißels [152]
 a) in Abhängigkeit von der Schneidlänge bei bestimmten Asphalttemperaturen und Schnitttiefen der Fräswalze; b) in Abhängigkeit von der Schnitttiefe der Fräswalze

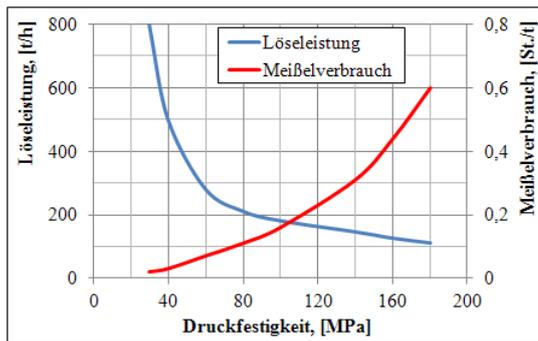


Abb. 33: Löseleistung und Meißelverbrauch in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit beim Wirtgen Surface Miner 2500SM [27]

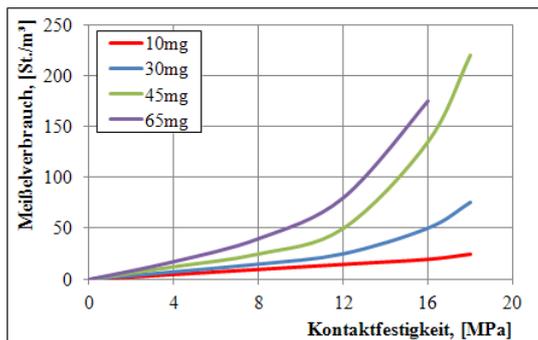


Abb. 34: Meißelverbrauch in Abhängigkeit von der Kontaktfestigkeit bei verschiedenen Abrasivitäten [27]

Untersuchungen mit Continuous Surface Minern wurden in den Arbeiten von *W.D. Butkin und A.I. Kossolapow* [27], *A.N. Dombrovskij und I.A. Sidorenko* [41], *G.A. Kholodnyakov und M.A. Vorona* [102, 219], in denen u. a. der Meißelverbrauch in Abhängigkeit von der Masse des gewonnenen Materials und der Gesteinsfestigkeit bestimmt wurde, dargestellt.

Wie aus Abbildungen 33 und 34 zu sehen ist, führt die Zunahme der Festigkeit und der Abrasivität der Gesteine zum exponentiellen Anstieg des Meißelverbrauches.

W.I. Bolobow und M.P. Talerow [24], *I.A. Levankovskij und L.B. Glatman* [124], *A.S. Multanow und W.A. Falkowskij* [134, 135, 136] untersuchten den Einfluss von Struktur und Zusammensetzung des Werkzeugträgermaterials und des Hartmetalls, aus dem der Schneidstift angefertigt wird, auf die Meißeleigenschaften und demzufolge auf die Effektivität seiner Verwendung (Verschleißrate).

Zusätzlich zu den in dieser Dissertation verwendeten Rundschafftmeißeln wurde eine Literaturrecherche über die Untersuchungen mit anderen Schneidwerkzeugen wie Disken-, Flach- und Kerbmeißel vorgenommen (Anhang 1). Dieser Überblick der relevanten Arbeiten und Beiträge ermöglicht, vollständig wichtige Zusammenhänge beim Schneidvorgang herauszufinden und zu analysieren. Die Abhängigkeiten und Ergebnisse sind selbstverständlich nicht unmittelbar auf Rundschafftmeißel übertragbar, sie können aber wesentliche Grundlagen bzw. Voraussetzungen für diese Dissertation sein.

3.2.3 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Literatur

Die durchgeführte Literaturrecherche auf dem Gebiet der experimentellen Schneidversuche mit Schneidwerkzeugen ist in Tabelle 4 zusammengefasst, in der mit unterschiedlichen Farben der Forschungsstand für jedes Schneidwerkzeug gekennzeichnet ist. In Tabelle 5 sind Querverweise auf die Literaturquellen dargestellt, die in Abhängigkeit von der Art des Meißels und den Zusammenhängen geordnet sind.

Wie Tabellen 4 und 5 deutlich zeigen, ist eine große Zahl der Arbeiten den Untersuchungen der Schneidkräfte, der spezifischen Energie und des Meißelverschleißes in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussparametern gewidmet. Die heutzutage wenig erforschten Bereiche sind die Staubentstehung, die Stückigkeit des gewonnenen Materials und die Meißeltemperatur bei der Gesteinszerstörung.

Außerdem wurden zahlreiche Forschungen über den Einfluss der Schnittgeschwindigkeit, der Schnitttiefe und der Winkeleinstellungen des Schneidwerkzeuges durchgeführt. Dabei gibt es noch Defizite in den Kenntnissen über die Auswirkung von Meißelverschleiß, Gesteinseigenschaften und Gesteinstemperatur auf die relevanten Arbeitsgrößen, wie Tabelle 4 veranschaulicht.

Um die Forschungsgebiete der deutschen und sowjetischen Wissenschaftler, die einen höchst bedeutenden Beitrag zum Thema maschineller Gesteinsgewinnung leisteten, zu vergleichen, können folgende Merkmale angeführt werden:

- Der größte Anteil aller Arbeiten von beiden Seiten ist der Ermittlung der Schneidkräfte, der spezifischen Energie und des Verschleißes der Meißel gewidmet.
- Während die Versuche mit Rundschaft- und Diskenmeißeln im Mittelpunkt des Interesses von deutschen Wissenschaftlern standen, untersuchten sowjetische Forscher in großem Maße die Flach- und Korbmeißel.
- Die von deutschen Wissenschaftlern gewonnenen Ergebnisse bzw. Abhängigkeiten für alle Arten der Schneidwerkzeuge wurden sowohl durch Feldversuche an Gewinnungsmaschinen als auch mittels Untersuchungen an Versuchsständen erhalten.

- Die meisten Untersuchungen an Rundschaft- und Diskenmeißeln in postsowjetischen Ländern wurden durch Betriebsversuche mit Bergbaumaschinen durchgeführt.

Die schneidende Gesteinszerstörung war ebenfalls Gegenstand einiger Forschungsvorhaben von den Vertretern türkischer und US-amerikanischer Hochschulen. Hierbei wurde der Schwerpunkt der Untersuchungen auf den Meißelverschleiß, hauptsächlich bei Rundschaftmeißeln, gelegt. Ebenfalls wurden die Zusammenhänge zwischen Staubentstehung und Einflussparametern wie Schnitttiefe, Schnittgeschwindigkeit, Größe der Schneidwerkzeuge, Meißelverschleiß ermittelt.

Tabelle 4: Stand des Wissens zu experimentellen Untersuchungen mit Schneidwerkzeugen

| Arbeitsparameter Einflussparameter | 8. Meißelverschleiß / Meißelverbrauch | 12. Meißeltemperatur | 13. Schneidkräfte | 14. spezifische Energie | 15. Staubmenge / Staubmengenanteil | 16. Stückigkeit des gewonnenen Gesteins |
|--|--|----------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|
| 1. Schnittgeschwindigkeit | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| 2. Spanform / Schnitttiefe / Schnittlinienabstand | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| 3. Schneidlänge / Schneidzeit | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4. Winkeleinstellungen (Frei-, Span-, Dreh- und Anstellwinkel) | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 5. Meißeldimensionen (Spitzenlänge, Durchmesser) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| 6. Keilwinkel des Meißels | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| 7. Meißeleigenschaften (Werkstoff, Kobaltgehalt usw.) | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 8. Meißelverschleiß / Meißelverbrauch | ■ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| 9. Gesteinseigenschaften (Festigkeit, Abrasivität, Schichtung, Wasser) | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| 10. Gesteinstemperatur | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 11. Masse des gelösten Gesteins | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |
| | □ | □ | □ | □ | □ | □ |
| | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

| | | | | | | | |
|---|---|---|--------------|---|---------------|---|----------------|
| ○ | – Rundschaffmeißel | ◇ | – Kerbmeißel | □ | – Flachmeißel | ● | – Diskenmeißel |
| ■ | - reiche theoretische Grundlagen und zahlreiche oder detailliert und systematisch durchgeführte experimentelle Untersuchungen | | | | | | |
| ■ | - reiche theoretische Grundlagen aber teilweise oder nicht ausführlich durchgeführte Untersuchungen | | | | | | |
| ■ | - theoretische Grundlagen, Notwendigkeit in experimentellen Untersuchungen | | | | | | |
| ■ | - es ist unnötig zu untersuchen | | | | | | |
| ■ | - Untersuchungen in dieser Arbeit | | | | | | |

Tabelle 5: Querverweise auf den Literaturquellen zu experimentellen Untersuchungen mit Schneidwerkzeugen

| Abhängigkeit | Literaturquellen | | | |
|--------------|--|---------------------------------|--|--|
| | ○ – Rundschaftmeißel | ◇ - Kerbmeißel | □ – Flachmeißel | ● – Diskenmeißel |
| 8 – 1 | [208], [62, 64, 117], [37, 82], [38, 39], [89], [176, 177, 178] | [222], [52] | [32], [213], [11], [192], [93], [4], [11], [112], [191], [200], [222], [52], [6] | [12], [176, 177, 178] |
| 8 – 2 | [208], [195, 196, 197], [37, 82], [89], [212] | [75, 76], [222] | [165], [32], [213], [5], [11], [192], [222] | [12] |
| 8 – 3 | [105, 106], [152], [154], [125, 126, 207], [109, 110] | [11] | [138], [165], [96, 97], [113], [5], [11], [192] | [12], [103] |
| 8 – 4 | [60] | [75, 76], [80] | [138], [165], [113], [5], [192] | |
| 8 – 5 | [195, 196, 197], [105, 106], [13], [224], [109, 110] | [75, 76] | [113], [11] | [61, 63, 66] |
| 8 – 6 | [15, 16, 17, 95, 170, 171], [208] | [75, 76], [15, 95] | [11], [113], [165], [138], [192] | |
| 8 – 7 | [37, 82], [38, 39], [89], [24], [124], [134, 135, 136], [125, 126, 207] | | [96, 97], [6] | [103] |
| 8 – 9 | [30, 78], [62, 64, 117], [37, 82], [38, 39], [27], [41], [102, 219], [176, 177, 178] | [75, 76], [222] | [5], [11], [192], [93], [4], [189], [32], [213], [168] | [44, 45, 67, 115, 116], [51], [42], [176, 177, 178], [61, 63, 66], |
| 8 – 10 | [152] | | | |
| 8 – 11 | [215, 218, 220], [38, 39], [154], [132], [100] | [154] | [6] | |
| 12 – 1 | [223] | | [4], [11], [112], [191], [200], [31] | |
| 12 – 2 | [223] | | [4], [11], [112], [191], [200] | |
| 12 – 3 | [223] | | [31], [4], [11], [112], [191], [200], [6] | |
| 12 – 4 | | | | |
| 12 – 5 | [223] | | | |
| 12 – 6 | [223] | | | |
| 12 – 7 | [223] | | | |
| 12 – 8 | | | [4], [6], [11], [112], [191], [200] | |
| 12 – 9 | [223] | | [31] | |
| 12 – 10 | | | | |
| 12 – 11 | | | | |
| 13 – 1 | [37, 82], [91], [34, 35, 59, 143, 144], [223] | [118, 119] | [32], [213], [118, 119], [6] | [127], [12], [151] |
| 13 – 2 | [208], [90], [85], [166, 167], [141], [159], [122], [182], [30], [37, 82], [34, 35, 59, 143, 144], [183, 184, 185], [223], [212], [98], [79], [99] | [118, 119], [75, 76], [52] | [19], [113], [32], [213], [72, 73], [128], [92], [6], [107, 108], [157], [118, 119], [52], [6], [139, 140] | [172, 173], [71], [137], [127], [12], [151] |
| 13 – 3 | [129, 130, 131], [90], [85, 166, 167], [141], [159], [60], [91], [223], [125, 126, 207], [146] | [118, 119] | [165], [96, 97], [113], [11, 12], [164], [118, 119], [146] | [137], [22, 23] |
| 13 – 4 | [90], [85], [166, 167], [141], [159], [60], [193], [133], [34, 35, 59, 143, 144], [183, 184, 185], [36, 51, 217], [99, 98], [79] | [118, 119], [75, 76], [36, 217] | [165], [113], [2, 3], [57, 58], [104], [72, 73], [128], [157], [118, 119], [36, 217], [139, 140] | |
| 13 – 5 | [38, 39], [158], [142], [99], [208] | [118, 119], [52] | [113], [2, 3], [57, 58], [104], [72, 73], [128], [157], [118, 119], [52], [139, 140] | [86, 87, 88] |

| | | | | |
|---------|---|-----------------------|---|--|
| 13 – 6 | [193] | [52] | [113], [52], [139, 140] | [86, 87, 88], [137] |
| 13 – 8 | [90], [60], [150], [125, 126, 207], [161], [101], [142], [79],[146] | [diese Arbeit] | [52] | [165], [96, 97], [11, 12], [164], [52], [6], [139, 140], [146] |
| 13 – 9 | [208], [129, 130, 131], [206], [8, 9], [30], [55, 56], [37, 82], [223] | [75, 76], [222] | [19] , [32], [213], [11, 12], [164] | [51], [172, 173], [61, 63, 66], [127], [12], [151] |
| 13 – 10 | | | | |
| 14 – 1 | [215, 218, 220], [81] | [118, 119] | [32], [213], [118, 119] | [127], [12], [151] |
| 14 – 2 | [129, 130, 131], [122], [182], [30], [210], [160, 162], [183, 184, 185], [212], [81], [98], [1], [79], [99] | [118, 119], [52] | [50], [32], [213], [72, 73], [128], [92], [107, 108], [157], [160, 162], [118, 119], [52] | [210], [71], [137], [127], [12], [151] |
| 14 – 4 | [129, 130, 131], [193], [183, 184, 185], [36, 217], [142], [79] | [118, 119], [36, 217] | [2, 3], [57, 58], [104], [72, 73], [128], [157], [118, 119], [36, 217] | |
| 14 – 5 | [154], [55], [16], [95], [105, 106], [38, 39], [158], [99, 98], [99] | [52] | [2, 3], [57, 58], [104], [72, 73], [128], [157], [118, 119], [52] | [86, 87, 88] |
| 14 – 6 | [129, 130, 131], [122], [193], [1] | [52] | [52] | [86, 87, 88], [137] |
| 14 – 8 | [122] , [161], [101], [142], [79] | [diese Arbeit] | [222] | [32], [213], [222] |
| 14 – 9 | [30, 78], [55, 56] | [75, 76], [222] | [52], [32], [213], [168] | [137], [127], [12], [151] |
| 14 – 10 | | | | |
| 15 – 1 | [160, 162], [34, 35, 59, 143, 144], [53, 54], [81] | [53, 54] | [160, 162], [34, 35, 59, 143, 144], [53, 54] | [127] |
| 15 – 2 | [160, 162], [34, 35, 59, 143, 144], [53, 54], [1], [79] | [diese Arbeit] | [53, 54] | [160, 162], [34, 35, 59, 143, 144], [53, 54] |
| 15 – 3 | [53, 54] | | | |
| 15 – 4 | [34, 35, 59, 143, 144], [79] | | [34, 35, 59, 143, 144] | |
| 15 – 5 | [158], [99, 98], [142], [1] | | | |
| 15 – 6 | [98] | | | |
| 15 – 8 | [53, 54], [99, 98], [161], [109, 110], [101], [142], [79] | [diese Arbeit] | [53, 54] | [53, 54] |
| 15 – 9 | | [diese Arbeit] | | |
| 15 – 10 | | | | |
| 15 – 11 | [160, 162], [53, 54] | [160, 162],[53,54] | [160, 162], [53, 54] | |
| 16 – 1 | | | | [127] |
| 16 – 2 | [195, 196, 197], [212] | [diese Arbeit] | [20, 21], [94] | [104] |
| 16 – 3 | | | | [44, 45, 67, 115, 116] |
| 16 – 4 | | | | |
| 16 – 5 | [195, 196, 197], [224] | | | [44, 45, 67, 115, 116] |
| 16 – 6 | | | | |
| 16 – 8 | | [diese Arbeit] | | |
| 16 – 9 | | [diese Arbeit] | | |
| 16 – 10 | | | | |
| 16 – 11 | | | | |

3.3 Stand des Wissens zu Verschleiß der Rundschaftmeißel

3.3.1 Schneidtechnische Einflussgrößen auf den Meißelverschleiß

Schnittgeschwindigkeit

Die übliche Schnittgeschwindigkeit bei den Gewinnungsmaschinen, die im Allgemeinen von den Gesteinseigenschaften bestimmt wird, liegt zwischen 1 und 5 m/s. Je härter und abrasiver das Material ist, desto niedriger sollte sie gewählt werden. Außerdem ist der Meißelverschleiß bei Werten kleiner als 1,0 bis 1,5 m/s annähernd unabhängig von der Schnittgeschwindigkeit [37, 55, 82, 145, 208]. Beim Überschreiten der kritischen Schnittgeschwindigkeit (s. Anhang 1) entsteht hohe Temperatur, die zu zunehmendem Verschleiß führt [176, 177, 178].

Schnitttiefe

Der Verschleiß der Rundschaftmeißel nimmt generell mit wachsender Schnitttiefe zu. Dabei kann die Änderung der Schnittgeschwindigkeit diese Auswirkung noch verstärken. Während die Schnitttiefe den Abrieb des Schneidwerkzeuges im Bereich von 0 bis 1,5 m/s unerheblich linear beeinflusst, steigt der Meißelverschleiß bei den größeren Schnittgeschwindigkeiten exponentiell an [208].

Schnittlinienabstand

Systematische ausführliche Untersuchungen zum Einfluss des Schnittlinienabstandes auf den Verschleiß der Rundschaftmeißel liegen nicht vor. Abhängig von Gebirgseigenschaften schwankt das optimale Schnittlinienabstand-Schnitttiefe-Verhältnis unter dem Kriterium „Minimum“ der spezifischen Energie zwischen 1,7 und 2,5 [36, 122, 129, 182, 193, 217].

Schneidlänge bzw. -zeit

Gemäß der Untersuchungen in [105, 106, 152] hat die Änderung des Meißelverschleißes (Gewichtverlust des Meißels in [g] oder [%]) mit der Schneidlänge bzw. -zeit vorwiegend linearen Zusammenhang (Abb. 35-a).

In den Arbeiten [11, 124, 154] ist das Diagramm (für Längenverlust des Meißels in [mm]) in zwei Abschnitte aufgeteilt. Der erste Teil ist durch eine hohe veränderliche Verschleißrate des Schneidwerkzeuges gekennzeichnet (Zone I), was für die Anfangsperiode des Schneidvorganges mit dem neuen Rundschaftmeißel typisch ist. Der zweite Teil bildet die Zone mit der niedrigen konstanten Verschleißrate – Zone II (Abb. 35-b).

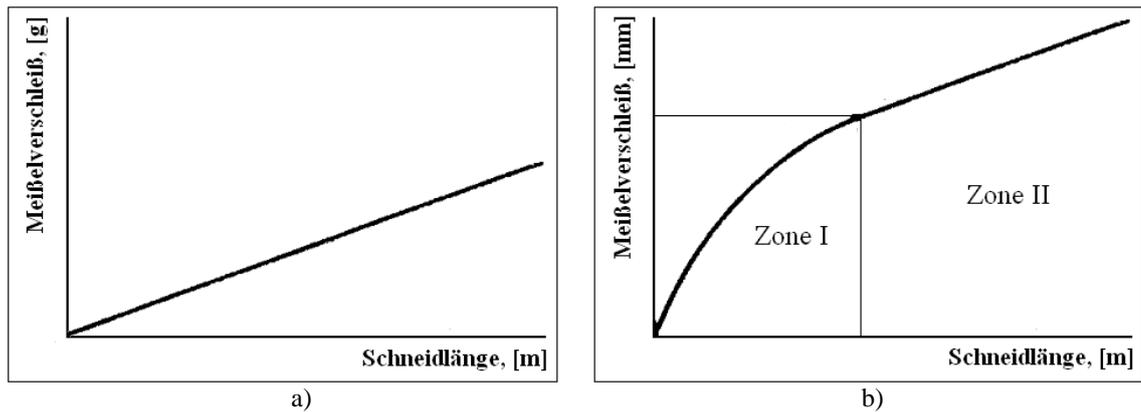


Abb. 35: Schematische Darstellung der Änderung des Meißelverschleißes von der Schneidlänge
a) für Gewichtsverlust des Meißels [105]; b) für Längenverlust des Meißels [124]

Spanwinkel

Zum Unterschied von unten genannten Parametern ist sein Einfluss auf den Verschleiß der Schneidwerkzeuge weniger ausgeprägt. Die Auswahl des Spanwinkels, der sich in der Praxis auf 0° bis 15° beläuft, hängt im Wesentlichen vom eingestellten Keil-, Frei- und Anstellwinkel ab [90, 105, 194].

Freiwinkel

Seine Variation beeinflusst die Energiebilanz des Schneidvorganges und die Abnutzung des Meißels wesentlich deutlicher als die Änderungen des Spanwinkels. Es ist ersichtlich, dass ein großer Freiwinkel energetisch optimal und verschleißgünstig ist, obwohl die Bruchgefahr des Hartmetallstiftes in diesem Fall wächst. Nach verschiedenen Literaturquellen muss der für die effektive Gesteinszerstörung notwendige Freiwinkel mehr als 5° bis 10° betragen [82, 90, 129].

Drehwinkel

Der Drehwinkel ist zuständig für die Drehung des Rundschafftmeißels während des Schneidprozesses, um damit einen günstigen symmetrischen Verschleiß zu bewirken. Seine optimalen Werte liegen zwischen 10° und 20° , wo ebenfalls niedrige spezifische Energie erreicht werden kann [55, 82, 90, 105].

Anstell- und Keilwinkel

Der Anstellwinkel bestimmt im Zusammenhang mit dem Keilwinkel des Schneidwerkzeuges indirekt die Größen von Frei- und Spanwinkel.

Zahlreichen Forschungsergebnissen zufolge hat sich der Anstellwinkel von 45° bis 50° als günstig erwiesen. Dabei schwankt der übliche Wert vom Keilwinkel zwischen 70° und 90° [36, 55, 82, 90, 105, 217].

3.3.2 Qualitative Klassifizierung des Meißelverschleißes

Die Ursache der Verschleißerscheinung besteht im Wesentlichen in den gemeinsamen Einwirkungen mechanischer und thermischer Prozesse. Der mechanische Verschleiß tritt an der Kontaktfläche zwischen Meißel und Gestein auf und stellt sich als Materialabtrag am Hartmetalleinsatz und am umgebenden Trägermaterial durch Reibung dar. Der thermische Verschleiß ist wiederum auf die Absorption der an der Kontaktfläche beim Schneiden entstehenden Wärmeenergie durch den Meißel zurückzuführen, was zur Abnahme der Hartmetallfestigkeit um bis zu 50% führt [169].

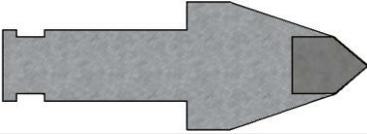
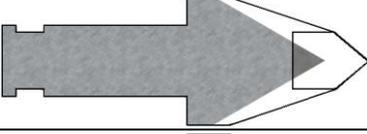
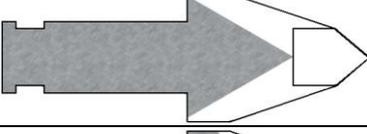
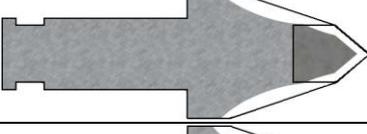
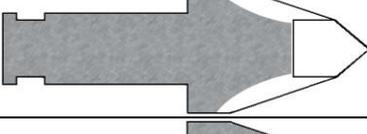
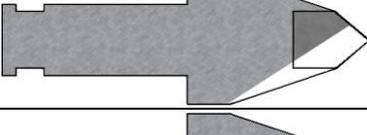
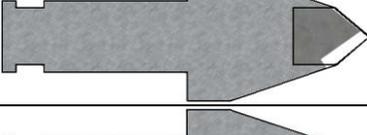
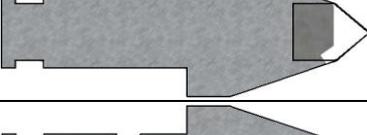
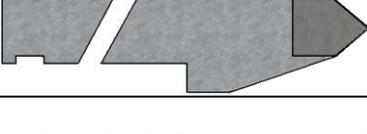
Der Verschleiß der Rundschافتmeißel drückt sich in drei Grundformen aus, die abhängig von den Gesteinseigenschaften miteinander kombiniert sind:

- Verschleiß des Hartmetallstiftes;
- Verschleiß des Trägermaterials;
- Ausbruch des Hartmetalleinsatzes.

In Tabelle 6 ist die Einteilung der Verschleißformen von Rundschافتmeißeln nach *I.A. Levankowskij und L.B. Glatman, K. Thuro, R.J. Plinninger* dargestellt [124, 148, 205].

Gemäß den zahlreichen Beobachtungen von Herstellern und Wissenschaftlern kommt der sog. Trägerverschleiß bei Rundschافتmeißeln in den wenig abrasiven weichen und mittelharten Gesteinen wie z. B. Braunkohle und Salz vor. In diesen Arbeitsbedingungen erfährt der Hartmetallstift im Gegensatz zum Trägermaterial (Stahl) eine geringere mechanische Abnutzung auf Grund seiner größeren Festigkeit und Härte. Bei der Zerstörung abrasiven mittelharten bis sehr harten Materials wie Sandstein oder Kalkstein sind überwiegend der normale, totale und asymmetrische Verschleiß der Schneidwerkzeuge verbreitet [124].

Tabelle 6: Einteilung der Verschleißformen von Rundschafftmeißeln [124, 148, 205]

| Verschleißart | Verschleißbild | Beschreibung |
|--------------------------------|---|---|
| neues Schneidwerkzeug |  | fabrikneuer, unbenutzter Rundschafftmeißel |
| Abrasivverschleiß |  | Normalverschleiß: Gleichmäßiger Abtrag von Hartmetall und Werkzeugmaterial. Werkzeugwechsel nach Abnutzung bis auf sinnvolles Niveau |
| |  | Totalverschleiß: Zuordnung zu Verschleißklassen nicht oder bedingt möglich |
| |  | Trägerverschleiß: Bevorzugter Abtrag des Werkzeugträgers. |
| |  | Totalausbruch: Ausbruch des Stiftes aufgrund fehlender seitlicher Bettung |
| |  | Stiftverschleiß: Ausgeprägte Verflachung des Hartmetallstiftes bzw. Keilwinkels |
| |  | Asymmetrischer Verschleiß: Ausgeprägt einseitige Abnutzung des Rundschafftmeißels |
| Verschleiß durch Sprödbruch |  | Sprödbruch: Sprödbrüche innerhalb des Hartmetallstiftes, die zur teilweisen oder vollständigen Zerstörung führen |
| |  | Totalausbruch: Vollständiger Ausbruch des Hartmetallstiftes durch Versagen der Verbindung zwischen Werkzeugträger und Hartmetall |
| |  | Meißelschaftbruch: Bruch des Meißelschafts unterhalb des Trägerkegels (oberhalb des Meißelhalters) |

Wie die Beispiele für Schiefer und Kupfersandstein sowie für Steinkohle in Abbildung 36 veranschaulichen, beträgt der Anteil der asymmetrischen Abnutzung und der symmetrischen Abnutzung (Normalverschleiß + Totalverschleiß) jeweils 30 bis 50%.

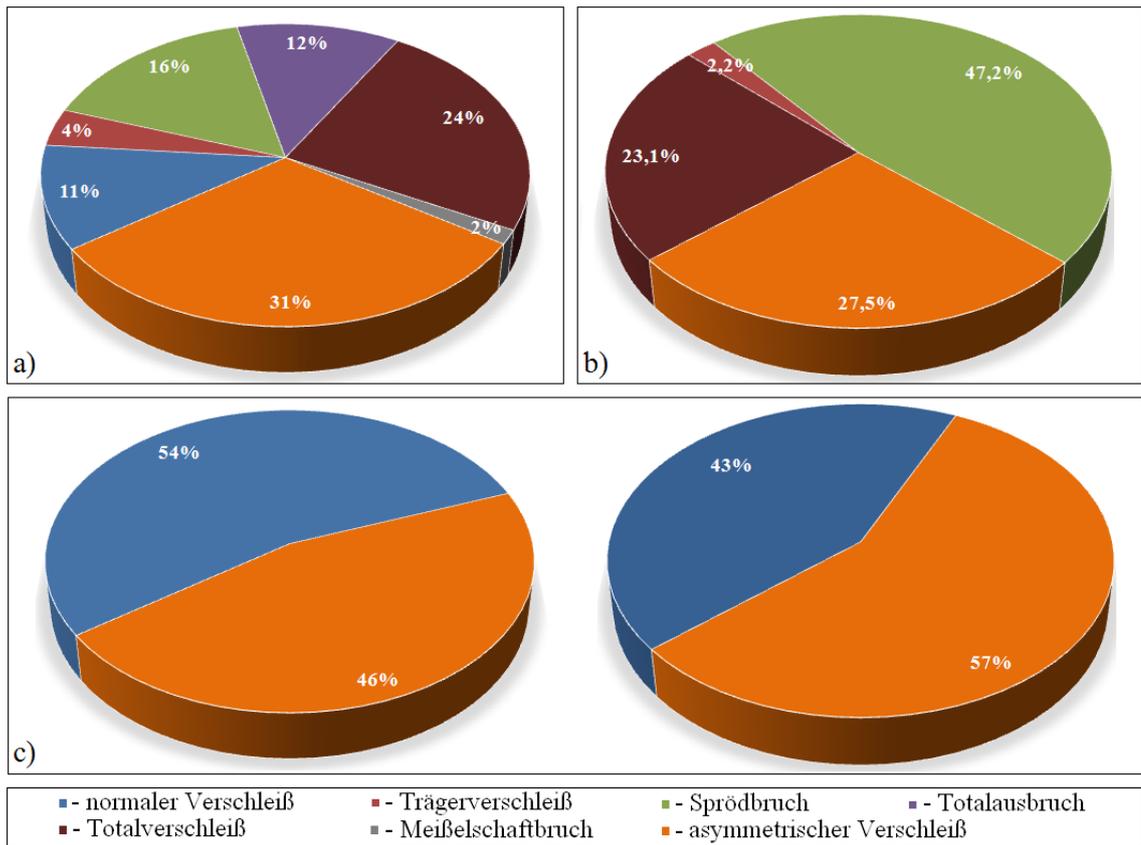


Abb. 36: Prozentualer Anteil der Verschleißformen für Rundschafmeißel ([101], [203])
a) bei der Gewinnung von Tonschiefer (30 MPa) mit Quarzitkongretionen (120 MPa)
b) bei der Gewinnung von Kupfersandstein (50 MPa) mit festen Dolomitkongretionen (180 MPa)
c) bei der Gewinnung von Steinkohle (30-50 MPa) für zwei verschiedene Meißel

Die asymmetrische Abnutzung der unterschiedlichen Rundschafmeißel im Vergleich mit neuem Meißel ist in Abbildung 37 dargestellt.



Abb. 37: Asymmetrische Abnutzung der Rundschafmeißel im Vergleich mit neuem Meißel [224, 203]

3.3.3 Quantitative Klassifizierung des Meißelverschleißes

Als hauptsächlicher Kennwert des quantitativen Verschleißes dient der Meißelverbrauch (M_V). Er berechnet sich als Verhältnis der Anzahl der gewechselten (verbrauchten) Schneidwerkzeuge zu Volumen oder Masse des gelösten Gesteines und besitzt somit die Einheit Meißel pro m^3 bzw. pro t:

$$M_V = A_M / V_{hw} \text{ oder } M_V = A_M / M_{hw} \quad (4)$$

mit: A_M Anzahl der gewechselten Schneidwerkzeuge
 V_{hw} Volumen des gelösten Gesteins [m³]
 M_{hw} Masse des gelösten Gesteins [t]

Aus der Praxis ist bekannt, dass nach jedem Meißelwechsel die verbrauchten Schneidwerkzeuge gezählt und der spezifische Meißelverschleiß berechnet werden. Da diese Werte unter Umständen stark schwanken können, werden vorläufig meist gleitende Mittelwerte ermittelt und später ein arithmetischer Mittelwert festgehalten [205].

In Tabelle 7 ist ein Beispiel der numerischen und begrifflichen Klassifizierung des quantitativen Verschleißes für Rundschafftmeißel angeführt. Sie basiert auf den Literaturangaben und den durchgeführten Projekten in Zusammenarbeit von Bauunternehmen und Maschinenherstellern [148].

Tabelle 7: Quantitative Klassifizierung des Verschleißes von Rundschafftmeißeln [148]

| Verschleiß- Bezeichnung | Meißelverbrauch, [Meißel/m ³] | Meißelstandzeit- Bezeichnung | typische Gesteinsart |
|----------------------------|---|---------------------------------|------------------------|
| sehr gering | < 0,01 | sehr hoch | Braunkohle, Salz |
| gering | 0,01 bis 0,05 | hoch | Schiefer, Mergel |
| mittel | 0,05 bis 0,15 | mittel | Kalk- und Sandsteine |
| hoch | 0,15 bis 0,3 | niedrig | Quarzit, Sandsteine |
| sehr hoch | 0,3 bis 0,5 | sehr niedrig | Eisensandsteine, Gneis |
| extrem hoch | > 0,5 | extrem niedrig | Fanglomerate, Dolerit |

Die anderen möglichen Kennwerte für den quantitativen Meißelverschleiß sind:

- Längenverlust des Meißels in [mm];
- Freiflächenlänge in [mm];
- Gewichtverlust des Meißels in [g] oder [%];
- Gewichtverlust pro gewonnenes Gesteinsvolumen in [g/cm³];
- Gewichtverlust pro gewonnene Gesteinsmasse in [g/kg];
- Gewichtverlust pro Schneidlänge in [g/m].

Die Kennwerte, die in dieser Arbeit für die Beschreibung der verschlissenen Schneidwerkzeuge angewendet wurden, sind in Abbildung 38 zeichnerisch dargestellt.

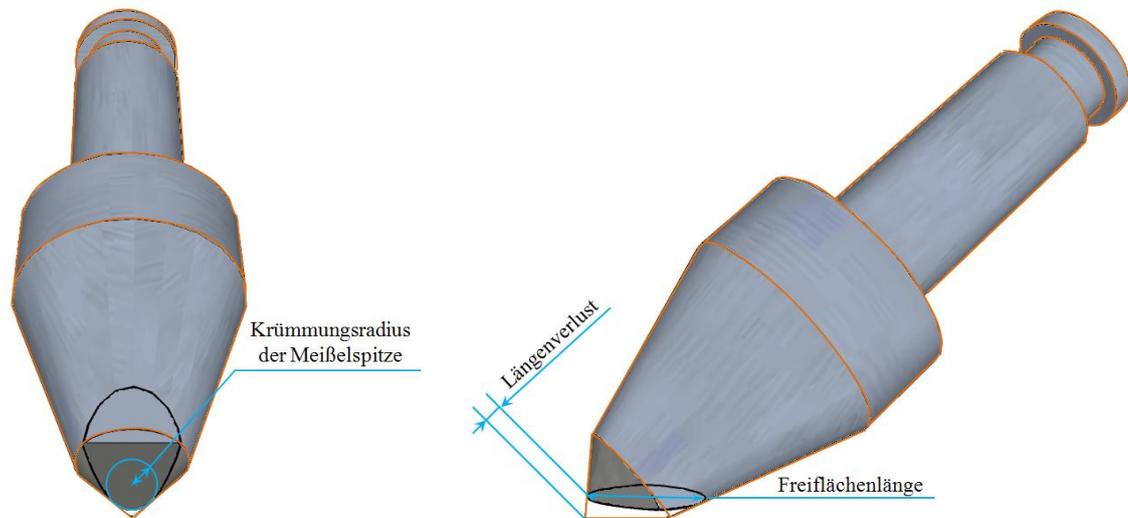


Abb. 38: Kennwerte zur Beschreibung verschlissener Meißel

3.4 Bewertung der Rolle von Staub und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins im Bergbau

3.4.1 Staub

Staub lässt sich definieren als eine Ansammlung von Partikeln (Teilchen) in Gasen. Er entsteht durch verschiedene in der Natur vorkommende oder von Menschen durchgeführte Prozesse und besteht aus Teilchengrößen zwischen 0,1 und 500 μm . Unterteilt wird er nach der Partikelgröße, der Entstehung, der Herkunft und der Belastung für den Menschen.

Neben dem Schadstoffgehalt des Staubes ist die Größe der Staubpartikel der entscheidende Parameter. Folgende Unterscheidung liegt vor [25, 179]:

- Grobstaub – von 100 bis 500 μm ;
- Feinstaub – von 10 bis 100 μm ;
- Feinststaub – von 0,1 bis 10 μm .

In Tabelle 8 sind die Sedimentation und die Absinkzeit der Staubteilchen in Abhängigkeit von der Korngröße dargestellt.

Tabelle 8: Schwebeverhalten von Staubteilchen in Abhängigkeit von der Korngröße [25]

| Korngröße, [μm] | 100 | 50 | 10 | 1 | 0,1 |
|------------------------------|------|------|------|-------------------|-------------------|
| Sedimentation, [cm/s] | 25,0 | 7,0 | 0,3 | $4 \cdot 10^{-3}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ |
| Absinken aus 1 m Höhe, [min] | 0,07 | 0,24 | 5,55 | 416,7 | 208.333 |

Ein wichtiges Unterscheidungskriterium für Staub ist seine Lungengängigkeit. Dabei wird in einatembare (E-Staub, 0 bis 100 μm), thoraxgängige (0 bis 30 μm) oder alveolengängige (A-Staub, 0 bis 10 μm) Fraktionen unterschieden.

Staub entsteht bei jedem Prozess in der Gewinnungskette im Bergbau (Lösen – Vorbrechen – Laden – Fördern – Verkippen – Zwischenlagern). Der in dieser Arbeit betrachtete und den Staub hervorrufende Prozess ist das Lösen mittels maschineller Gesteinszerstörung. Sie schließt unterschiedliche Maschinentypen ein, z. B. CSM, Schaufelradbagger, Walzenschrämlader, Teilschnittmaschine oder Hobelanlage. Dabei wird die Gesteinszerstörung nahezu ständig von Staubemissionen begleitet (Abb. 39). Zur Staubbekämpfung können lokale Maßnahmen wie Befeuchtung und Bedüsung durchgeführt werden.



a)



b)

Abb. 39: Staubentstehung bei der maschinellen Gesteinszerstörung im Bergbau
a) bei CSM; b) bei Schaufelradbagger

Im Bergbau, besonders im Tiefbau aufgrund der dortigen geometrischen Verhältnisse und des fehlenden Luftaustausches, werden die Menschen bei der Arbeit unter Umständen ständig von Staub belastet. Diese Arbeitsbedingungen können nicht nur zu Unfällen wegen Sichtbehinderungen führen, sondern auch unterschiedliche Berufskrankheiten hervorrufen. Stäube von Quarz (Sandstein, Granit) haben die schädlichsten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. So ist z. B. Silikose eine Lungenerkrankung, die beim Einatmen vom SiO_2 -haltigen Staub entsteht. Weniger gefährlich ist Kalk-, Ton- und Kohlenstaub [144].

Ein weiterer wesentlicher Fakt bei der Bewertung der Gefährlichkeit vom Staub ist, dass Staub-Luft-Gemische unter Umständen explosiv sind. Ist er in einer genügenden Konzentration vorhanden und wird ausreichende Zündenergie zugeführt, kann es zu einer Explosion kommen. Zum Beispiel können Kohlepartikel mit $\leq 500 \mu\text{m}$ Durchmesser mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden.

3.4.2 Stückigkeit des gewonnenen Gesteins

Ein wichtiger Parameter, der die Effektivität des eingesetzten Abbauverfahrens bezüglich des gelösten Gesteins beschreibt, ist die Stückigkeit des gewonnenen Materials, d. h. die Korngröße der Partikel und deren prozentuale Verteilung.

Sprengarbeiten müssen so konzipiert werden, dass die Stückigkeit des zerstörten Gesteins einen wirtschaftlichen Einsatz der vorhandenen Lade- und Transportgeräte zulässt. Das heißt, das gelöste Material sollte so zerkleinert sein, dass der Knäpperanteil unter 5% liegt. Unter Knäpper (Übergrößen) werden große Brocken verstanden, die das Laden und das Abfördern behindern können oder sich von den Ladegeräten gar nicht mehr aufnehmen lassen. Auch die weitere Verwendung des Fördergutes in der Prozesskette, als Zwischen- oder Endprodukt, sollte berücksichtigt werden, weil die zulässige Stückigkeit des gewonnenen Gesteins sich nach der Verarbeitung des Rohstoffes richtet. Ist zu viel Überkorn vorhanden, wird es in der Regel in einer Vorbrechanlage aufbereitet, um kleinstückiges Material zu erhalten. Zu feines Material kann in der Regel ebenfalls nicht weiter genutzt werden.

Im Gegensatz zu den Sprengarbeiten fallen bei der maschinellen Gewinnung keine Knäpper an und Vorbrechen ist in der Regel nicht nötig. Die Korngröße des gelösten Gesteins ist durch die Schneidparameter steuerbar (z. B. Schnitttiefe oder Schnittlinienabstand).

Außerdem hat die durch die Gewinnungsprozesse bedingte Stückigkeit des gelösten Materials einen großen Einfluss auf die technologische und wirtschaftliche Effektivität der nachfolgenden Prozesse bzw. der Nutzung der Rohstoffe (Anhang 2).

3.4.3 Zusammenfassung der Erkenntnisse über Staub und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins im Bergbau

Stückigkeit des gewonnenen Gesteins sowie Quantitäten an Staub, Fein- und Überkorn können durch die Wahl der Gewinnungsmethode gesteuert werden. Da die Kosten für die Aufbereitung und das Vorbrechen der Rohstoffe progressiv mit Zunahme des Anteils von feinen Körnern bzw. von Knäppern steigen, wirkt dieser Umstand auf die Kosten des Endproduktes [69]. Ebenso ist eine Minimierung unerwünschten Staubes kostengünstiger als nachgeschaltete Filter- oder Entstaubungsanlagen.

Die wesentlichen Anforderungen an die Gesteinsgewinnung im Bergbau hinsichtlich Staub und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins sind:

- Verringerung des Anfalls von Schwebstaub und einatembarem Staub;
- Erzeugung der Körner erforderlicher Stückigkeit;
- geringer Anfall von Feinkorn (von 1 bis 2 mm);
- geringer Anfall von Knäppern.

Darüber hinaus müssen verschiedene Maßnahmen unternommen werden:

- Unterbinden der Staubentstehung an der Quelle (Hochdruckwasserstrahl);
- Niederschlagen des Staubes durch geeignete Maßnahmen (Befeuchtung);
- Bestimmung und Einstellung der optimalen Schneidparameter.

3.5 Ziel der Promotion und Aufgabenstellung

Die vorgenommene Analyse zum aktuellen Stand des Wissens auf dem Gebiet der maschinellen Gesteinszerstörung mit Schneidwerkzeugen zeigt deutliche Defizite der detaillierten Untersuchungen und Kenntnisse über die Änderungen der relevanten Arbeitsgrößen wie spezifische Energie, Staubmengenanteil und Stückigkeit des gelösten Gesteins unter Berücksichtigung des Einflussfaktors „Meißelverschleiß“ (Tabelle 4).

Bei der Lösearbeit mit Gewinnungsmaschinen wie Teilschnittmaschinen oder Surface-Miner stellt der Meißelverschleiß, der nicht vermieden werden kann, einen wesentlichen Einflussparameter auf die Arbeitsgrößen dar. Im Zusammenhang damit, dass die Schneidwerkzeuge auf dem Gewinnungsorgan über die Arbeitszeit durch die Reibung stumpf werden, ändert sich erheblich die Dynamik des Zerstörungsprozesses, genauer

die wirkenden Kräfte und der Energiebedarf [11]. Das ist darauf zurückzuführen, dass sich eine Änderung der Meißelgeometrie und vor allem des Keil- und Freiwinkels ergibt. Außerdem wirkt sich diese Tatsache auf das Volumen des gewonnenen Materials, seine Stückigkeit, die spezifische Energie und darüber hinaus auf die entstehende Staubmenge aus, da mit zunehmendem Abnutzungsgrad des Schneidwerkzeuges zusätzliche Gesteinsbereiche zerspannt bzw. erfasst werden und die Zermalmungszone in der Sohle der Schnittspur größer wird.

Demzufolge können folgende Thesen bzw. Voraussetzungen der Dissertation formuliert werden:

- Das optimale Verhältnis zwischen Schnittlinienabstand und Schnitttiefe ändert sich in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß. Dabei werden die Meißel während längerer Arbeitszeit in unterschiedlichem Maße abgestumpft.
- Der Massenanteil einer Korngrößenfraktion ändert sich in Abhängigkeit von Meißelverschleiß, Rippenbruchfaktor und Gesteinseigenschaften.
- Die Menge des entstehenden Staubes ändert sich in Abhängigkeit von Meißelverschleiß, Rippenbruchfaktor und Gesteinseigenschaften.

Das generelle Ziel dieser Dissertation ist die Optimierung des Schneidprozesses und die Erarbeitung einer Methodik bzw. eines Modells zur tendenziellen Prognose der relevanten Arbeitsgrößen unter Beachtung des auftretenden Meißelverschleißes. Durch systematische Untersuchungen an Gesteinsproben unterschiedlicher Eigenschaften mit Rundschaftmeißeln, Variation schneidtechnischer Parameter und die ausführliche Analyse der Ergebnisse soll die Aufgabe erfüllt werden. Entsprechend dem Aufgabengebiet gliedert sich die vorliegende Arbeit in mehrere Bereiche auf:

- 1) Bestimmung der Änderung der Meißelgeometrie (Meißelverschleiß) in Abhängigkeit von den Gesteinseigenschaften:
 - *Erzeugung von Meißeln mit realitätsnahen Verschleißformen.*
- 2) Bestimmung des Einflusses des Meißelverschleißes auf die Schneidkräfte und die spezifische Energie bei verschiedenen Verhältnissen von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe:
 - *absolute und relative Werte,*
 - *„Minimum“ der spezifischen Energie.*

- 3) Ermittlung der Stückigkeit des gelösten Gesteins in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß und von Gesteinseigenschaften bei verschiedenen Verhältnissen von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe:
- absolute Werte,
 - „Maximum“ des Anfalls vom Grobkorn,
 - „Minimum“ des Anfalls vom Feinkorn.
- 4) Ermittlung des Staubmengeanteils in Abhängigkeit des Meißelverschleißes und der Gesteinseigenschaften bei verschiedenen Verhältnissen von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe:
- absolute und relative Werte,
 - „Minimum“ des Mengenanteils von einatembarem Staub.

Im Gegensatz zu den bisher durchgeführten und beschriebenen Untersuchungen bzw. Arbeiten steht im Mittelpunkt dieser Dissertation insbesondere die Frage, welche Auswirkung die Abnutzung des Schneidwerkzeuges bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren auf den spezifischen Energiebedarf, die Körnung des gelösten Materials und die Staubentstehung hat. Diese Arbeitsgrößen beeinflussen wiederum einerseits die Effektivität der Gewinnungstechnologie, die Qualität und die Weiterverarbeitung des gelösten Gesteins und andererseits die Gesundheit der Mitarbeiter des Bergbaubetriebes bedeutend. Der anschauliche Vergleich bzw. Unterschied zwischen bisherigen ähnlichen Untersuchungen und in dieser Arbeit vorgesehenen Untersuchungen ist schematisch in Abbildungen 40 und 41 dargestellt.

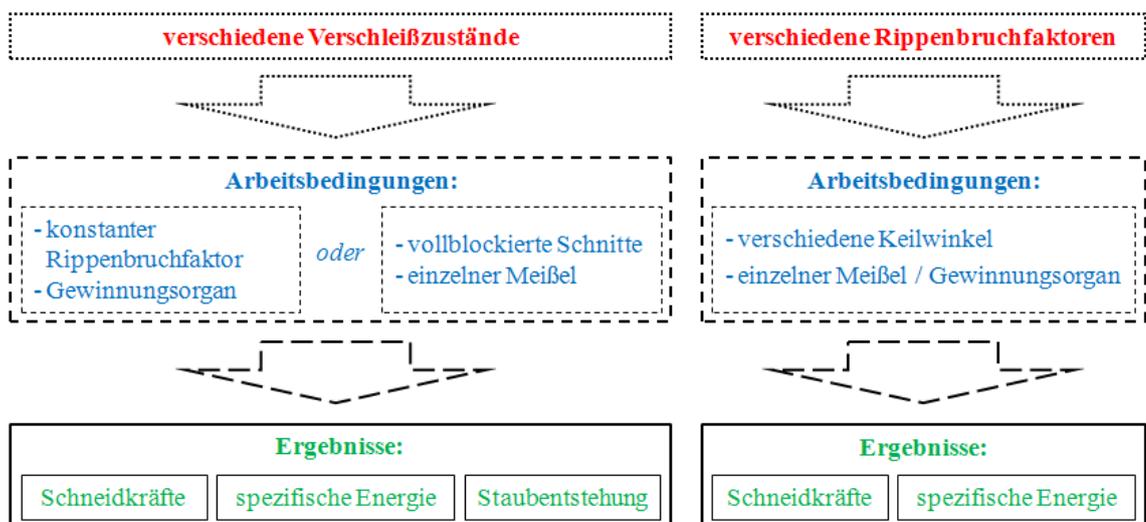


Abb. 40: Schematische Darstellung der bisherigen ähnlichen Untersuchungen

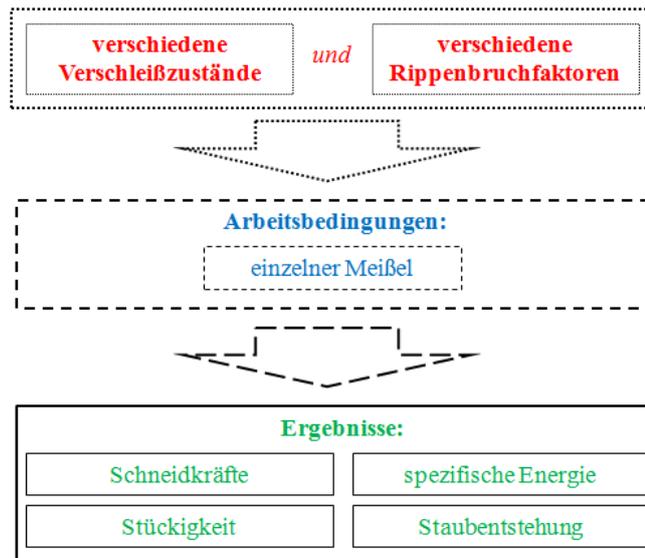


Abb. 41: Schematische Darstellung der vorgesehenen Untersuchungen

Auf diese Weise können neue experimentelle Zusammenhänge entwickelt, Hinweise gegeben und Schlussfolgerungen gezogen werden, die später in den Bergbaubetrieben und bei der Entwicklung von Gewinnungsmaschinen berücksichtigt werden können.

4 Beschreibung der Versuchseinrichtung und -methodik

4.1 Durchführung der Untersuchungen

Grundsätzlich erfolgten die Untersuchungen unter der Maßgabe, Effekte des Zusammenwirkens von benachbarten und zeitlich aufeinanderfolgenden Schnitten (teilklozierte Schnitte) zu analysieren. Die Versuche wurden mit Rundschaftmeißeln verschiedener Verschleißzustände durchgeführt. Vor Beginn der Untersuchungen wurde ein Versuchsprogramm aufgestellt, um Zusammenhänge zwischen den relevanten Arbeitsgrößen und dem Meißelverschleiß herzustellen, wobei der Einfluss der Abnutzung des Schneidwerkzeuges auf die Stückigkeit des gelösten Gesteins und der Staubmengenanteil bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren im Vordergrund standen. Dabei war das Versuchsprogramm in Vor- und Hauptuntersuchungen aufgeteilt (Abb. 42). Die festgelegten Schneidparameter für die Untersuchungen sind in Tabelle 9 dargestellt.

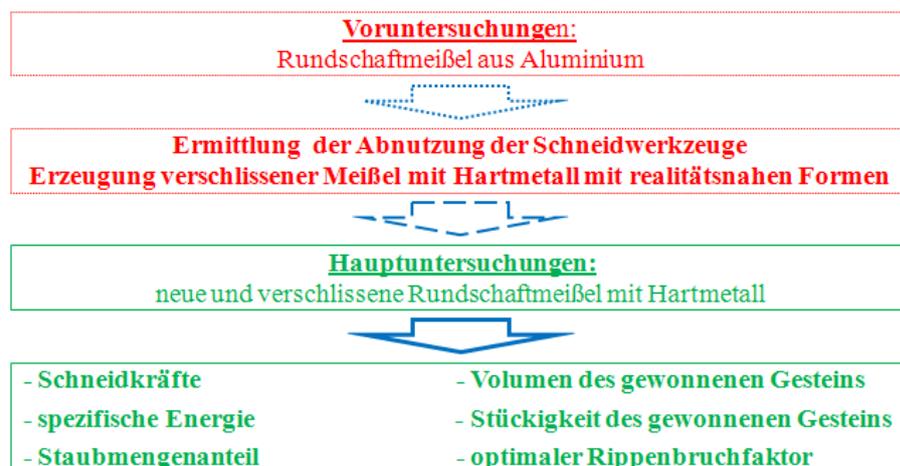


Abb. 42: Versuchsprogramm am Schneidversuchsstand

Tabelle 9: Schneidparameter bei den Vor- und Hauptuntersuchungen

| Schneidparameter | Voruntersuchungen | Hauptuntersuchungen | |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------|
| Versuchsgesteine* | B24/FS; B34/FS | B24/FS; B34/FS | B22/GS |
| Schnitttiefe h_s , [mm] | 20 | 20 | 30 |
| Schnittlinienabstand a_s , [mm] | 40 | 30 bis 60 | 45 bis 90 |
| Rippenbruchfaktor k | 2,0 | 1,5 bis 3,0 | 1,5 bis 3,0 |
| Schnittgeschwindigkeit v_s , [m/s] | 1,0 | | |
| Schneidlänge, [mm] | ca. 400 | | |
| Art des Meißelverschleißes | asymmetrische | | |
| Spanform | linear | | |
| Anstellwinkel α_{an} | 45° | | |

* - Beschreibung in Kapitel 4.3



Abb. 43: Geglättete Arbeitsoberfläche

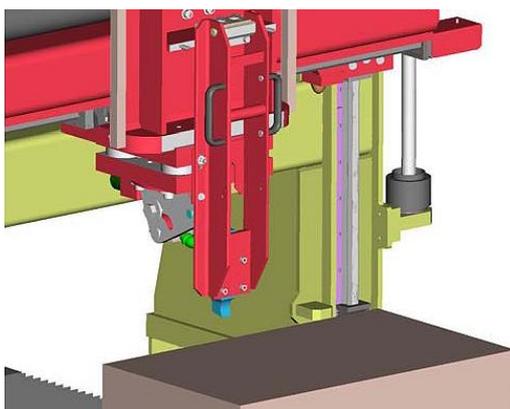


Abb. 44: Glättemeißel [7]

Für Frei- und Spanwinkel wurden jeweils 5° verwendet. Außerdem betrug der Drehwinkel 15° . Die oben genannten Werte sind zu den in der Literatur beschriebenen günstigen geometrischen Verhältnissen für die Gesteinszerspannung zu zählen (s. Kapitel 3.3.1).

Alle Schnitte wurden in einer zuvor plan gehobelten Arbeitsoberfläche ausgeführt (Abb. 43). Für das so genannte „Glätten“ wurde ein spezieller Flachmeißel verwendet (Abb. 44). Um das Gestein nicht zu stark zu stören, wurde der Vorgang mit Schnitttiefen von ca. 1 mm durchgeführt

4.1.1 Beschreibung der Voruntersuchungen

Das Ziel der Voruntersuchungen mit dem Meißel aus Aluminium bestand darin, die Änderung der Meißelgeometrie bzw. den Meißelverschleiß schnell herbeizuführen und auszuwerten sowie realitätsnahe Formen des verschlissenen Schneidwerkzeuges zu erzielen.

Als Verschleißart wurde in der Arbeit asymmetrischer Verschleiß gewählt, der durch die einseitige Abnutzung des Schneidwerkzeuges charakterisiert ist und aufgrund der schlechten Rotation bzw. der Verschmutzung im Meißelhalter auftritt. Gemäß den statistischen Angaben beträgt der Anteil dieser Verschleißform bei der Gesteinszerstörung ungefähr 30 bis 50% (s. Kapitel 3.3.2, Abb. 36, Abb. 37).

Für jeden Gesteinsblock wurde ein Rundschafftmeißel verwendet, mit dem Schnitte bei einer Schnitttiefe von 20 mm gefahren wurden. Hierbei ließ sich zunächst ein vollblockierter Schnitt herstellen, worauf teilblockierte Schnitte mit einem konstanten Schnitlinienabstand von 40 mm folgten. Abbildung 45 zeigt ein Schema der Voruntersuchungen.

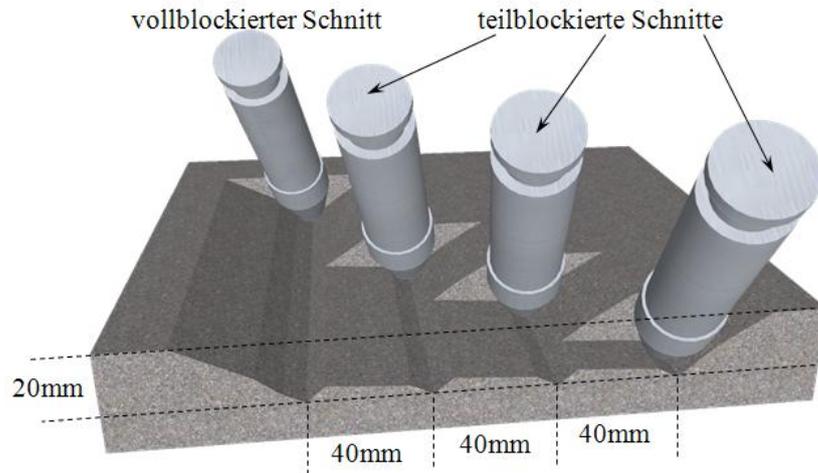


Abb. 45: Schematische Darstellung der Voruntersuchungen

Im Anschluss an ausgewählte Einzelschnitte (meistens jeder 2. oder 3. Schnitt) wurde das Schneidwerkzeug abgemessen, gewogen und fotografiert, um den Meißelverschleiß zu erfassen und zu kontrollieren.

Die Vorversuche bestanden schließlich aus 15 Schnitten am Block B24/FS, 26 Schnitten am Block B 34/FS. Insgesamt wurden 41 Schnitte im Laufe der Voruntersuchungen vorgenommen.

4.1.2 Beschreibung der Hauptuntersuchungen

Während der Hauptuntersuchungen wurden die Rundschaftmeißel mit Hartmetallstift in drei verschiedenen Abnutzungsgraden genutzt, die auf den Ergebnissen der Voruntersuchungen basierten und künstlich generiert wurden. Abbildung 46 zeigt Vorder- und Seitenansicht der verwendeten Meißel.

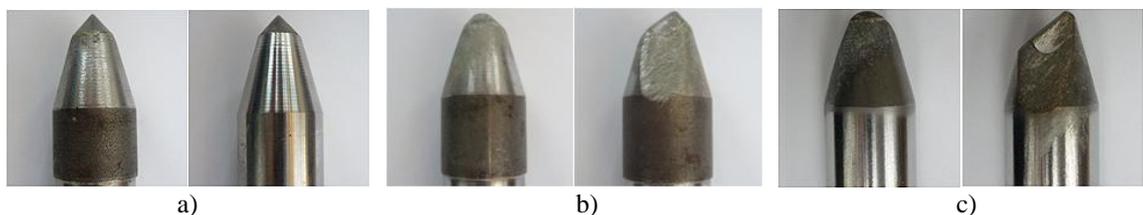


Abb. 46: Rundschaftmeißel in drei verschiedenen Abnutzungsgraden
a) neuer Meißel (Meißel V0); b) Meißel V40; c) Meißel V73

Als Kennwert des Meißelverschleißes wurde bei der Beschreibung der Ergebnisse und Abhängigkeiten in dieser Arbeit der prozentuale Längenverlust des Stiftes bzw. der Stifflängenanteil verwendet. Die Unterschiede in den Kenndaten der eingesetzten Schneidwerkzeuge sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Kenndaten der verwendeten Schneidwerkzeuge

| Parameter | Rundschaftmeißel | | |
|---|------------------|------------|------------|
| | Meißel V0 | Meißel V40 | Meißel V73 |
| freie Stiftlänge, [mm] | 7,5 | 4,5 | 2,0 |
| prozentualer Längenverlust des Stiftes, [%] | --- | 40 | 73 |
| Freiflächenlänge (max.), [mm] | ≈ 0 | 10,5 | 17,5 |
| Krümmungsradius der Meißelspitze, [mm] | ≈ 0 | 6,10 | 7,10 |

Für ein bestimmtes Verhältnis von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe wurden jeweils 3 bis 6 Schnitte (Wiederholungen) mit jedem Abnutzungsgrad des Schneidwerkzeuges gefahren. Die mehrfachen Wiederholungen bei gleichen Bedingungen sind notwendig, um die Änderung der Stückigkeit des gelösten Gesteins, des Staubmengenanteils, des spezifischen Energiebedarfs und demzufolge des optimalen Rippenbruchfaktors in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß besser auszuwerten und zu bestimmen. Hierbei wurde bei der Erstellung der Diagramme der Mittelwert der Arbeitsgrößen aus den Wiederholungen verwendet. Dadurch verringerte sich der Einfluss der sprödelastischen Eigenschaften des Versuchsgesteins auf die Ergebnisse (s. Kapitel 4.3). Außerdem kann es zu einer Abweichung einzelner Messwerte kommen, da bei teilblockierten Schnitten sich die Ausbruchkonturen von räumlich benachbart arbeitenden oder zeitlich hintereinander folgenden einzelnen Meißeln gegenseitig beeinflussen. Abbildung 47 zeigt ein Schema der Hauptuntersuchungen.

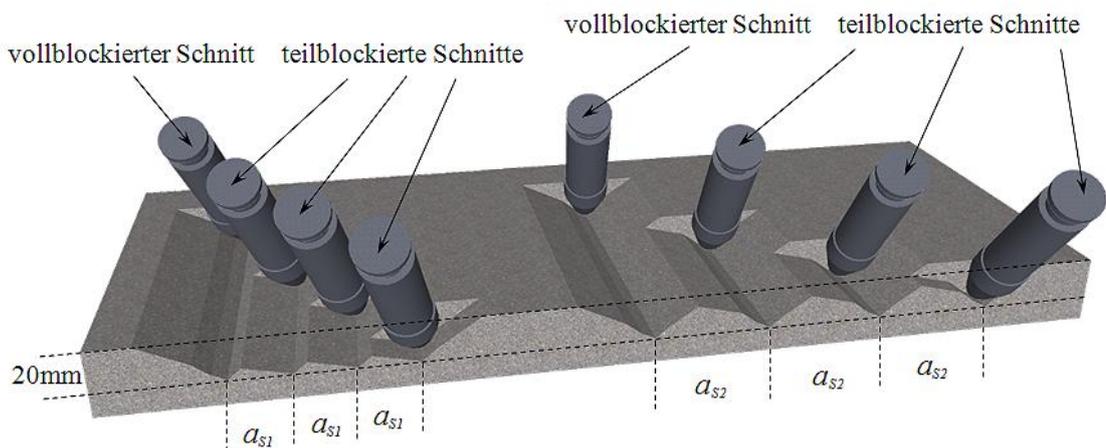


Abb. 47: Schematische Darstellung der Hauptuntersuchungen

Der während dieser Wiederholungen auftretende Verschleiß am Schneidwerkzeug ist dabei so gering, daß die Geometrie des Meißels bei den Wiederholungen als konstant angenommen wurde.

Um die Analyse der Ergebnisse statistisch zu untermauern, wurden vollblockierte Schnitte (Abb. 47) einem Rippenbruchfaktor gleichgesetzt, ab dem keine Beeinflussung zwischen benachbarten Schnittbahnen auftritt und demzufolge die Schneidkräfte und die spezifische Energie für weiter zunehmende Rippenbruchfaktoren konstant bleiben. Dieses Verhältnis von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe wurde rechnerisch durch das Scannen bzw. die Visualisierung der Schnittspur und die Ermittlung der rechten und linken Ausbruchweite des Schnittes festgestellt (Anhang 6 bis 11). Die Parameter der vollblockierten Schnitte in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß befinden sich in Tabellen 11 und 12.

Tabelle 11: Parameter der vollblockierten Schnitte bei einer Schnitttiefe von 20 mm

| Block | Parameter | Meißel (Verschleißzustand) | | |
|--------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| | | Meißel V0 | Meißel V40 | Meißel V73 |
| B24/FS | Schnittlinienabstand, [mm] | 88,3 | 95,0 | --- |
| | Rippenbruchfaktor | 4,42 | 4,75 | --- |
| B34/FS | Schnittlinienabstand, [mm] | 86,0 | 92,3 | 95,0 |
| | Rippenbruchfaktor | 4,30 | 4,62 | 4,75 |

Tabelle 12: Parameter der vollblockierten Schnitte bei einer Schnitttiefe von 30 mm

| Block | Parameter | Meißel (Verschleißzustand) | |
|--------|----------------------------|----------------------------|-------------|
| | | Meißel V0 | Meißel V73 |
| B22/GS | Schnittlinienabstand, [mm] | 129,6 | 135,7 |
| | Rippenbruchfaktor | 4,32 | 4,52 |

Die Gesamtzahl der Hauptversuche am Block B24/FS betrug 48 Schnitte, am Block B34/FS – 66 Schnitte, am Block B22/GS – 33 Schnitte. Insgesamt wurden 147 Schnitte während der Hauptuntersuchungen durchgeführt. Die Aufteilung der Schnitte in Abhängigkeit von Verschleißzustand des Schneidwerkzeuges und Versuchsgestein ist in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Anzahl der durchgeführten Schnitte während der Hauptuntersuchungen

| Block | Meißel (Verschleißzustand) | Anzahl der Schnitte |
|--------|----------------------------|---------------------|
| B24/FS | Meißel V0 | 26 |
| | Meißel V40 | 22 |
| B34/FS | Meißel V0 | 21 |
| | Meißel V40 | 21 |
| | Meißel V73 | 24 |
| B22/GS | Meißel V0 | 17 |
| | Meißel V73 | 16 |

4.2 Eingesetzte Schneidwerkzeuge

Gewöhnliche Rundschauftmeißel mit Hartmetallstift sind für eine hohe Lebensdauer konzipiert. Deutliche Verschleißspuren würden sich daher erst nach einer großen Probenmenge, mit dem entsprechenden zeitlichen Aufwand, einstellen. Da in dieser Arbeit die Änderung der Meißelgeometrie von entscheidender Bedeutung ist, erscheint die Überlegung, die Abnutzung durch Anwendung eines weicheren Werkstoffes schnell herbeizuführen, sinnvoll. Dadurch können ebenfalls realitätsnahe Formen des abgenutzten Schneidwerkzeuges, die nicht nur die Vergrößerung des Keilwinkels sondern auch die Abstumpfung der Meißelspitze einschließen, erreicht werden.

Demzufolge wurden für die Voruntersuchungen Meißel aus einer Aluminiumlegierung (Al Mg Si_{0,5} F₂₂) hergestellt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Wesentliche Kenndaten von Aluminium Al Mg Si_{0,5} F₂₂

| Parameter | |
|------------------------------|-----|
| Druckfestigkeit, [MPa] | 215 |
| Elastizitätsmodul, [GPa] | 70 |
| Dichte, [g/cm ³] | 2,7 |

Für die Hauptuntersuchungen wurden Rundschauftmeißel mit einem Schaft aus gehärtetem Stahl (Cr₃₄ Ni Mo₆) und einer Spitze aus Hartmetall (HG40 bzw. K40) verwendet (Tabelle 15).

Tabelle 15: Wesentliche Kenndaten der Hartmetallsorte HG40 (K40)

| Parameter | |
|------------------------------|------------------------|
| Co-Gehalt, [%] | 11 |
| Druckfestigkeit, [MPa] | 4900 |
| Elastizitätsmodul, [GPa] | 590 |
| Co-Korngröße, [µm] | 1,4 bis 2,0 (mittlere) |
| Härte, [HV30] | 1360 |
| Biegefestigkeit, [MPa] | 2700 |
| Dichte, [g/cm ³] | 14,4 |

Die wesentlichen Kenndaten der eingesetzten scharfen Schneidwerkzeuge (Abb. 48) können Tabelle 16 entnommen werden.

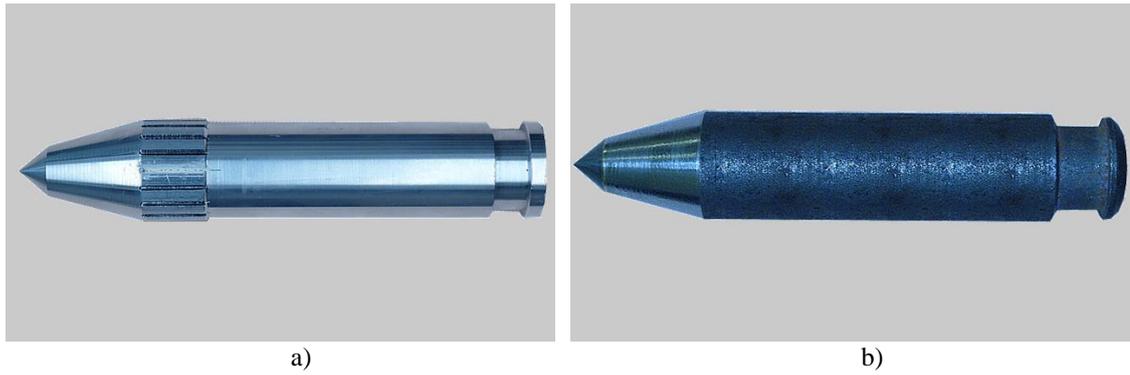


Abb. 48: Eingesetzte scharfe Rundschaftmeißel
a) aus Aluminium; b) mit Hartmetallstift

Tabelle 16: Wesentliche Kenndaten der verwendeten scharfen Schneidwerkzeuge

| Parameter | Rundschaftmeißel |
|------------------------------------|-----------------------|
| Werkstoff | Aluminium, Hartmetall |
| Stiftdurchmesser d_{st} , [mm] | 12,5 |
| freie Stifflänge l_{fst0} , [mm] | 7,5 |
| Keilwinkel α_{k0} | 80° |

Bei allen eingesetzten Schneidwerkzeugen war der Keilwinkel 80°, womit eine gute Löseleistung und zugleich ein relativ geringer Verschleiß erzielt werden. Rundschaftmeißel ähnlicher Größen und Parameter werden zudem im Tief- und Tagebau an Gewinnungsmaschinen verwendet, um Gestein mit einer Druckfestigkeit bis zu 50 MPa zu zerstören [224, 229, 236, 231].

4.3 Versuchsgesteine

Im Rahmen dieser Arbeit wurden künstliche Gesteine aus einem Zement-Sand-Gemisch benutzt. Entsprechend der Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau Teil C1 (Ausgabe 2004), Prüfoption 1 und Teil C10 (Ausgabe 2008) wurden an den Würfeln und Zylindern die Druckfestigkeit bzw. die Spaltzugfestigkeit im felsmechanischen Labor des Institutes für Geotechnik ermittelt. Die einaxiale Druckfestigkeit wurde im Rahmen der Beurteilung der Schneidleistung und des Meißelverbrauches für die maschinelle Gewinnung mit der Druckprüfmaschine ALPHA 2-5000 (Abb. 49-a) bestimmt. Aus diesem Grund sind die Versuche entsprechend der Neufassung der Empfehlung Nr. 1 des Arbeitskreises „Versuchstechnik Fels“ der DGGT den Vorgängen in-situ angepasst kraft geregelt mit einer hohen Belastungsrate von 1 N/(mm²/s) durchgeführt worden. Bei der Bestimmung

der Spaltzugfestigkeit mittels des Rock Mechanics Test Systems MTS 20/M (Abb. 49-b) betrug die Belastungsgeschwindigkeit 0,06 bis 0,1 N/(mm²/s).

Beton ist als Versuchsgestein gut geeignet. Die Mischung aus Zement, Sand und einem entsprechenden Wasseranteil erlaubt die Herstellung von mittlerharten Gesteinen mit ausreichend homogenen Eigenschaften. Die verwendeten Betonblöcke hatten die Abmessungen $L \times B \times H = 550 \times 750 \times 400$ mm. Als Bindermittel wurde ein Portland Kompositzement verwendet. Das Gewichtsverhältnis Sand : Zement war auf 5:1 (Block B24/FS), 4:1 (Block B34/FS) und 4,3:1 (Block B22/GS) festgelegt worden. Als Mischer diente ein Freifallmischer. Der Beton wurde direkt aus dem Mischer in die vorbereiteten Formen für Schneidversuche sowie in die für Untersuchungen der Druck- und Zugfestigkeit gegossen.



Abb. 49: Einrichtungen zur Ermittlung der Gesteinseigenschaften
a) Druckprüfmaschine ALPHA 2-5000; b) Rock Mechanics Test System MTS 20/M

Zur Anfertigung der Blöcke B24/FS und B34/FS wurde Sand mit einem mittleren Korndurchmesser von 0,56 mm verwendet, was durch die Abkürzung FS (Feinsand) gekennzeichnet ist. Um bei Block B22/GS andere Eigenschaften (Abrasivität, Sprödigkeit usw.) einzustellen, wurde hier Grobsand (mittlerer Korndurchmesser ca. 1,5 mm) benutzt. Als Maß für die Abrasivität der Gesteine wurde in der Arbeit der Verschleißkoeffizient nach Schimazek F_V verwendet (s. Anhang 1). Die gemessenen Werte für die Betonblöcke sind in den Anhängen 2 bis 4 dargestellt.

Die mittleren Werte der Verschleißkoeffizienten (F_V), der Druckfestigkeit (σ_D), Spaltzugfestigkeit (σ_Z) und Sprödigkeitskennziffer (σ_D/σ_Z), die auf sprödelastische Eigenschaften des untersuchten Gesteins hinweist, sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Mittlere Werte der ermittelten Gesteinseigenschaften

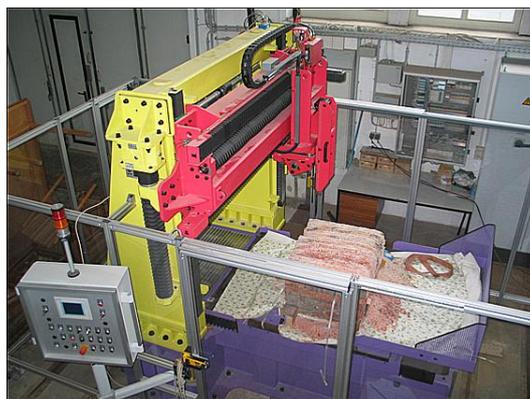
| Block | Verschleißkoeffizient, [N/mm] | Druckfestigkeit, [MPa] | Spaltzugfestigkeit, [MPa] | Sprödigkeitskennziffer |
|--------|-------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| B24/FS | 1,05-1,10 | 24,00 | 2,35 | 10,20 |
| B34/FS | 1,40-1,45 | 33,60 | 3,40 | 9,90 |
| B22/GS | 1,90-2,00 | 22,10 | 1,70 | 12,90 |

Die Ergebnisse der Erprobung einer Vielzahl unterschiedlicher Gewinnungsmaschinen in verschiedenen Gesteinen zeigen, dass bei einem Verschleißkoeffizient bis zu 3 N/mm und einer Druckfestigkeit bis zu 100 MPa mit spanender Gesteinszerstörung wirtschaftlich gearbeitet werden kann [68]. Diesen Bedingungen entsprechen die ausgewählten Versuchsgesteine voll.

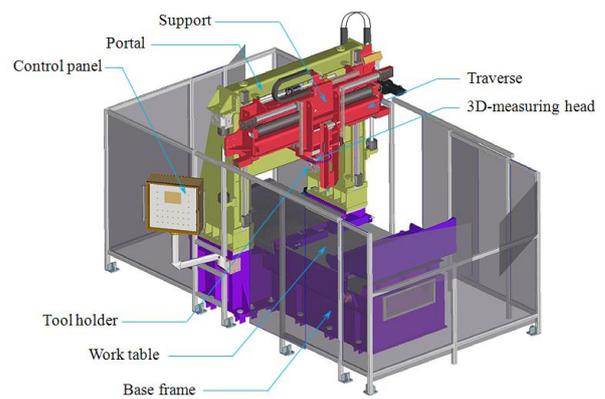
4.4 Schneidversuchsstand

4.4.1 Information zur Sonderhobelmaschine HXS 1000-50

Zur Durchführung der Untersuchungen wurde der Versuchsstand für schneidende Gewinnung der TU Bergakademie Freiberg genutzt. Dabei handelt es sich um eine Sonderhobelmaschine vom Typ HXS 1000-50, die von der Firma ASW GmbH Naumburg im Jahr 2008 speziell für diese Belange entwickelt und hergestellt wurde (Abb. 50).



a)



b)

Abb. 50: Sonderhobelmaschine HXS 1000-50 am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau
a) Foto der Sonderhobelmaschine b) Übersichtsskizze vom Aufbau der Sonderhobelmaschine [7]

Umhaust wird die Maschine mit einem schlag- und stoßresistenten Schutzsystem aus durchsichtigem Kunststoff, welches über mehrere Türen betreten werden kann. Konstruktiv besteht der Versuchsstand aus einem Grundrahmen, einem feststehenden 2-Holm-Portal mit Support für 3D-Messkopf, Laser und Werkzeugträger sowie einem beweglichen Arbeitstisch, auf dem der Prüfkörper befestigt wird (Abb. 50-b).

Die Bewegung des Werkzeuges in y-Richtung wird durch Verfahren des Supports auf der Arbeitsbrücke realisiert, in z-Richtung durch Auf- bzw. Abwärtsbewegung der Traverse. Die eigentliche Schnittbewegung (x-Richtung) wird dadurch gewährleistet, dass der Arbeitstisch mit der aufgespannten Probe verfahren wird, was den Vorteil größerer Verwindungssteifigkeit mit sich bringt, da das Portal mit dem Grundrahmen fest verbunden ist.

Der Tisch- sowie der Supportantrieb, jeweils mit schrittmotorgetriebenen Kugelumlaufspindeln, gestatten eine millimetergenaue Werkzeugpositionierung und Schnittpurführung.

Die wesentlichen technischen Daten der Sonderhobelmaschine sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Technische Daten der Maschine HXS 1000-50 [7]

| Parameter | |
|----------------------------|---------------------|
| Baujahr | 2008 |
| Nennleistung | 60 kW |
| Geschwindigkeiten in: | |
| x-Achse | 1.670 mm/s |
| y-Achse | 7 mm/s |
| z-Achse | 16 mm/s |
| Schnitttiefe (max.) | 50 mm |
| Beschleunigung (max.) | 10 m/s ² |
| zulässige Kräfte in: | |
| x-Achse | 50 kN |
| y-Achse | 30 kN |
| z-Achse | 50 kN |
| max. Probekörperabmessung: | |
| Länge | 600 mm |
| Breite | 1.000 mm |
| Höhe | 500 mm |
| Probengewicht (max.) | 1300 kg |

Konzeptionell ist die Sonderhobelmaschine so angelegt, dass die für einen Versuchsschnitt wählbare Einstellung die Geschwindigkeiten des Werkzeuges in y- und z-Richtung, die Koordinaten der Schnittpur (Schnitttiefe, x- und y-Wert) sowie die Schnittgeschwindigkeit sind. Die Bewegungen sind überlagerbar, so dass Schnitte mit zusätzlicher Seitenbewegung aber auch Schnitte mit veränderlicher Schnitttiefe bzw. Kombinationen daraus realisiert werden können.

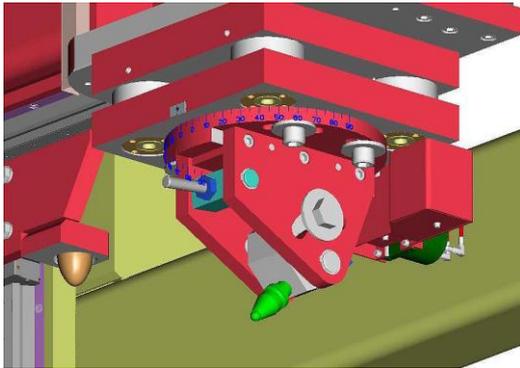


Abb. 51: Werkzeughalter und 3D-Messkopf [7]



Abb. 52: Verschiedene verwendbare Meißel

Die sich ergebenden Kräfte werden gemessen, lassen sich also nicht vorwählen. Wenn die Schnittkraft einen Wert von 100 kN überschreitet, führt dieses zum Zwangsausklappen des Tischantriebes.

Die Werkzeugaufnahme (Abb. 51) gestattet über tauschbare Adapter die Aufnahme verschiedener Meißel (Abb. 52) und deren Positionierung. Folgende Winkeleinstellungen sind möglich:

- Anstellwinkel: 15° bis 90°
- Drehwinkel: -90° bis 90°.

4.4.2 Laserscansystem und Messwerterfassung

Die im System integrierte Oberflächenscaneinheit ermöglicht, in einem separaten Vorgang das Erfassen des Abstandes zwischen dem Laser und der Oberfläche der Probe mit einer Genauigkeit von $\leq 70 \mu\text{m}$. Mit den aus der Maschinensteuerung zur Verfügung stehenden x- und y-Werten der Supportposition und die über den Laser ermittelte dazugehörige z-Koordinate (Laserposition über Probenoberfläche) ist über Triangulation eine 3-D-Oberflächenabtastung messtechnisch zu erfassen und zu visualisieren. Der rechnerische Vergleich mit einer vorherigen Laserabtastung (z. B. unverritzte Oberfläche vor dem Versuchsschnitt) ergibt das Differenzvolumen beider Situationen, also das bei dem Versuchsschnitt gewonnene Volumen. Abbildungen 53-a und 53-b zeigen beispielhaft teilblockierte Schnitte bzw. ihre Visualisierung mit den gewonnenen Koordinaten.

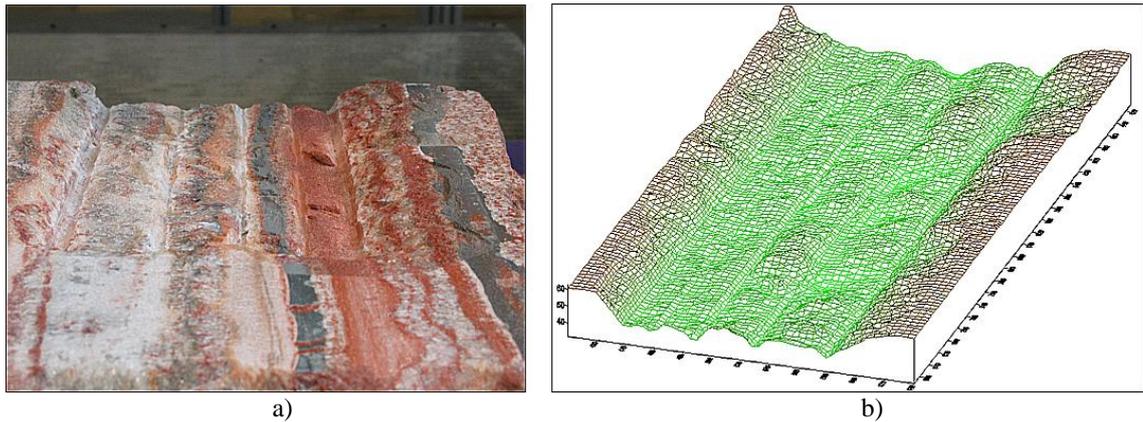


Abb. 53: Teilblockierte Schnitte
a) Schnitte im Kalisalz; b) Visualisierung der Schnitten im Kalisalz

Die Schnitt- (x-Achse), Andruck- (z-Achse) und Seitenkräfte (y-Achse) werden über ein piezoelektrisches 3-D-Messmodul erfasst. Diese Quarz-Kraftsensoren eignen sich zum Messen der drei senkrecht zueinander stehenden Komponenten einer beliebig gerichteten dynamischen Kraft. Die Meßgenauigkeit ist unabhängig vom Kraftangriffspunkt. Ein großer Frequenzbereich sowie die Möglichkeit zum Messen kleiner Kraftunterschiede bei großer Vorlast zeichnen diese Aufnehmer aus.

Vom Hersteller der Messsensoren der Firma Kistler Instrumente Winterthur (Schweiz) ist die 3-D-Messplattform an die Sonderhobelmaschine montiert, vorgespannt und im eingebauten Zustand kalibriert worden. Dabei liegen folgende Messergebnisse zertifiziert vor (Tabelle 19).

Tabelle 19: Kalibrierdaten für das Messsystem [7]

| Kanal | | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|
| Nullpunktabweichung | mV | 4,9 | 6,8 | -11,6 |
| Drift (im Bereich 100 pC) | pC/s | -0,02 | -0,03 | 0,02 |

Die Abweichungen für die Kanäle 1 bis 3 sind über Faktoren softwareseitig kompensiert.

Die Orientierung der jeweiligen Kraftvektoren ist in Abbildung 54 dargestellt. Nach dieser Festlegung werden Schnitt- und Andruckkräfte, die in Richtung der Werkzeugaufnahme wirken, als positiv angesehen, Seitenkräfte, die beim Schnittvorgang den Meißel rechts drücken, ebenso.

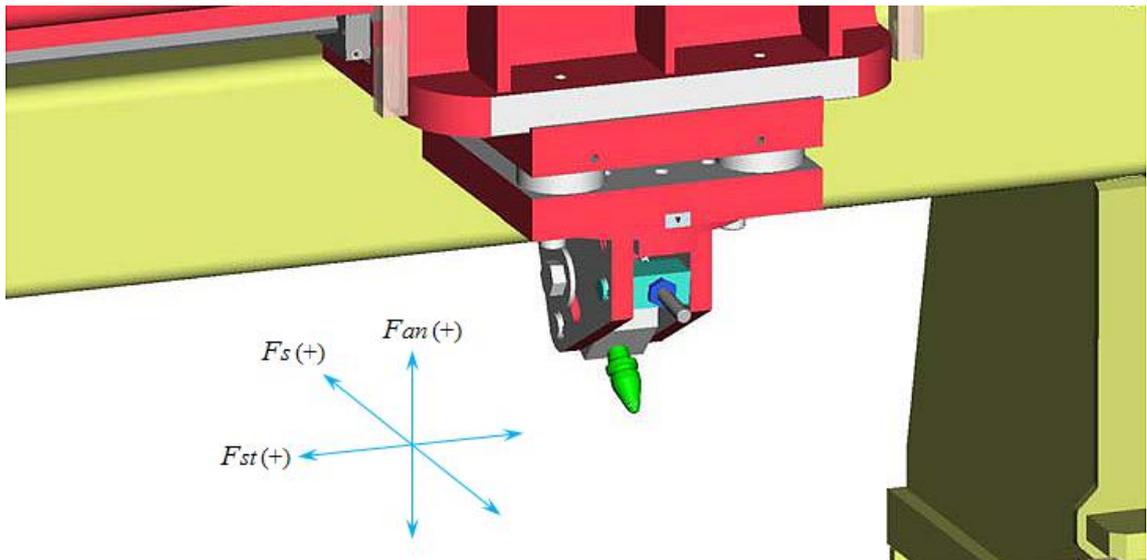


Abb. 54: Definition der Kraftkomponenten [7, 36]

Alle für die Auswertung der Schneidversuche wichtigen Größen werden einer computergestützten Messwerterfassung zugeleitet. Die Digitalisierung erfolgt über acht parallelgeschalteten 16bit-Analog-Digitalwandler, die auf einer Einsteckkarte vom Typ DEWE-Orion-0816-1000 zusammengeschaltet sind und mit einer maximalen Datenrate von 1.000 kHz abtasten. Sie ist in einem Messrechner vom Typ DEWE 5000 (Abb. 55-a) eingebaut. Zeitsynchron zu den Messwerten kann ein Videosignal der Hochgeschwindigkeitskamera aufgezeichnet und im System als AVI-File abgelegt werden.

Für diese Bildaufzeichnung wird eine Kamera Fastcam SAL 3 der Firma Photron USA verwendet. Mit ihr sind Farbaufnahmen mit 2.000 Bilder/s bei Vollauflösung 1.024 x 1.024 Pixel möglich (bis zu 12.000 Bilder/s bei geringerer Bildauflösung).



Abb. 55: Einrichtungen zur Messwerterfassung
a) Messrechner DEWE 5000 für Datenerfassung; b) Programmpaket DEWESoft für Datenvisualisierung

Als Software dient das Programmpaket DEWESoft (Abb. 55-b), mit welchem System- und Sensorkonfigurationen vorgenommen und der Messwert- und Videostream bearbeitet, abgelegt und exportiert werden können.

4.5 Auswertung der Untersuchungen

Im Laufe der Untersuchungen wurden folgende Messungen für jeden Einzelschnitt durchgeführt:

- Ermittlung des Volumens des gelösten Gesteins mittels Auffangen und Wägen des Materials sowie mit zusätzlicher Laserscan-Vermessung der Schnittspur (s. Kapitel 4.4.1);
- Ermittlung der mittleren Schneidkräfte (s. Kapitel 4.4.1);
- Ermittlung der spezifischen Energie (s. Kapitel 2.3, Formel 3);
- Korngrößenanalyse des gelösten Materials mittels Siebung (s. Kapitel 4.5.1);
- Ermittlung des Staubmengenanteils mittels Filter (s. Kapitel 4.5.2, Formel 5).

4.5.1 Korngrößenanalyse des gelösten Gesteins

Die Siebung ist die Trennung eines Bodens in Korngrößenklassen mit Hilfe von Prüfsieben. Die durch Siebe ermittelten Korngrößenanteile werden nach der Lochweite der Quadratlochsiebe oder Maschenweite der Siebgewebe benannt, durch die sie zuletzt gefallen sind. Diese Weite wird als Korngröße oder Korndurchmesser bezeichnet [33].



Abb. 56: Siebmaschine mit den verwendeten Sieben für die Korngrößenanalyse

Vor der Siebung wurde die Probe gewogen und durch den aufeinandergesetzten Siebsatz gesiebt. Die Dauer eines Siebvorganges mit einer Siebmaschine (Abb. 56) betrug in der Regel 3 bis 5 Minuten mit einer Amplitude von ca. 0,5 mm.

Die zur Bestimmung der Korngrößenverteilung verwendeten Siebe hatten Maschen- bzw. Lochweiten von 500 μm , 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 12,5 mm, 16 mm, 22,4 mm und 31,5 mm für eine Schnitttiefe von 20 mm sowie zusätzlich 45 mm für eine Schnitttiefe von 30 mm.

Zur Beschreibung der Stückigkeit des gewonnenen Gesteins wurden zwei Kenngrößen abgeleitet, die als Grob- und Feinkorn benannt wurden. Das Grobkorn besteht aus den Gesteinsstücken, die größer als die Schnitttiefe sind. Das hängt damit zusammen, dass die eingestellte Schnitttiefe und der Abstand zwischen Meißeln hauptsächlich die Stückigkeit des gelösten Materials bestimmen. Auf diese Weise wurden in dieser Arbeit die Körner von $\geq 22,4$ mm (Schnitttiefe von 20 mm) und von $\geq 31,5$ mm (Schnitttiefe von 30 mm) als Grob- und bis 2 mm als Feinkorn angenommen (s. Kapitel 3.4.2).

4.5.2 Ermittlung des Staubmengenanteils

Zur Ermittlung der entstehenden Staubmenge beim Schneidvorgang wurde eine Filtereinrichtung konstruiert. Sie ist in Abbildung 57 dargestellt und entspricht den folgenden Kriterien und Forderungen:

- einfache Konstruktion;
- hohe Saugleistung;
- schneller Umbau und Filterwechsel;
- Retention der Partikel kleiner als 100 μm ;
- hoher Abscheidegrad;
- geringe Investition und Betriebskosten.

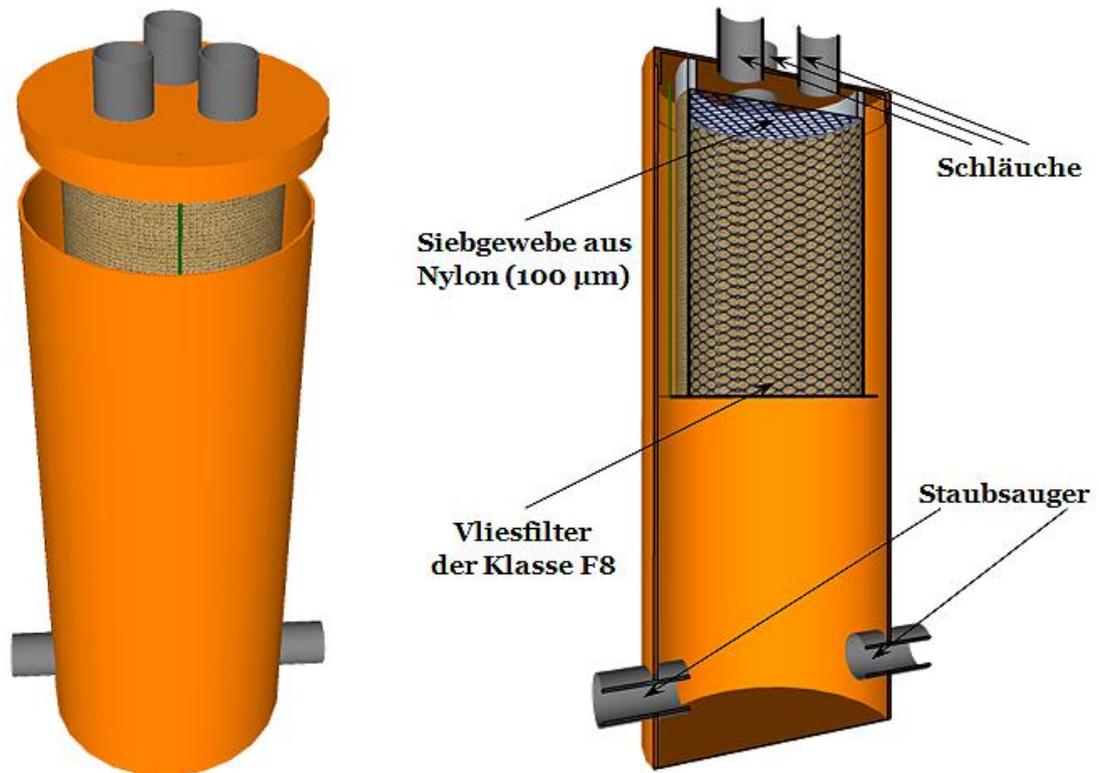


Abb. 57: Filtereinrichtung zur Ermittlung der Staubmenge

Um eine selbsttätige Abtrennung der großen Staubteilchen ($> 100 \mu\text{m}$) und ein Auffangen der Partikel von $0,3$ bis $100 \mu\text{m}$ zu gewährleisten, wurde ein Zweistufen-Filterssystem verwendet. Es besteht aus einem Nylon-Siebgewebe mit Maschengrößen $100 \mu\text{m}$ und einem Vliesfilter der Klasse F8 (Abb. 58). Die wichtigen technischen Angaben der Filtereinrichtung sind in Anhang 16 dargestellt.



Abb. 58: Grundteile des Filtersystems
a) Aluminiumring mit Nylon-Siebgewebe; b) Vliesfilter der Klasse F8.

Tabelle 20 zeigt die Größenordnung für Abscheidegrad der Staubfraktionen in Abhängigkeit von den Filterklassen nach DIN EN 799.

Tabelle 20: Abscheidegrad der Teilchen in Abhängigkeit von den Filterklassen [228]

| Filterklasse | G1 | G2 | G3 | G4 | F5 | F6 | F7 | F8 | F9 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-----|-------|----|
| Partikelgröße, [μm] | > 30 | > 20 | | > 10 | > 5 | > 2 | > 1 | > 0,3 | |
| Abscheidegrad, [%] | 60-65 | 70-80 | 85-90 | 95 | 40-60 | 65-80 | 90 | 95 | 99 |

Um die Absaugung der Staubteilchen zu realisieren, wurden zwei Industriestaubsauger an den Filter angeschlossen, von dem aus drei Schläuche bis zum Meißel führten. Für einen bestmöglichen Absaugerfolg wurden insgesamt drei Schlauchöffnungen seitlich und mittig hinter dem Meißel befestigt. Die Schläuche besaßen jeweils eine Länge von 50 bis 70 cm.

Die im Filter auf dem Siebgewebe verbliebenen Gesteinskörner wurden nachgesiebt, um die Masse des Staubrückstandes zu ermitteln und schließlich der Masse der durch den Vliesfilter aufgefangenen Partikel hinzuaddiert.

Zur Ermittlung der Verluste aufgrund der Ablagerung des Staubes in den Schläuchen bzw. des Abscheidegrades von der Filtereinrichtung wurden Prüfungen durchgeführt. Als Proben für die Tests wurden die Mischungen aus Betonteilchen der Korngrößen von 0 bis 90 μm und von 125 bis 500 μm verwendet. Den Ergebnissen zufolge beträgt der Abscheidegrad des Filtersystems ca. 98% (Anhang 17).

Die Effektivität der Absaugung des entstehenden Staubes und die damit verbundenen möglichen Verluste wurden durch die Videoaufnahme des Schneidprozesses mit der Hochgeschwindigkeitskamera festgestellt.

Der Massenanteil des Staubes (w_{st}) ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$w_{st} = 1.000 \cdot m_{st} / M_{hw} \quad [\text{mg/kg}] \quad (5)$$

mit: m_{st} gesamte Staubmasse [g]

M_{hw} Masse des gewonnenen Gesteins [kg]

Die staubhaltige Luft wurde hinter dem Meißel abgesaugt, wo der Staub unmittelbar austritt (Abb. 59-a). Ein Beispiel der Staubabsaugung während des Schneidvorgangs mittels Filtereinrichtung ist in Abbildung 59-b dargestellt.

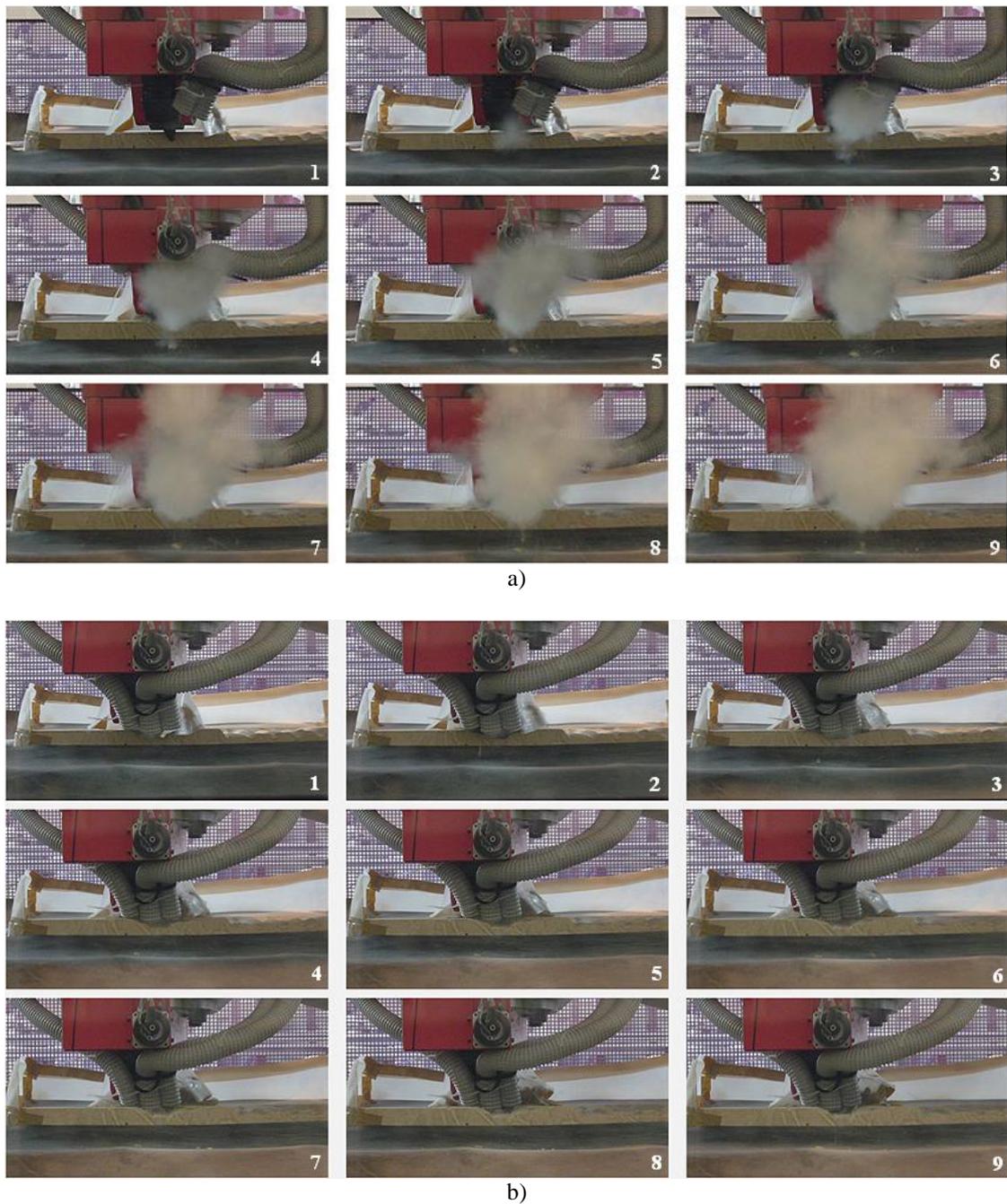


Abb. 59: Einzelaufnahme des Schneidvorgangs (Zeitabschnitt: 0,375 sec)
 a) Staubentstehung ohne Absaugung; b) Staubabsaugung mittels Filtereinrichtung

4.5.3 Datenhaltung in der Arbeit

Um die Ergebnisse zu speichern, auszuwerten, längere Zeit verfügbar zu halten und nach Bedarf zu filtern, wurde eine Datenbank für Schneidversuche mittels Microsoft Office Access und Programmiersprache Visual Basic erstellt (Abb. 60). Sie ermöglicht, die Messwerte nach der Exportierung und der Bearbeitung schnell

eingeben und die Daten über Bericht (Textdatei), Suchvorgang oder in tabellarischer Form (Exceldatei) auszugeben.



Abb. 60: Arbeitsfenster der Datenbank

Bei der Dateneingabe werden alle wichtigen Parameter und Angaben der Untersuchung wie Auftraggeber, Meißelangaben, Schneidparameter, Ergebnisse der Untersuchungen, Gesteins- und Haufwerkseigenschaften eingegeben. Die Struktur der Datenbank ist in Abbildung 61 und in Anhang 18 dargestellt.

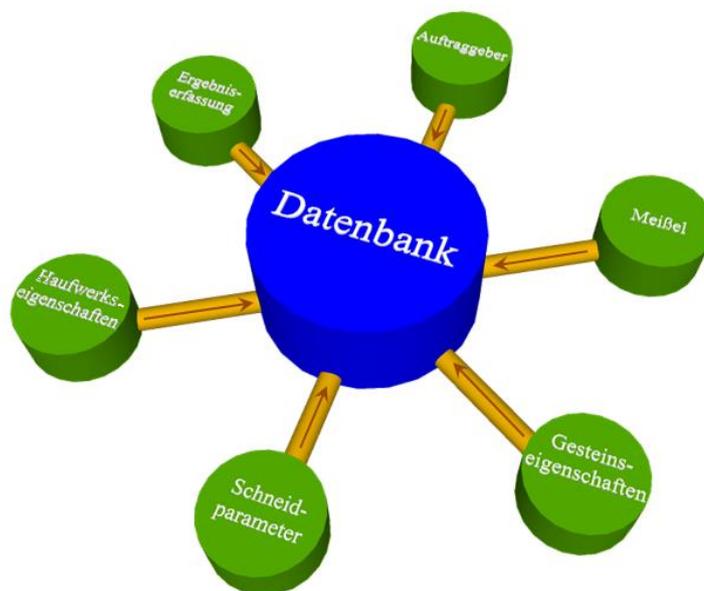


Abb. 61: Struktur der Datenbank

5 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

5.1 Voruntersuchungen

Durch die Voruntersuchungen mit Meißeln aus weichem Werkstoff (Aluminium) ist es möglich, schnell die Abnutzung des Schneidwerkzeuges herbeizuführen bzw. die Änderung der Meißelgeometrie zu bestimmen. Diese Herangehensweise ist sinnvoll, weil es sehr zeit- und materialaufwendig ist, wenn die gleichen Ergebnisse mit hartmetallbestückten Meißeln produziert werden. Ebenfalls werden realitätsnahe Formen des verschlissenen Schneidwerkzeuges erzielt, was später zur künstlichen Generierung bzw. Erzeugung verschlissener Meißel mit Hartmetallstift als Vorbild verwendet werden kann. Die Messwerte der Vorversuche können Anhang 19 entnommen werden.

Abbildung 62 zeigt den Zusammenhang zwischen Längenverlust des Meißels und Schneidlänge beim Block B24/FS und B34/FS. Es ist ersichtlich, dass die Schneidwerkzeuge aus weichem Werkstoff schnell verschleifen. 50% der Länge des Meißelstiftes (ca. 3,5 mm) war nach einer Schneidlänge von 5 bis 6 m abgetragen, was in der Praxis mit Meißeln mit Hartmetallstift nach 500 bis 1.500 m erreicht wird (s. Abb. 30).

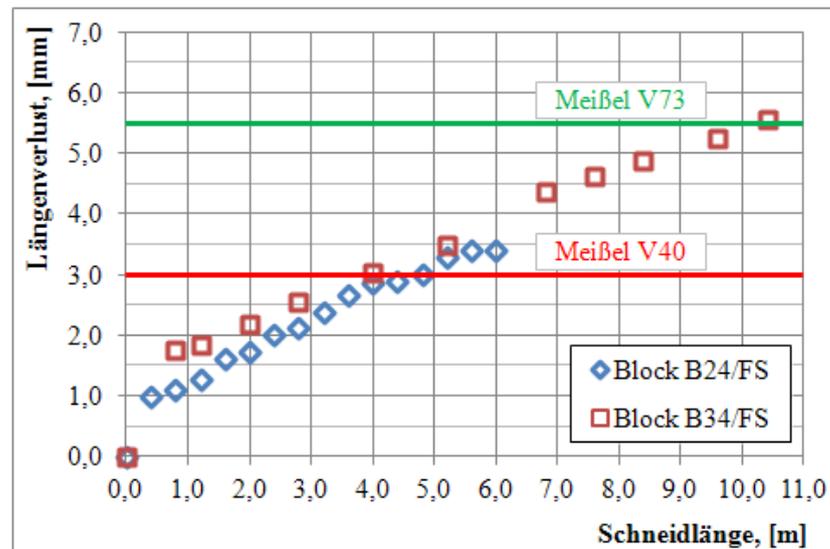


Abb. 62: Längenverlust der Meißel aus Aluminium in Abhängigkeit von der Schneidlänge bei verschiedenen Versuchsgesteinen

Außerdem nutzt sich der Meißel beim Block B34/FS, der fester und abrasiver (33,6 MPa und 1,40 N/mm) als der Block B24/FS (24,0 MPa und 1,05 N/mm) ist,

schneller ab. Diese Tendenz entspricht den schon vorhandenen Ergebnissen anderer Arbeiten.

Für die Hauptuntersuchungen wurden ein neuer Zustand und zwei Verschleißzustände des Schneidwerkzeuges, die als Meißel V40 und Meißel V73 (rote bzw. grüne Linie in Abb. 62) bezeichnet sind, ausgewählt (Abb. 63).

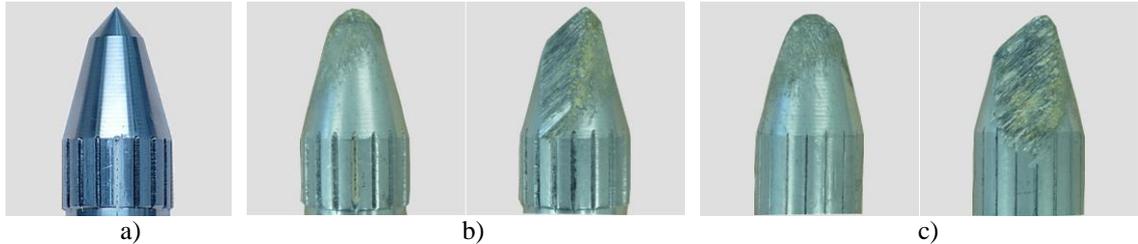


Abb. 63: Rundschaftmeißel in drei verschiedenen Abnutzungsgraden
a) Meißel V0; b) Meißel V40; c) Meißel V73

Die wesentlichen Daten der verwendeten Meißel sind in Tabelle 10 (s. Kapitel 4.1.2) dargestellt.

5.2 Hauptuntersuchungen

Die durchgeführten Untersuchungen ermöglichten es, die im Kapitel 3.5 gestellten Aufgaben zu erfüllen. Entsprechend dem Aufgabengebiet ist der Einfluss des Meißelverschleißes auf die Schneidkräfte, die spezifische Energie, die Stückigkeit des gelösten Gesteins, die Staubentstehung und folglich die optimale Anordnung der Schneidwerkzeuge an Gewinnungsorganen zu bestimmen. Dadurch konnte ein Modell bzw. eine Methodik zur Beschreibung der Tendenzen der relevanten Arbeitsgrößen und der Änderung des optimalen Rippenbruchfaktors in Abhängigkeit vom Verschleißzustand des Meißels erstellt werden. Die erhaltenen Messwerte und Ergebnisse sind in den Anhängen 20 bis 29 dargestellt.

5.2.1 Einfluss des Meißelverschleißes auf die Schneidkräfte bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren

Schnittwiderstand

Die Abhängigkeit des Schnittwiderstandes von Meißelverschleiß und Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Gesteinen ist in Abbildungen 64 dargestellt. Sie

zeigen mittlere Werte des Schnittwiderstandes. Der höchste Schnittwiderstand entstand beim vollblockierten Schnitt, der geringste beim kleinsten im Versuchsprogramm vorgesehenen Abstand zwischen zwei Meißeln. Dabei liegt der Unterschied zwischen 30% und 60% in Abhängigkeit vom Verschleißzustand des Schneidwerkzeuges. Darüber hinaus wurde für alle Beziehungen eine exponentielle Tendenz aufgestellt.

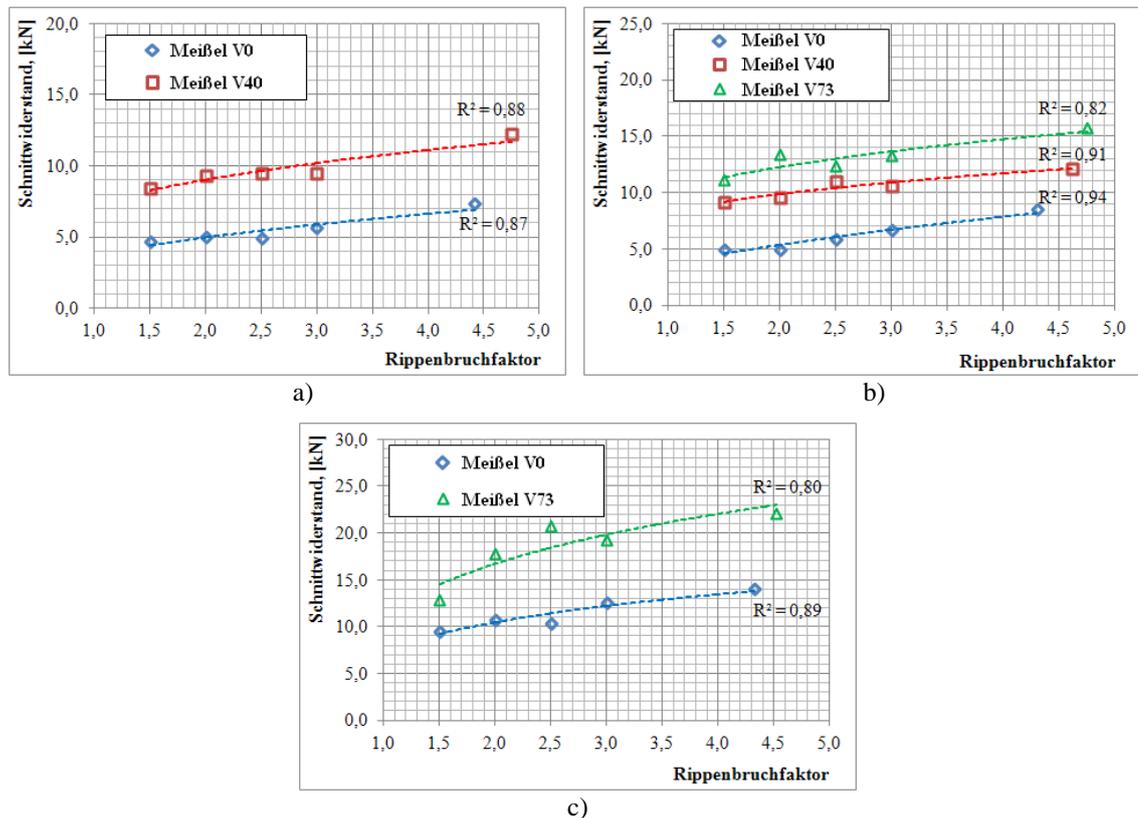


Abb. 64: Mittelwerte des Schnittwiderstandes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

Der Meißelverschleiß hat einen wesentlichen Einfluss auf den Schnittwiderstand. Für eine Schnitttiefe von 20 mm steigt bei einem Längenverlust des Meißelstiftes von 40% der Schnittwiderstand um 60 bis 90% an, bei einem Längenverlust von 73% um 100 bis 140%. Für eine Schnitttiefe von 30 mm wächst bei einem Längenverlust des Hartmetalleinsatzes von 73% der Schnittwiderstand um ca. 60 bis 80% an.

Andruckkraft

Die Abnutzung des Schneidwerkzeuges spielt eine erhebliche Rolle bei dem Anstieg der Andruckkraft. Bei einer Schnitttiefe von 20 mm beträgt die Zunahme der Andruckkraft ca. 150 bis 200% bei einem Längenverlust des Meißelstiftes von 40% und ca. 250 bis 300% bei einem Längenverlust des Meißelstiftes von 73%. Beim Meißel V73 liegt bei

einer Schnitttiefe von 30 mm die Vergrößerung der Andruckkraft zwischen 200% und 250% (Abb. 65).

Die Andruckkraft nimmt ebenfalls vom teilblockierten bis zum vollblockierten Schnitt in Form einer Potenzfunktion zu. Für weiter steigende Schnittlinienabstände verhält sich die Andruckkraft unabhängig und bleibt konstant. Die Änderung des Rippenbruchfaktors führt zu der Erhöhung der Andruckkraft um 15 bis 30% für das scharfe Schneidwerkzeug bzw. um 30 bis 40% für den Meißel V40 und um 50 bis 70% für den Meißel V73.

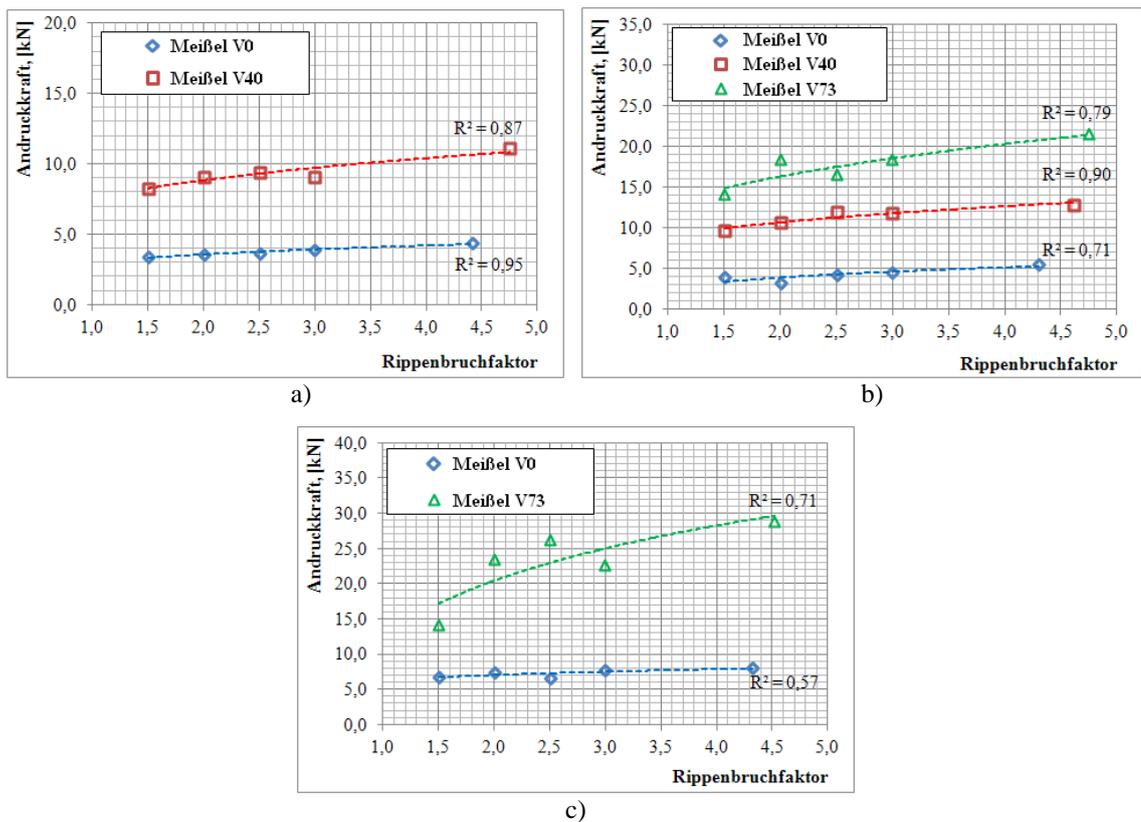


Abb. 65: Mittelwerte der Andruckkraft in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

Allgemein gilt, dass für das Schneiden härterer Gesteine mit zunehmender Schnitttiefe sowie bei der Abnutzung des Schneidwerkzeuges größere Andruckkraft eingeleitet werden muss, um den Meißel in der Schnittbahn zu halten.

Seitenkraft

Abbildung 66 zeigt die Abhängigkeit der Seitenkraft von Meißelverschleiß und Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Gesteinen. Die Seitenkraft zeigt mit zunehmendem Verhältnis von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe eine fallende Tendenz und nähert sich schließlich einem konstanten Wert an. Dieser Wert müsste

beim vollblockierten Schneiden theoretisch Null sein. Da die Gesteine jedoch nicht vollständig homogen sind, das Schneidwerkzeug einen Drehwinkel hat und sich die Meißelform infolge des Verschleißes ändert, kann es auch zu seitlichen Auslenkungen und damit zu einer auftretenden Seitenkraft kommen.

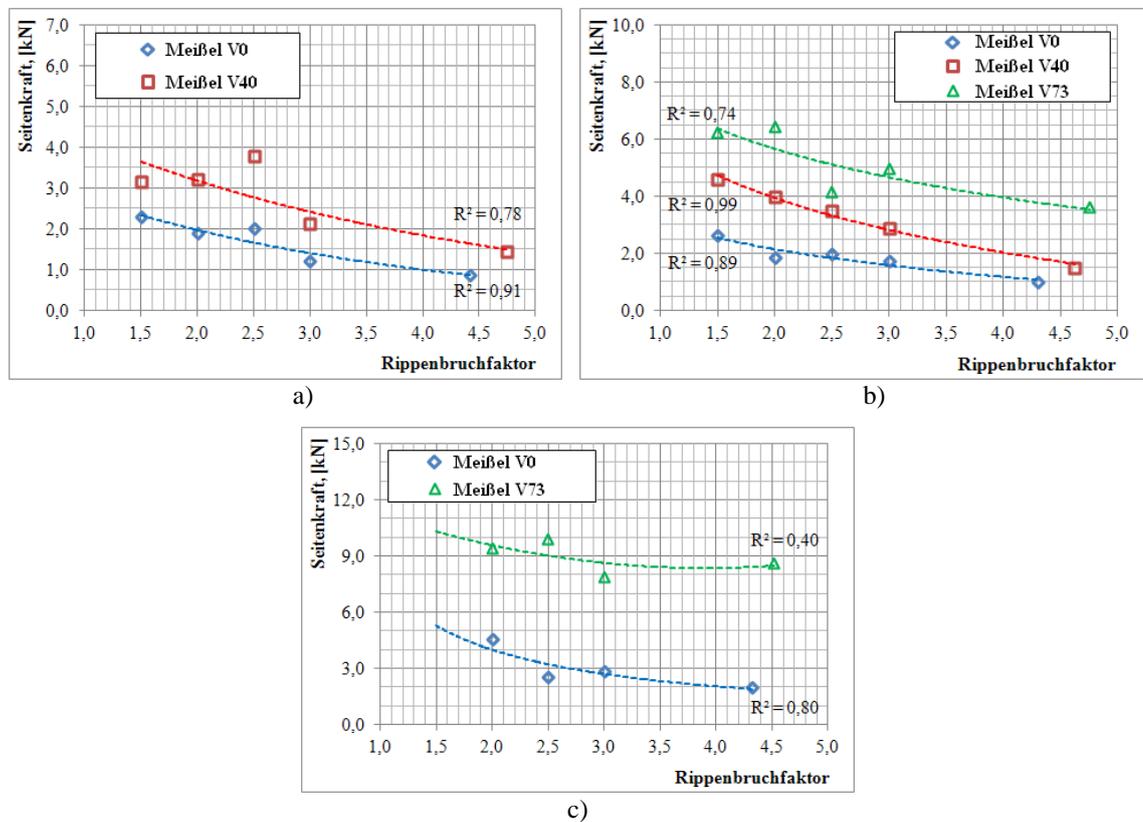


Abb. 66: Mittelwerte der Seitenkraft in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

Bei einem Längenverlust des Hartmetalleinsatzes von 40% wächst die Seitenkraft um 70 bis 90% und bei einem Längenverlust von 73% um 150 bis 300% in Abhängigkeit vom Rippenbruchfaktor an. Aus den Diagrammen kann ebenfalls für jeden Verschleißzustand festgestellt werden, dass mit zunehmender Gesteinsfestigkeit und Schnitttiefe die Seitenkraft beim Schneiden ansteigt.

Verhältnis zwischen Andruckkraft und Schnittwiderstand

Die Änderung des Rippenbruchfaktors hat einen geringen Einfluss auf das Verhältnis von Andruckkraft zu Schnittwiderstand, was aus Tabelle 67 ersichtlich ist. Die Abnutzung des Meißels spielt wiederum eine wesentliche Rolle, wodurch dieses Verhältnis erheblich ansteigt.

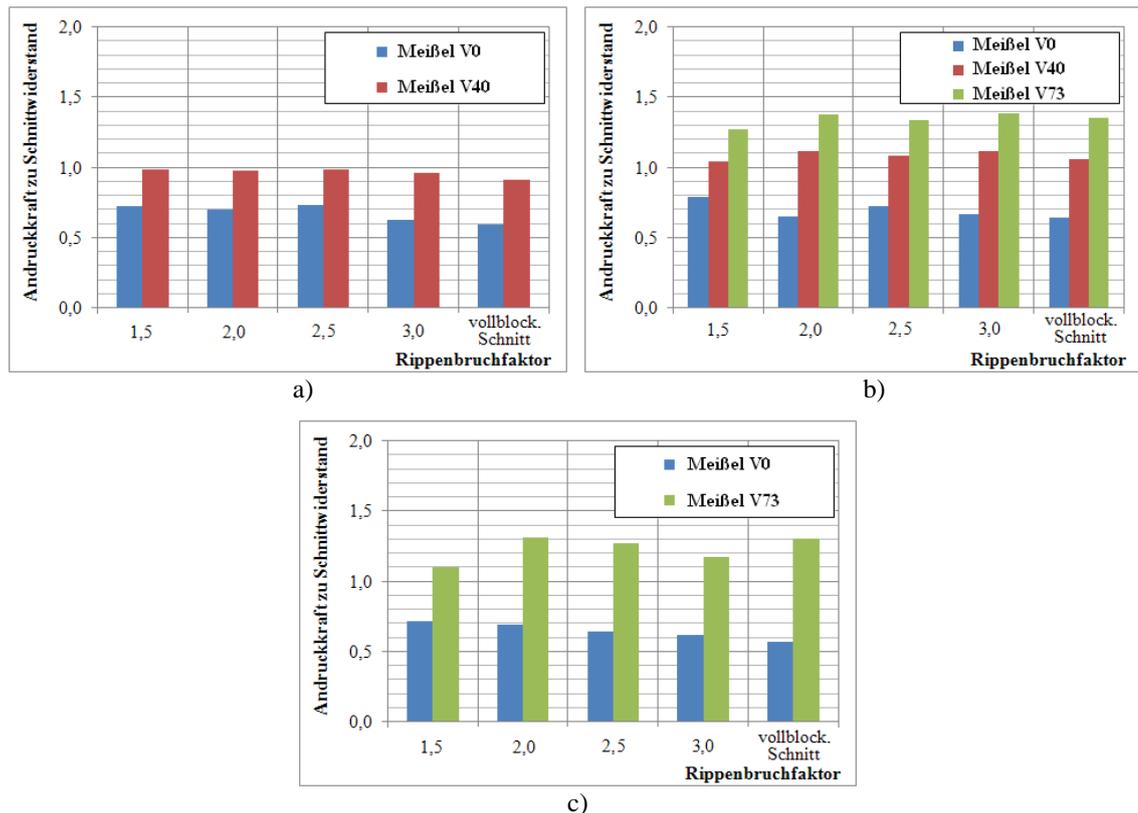


Abb. 67: Verhältnis zwischen Andruckkraft und Schnittwiderstand in Abhängigkeit vom Verschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

Da mit der Abnutzung des Meißels eine intensive Vergrößerung der Andruckkraft einhergeht und diese unmittelbar die Reibungskraft erhöht, geht mit zunehmendem Verschleiß ein immer höherer Anteil der spezifischen Energie in unnötige Reibung über. Dementsprechend verschiebt sich die spezifische Energie auf ein höheres, ungünstiges Niveau. Schlussendlich kann der Verschleiß der Meißel dazu führen, dass die Maschine deutlich kleinere Verhiebsleistungen erreicht. Diese Aussage basiert ebenfalls auf den Formeln 2 und 3 (s. Kapitel 2.3).

5.2.2 Einfluss des Meißelverschleißes auf die spezifische Energie bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren

Wie aus Abbildungen 68 zu sehen ist, steigt die spezifische Energie wesentlich während der Abnutzung des Schneidwerkzeuges an. Beim Meißel V40 und V73 ist die spezifische Energie für eine Schnitttiefe von 20 mm durchschnittlich um 60 bis 100% bzw. 90 bis 150% höher als bei einem neuen Rundschafftmeißel. Bei einer Schnitttiefe von 30 mm wächst die spezifische Energie, bei einem Längenverlust des Meißelstiftes von 73%, um 60 bis 90% an.

Bei einer Zunahme des Verhältnisses von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe sinkt am Anfang der spezifische Energieaufwand, erreicht den niedrigsten Wert bei einem bestimmten Rippenbruchfaktor und steigt wieder bis zum vollblockierten Schnitt an. Bei allen Kurven ist ein parabelförmiger Verlauf zu erkennen.

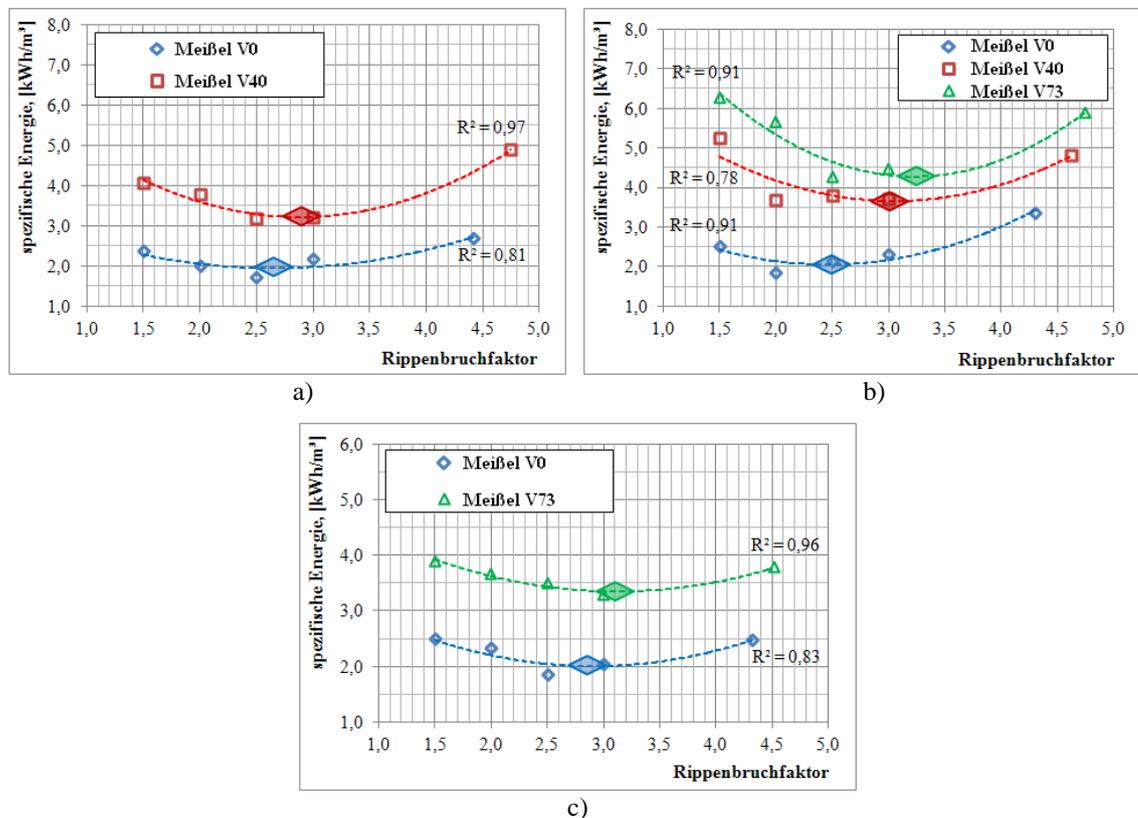
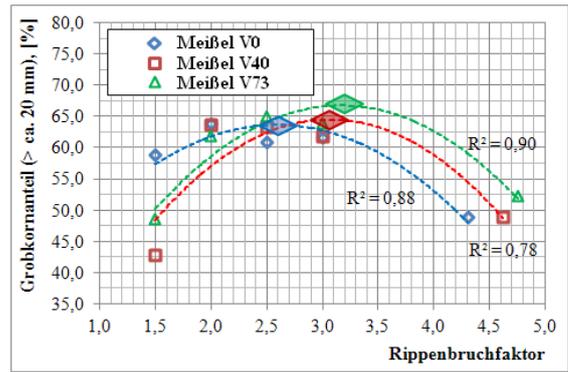
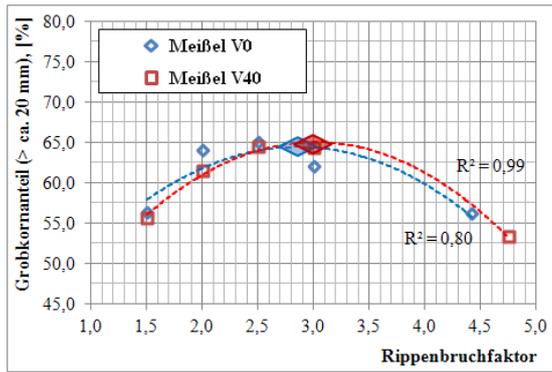


Abb. 68: Mittelwerte der spezifischen Energie in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

5.2.3 Einfluss des Meißelverschleißes auf die Stückigkeit des gelösten Gesteins bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren

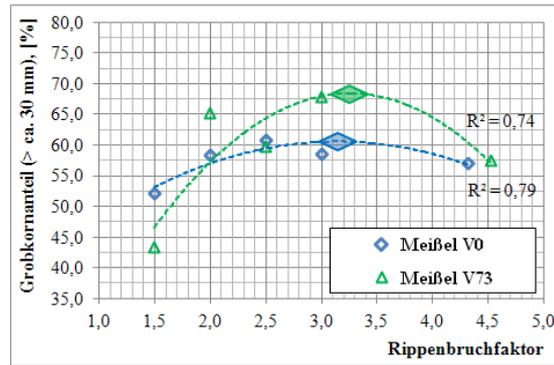
Für den Grob- und Feinkornanteil im erzeugten Schnittgut spielt der Rippenbruchfaktor eine entscheidende Rolle. Der Massenanteil des Grobkorns ändert sich z. B. bei 30 mm tiefen Schnitten zwischen 45 und 70% und der des Feinkorns zwischen 8 und 11% (Abb. 69 und 70).

Abbildung 69 zeigt, dass die Kurve des Grobkornanteils für ein verschlissenes Schneidwerkzeug unter der Kurve für ein neues Schneidwerkzeug bis zum Erreichen eines bestimmten Rippenbruchfaktors liegt. Bei weiter steigendem Rippenbruchfaktor produziert ein verschlissener Meißel mehr Grobkorn als ein scharfer Meißel, die Kurve liegt nun höher. Für die Feinkornanteile ist der Zusammenhang umgekehrt.



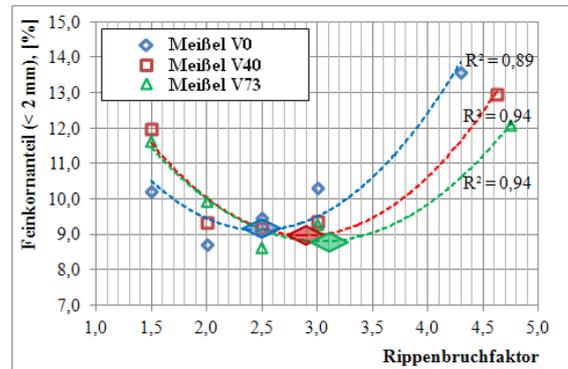
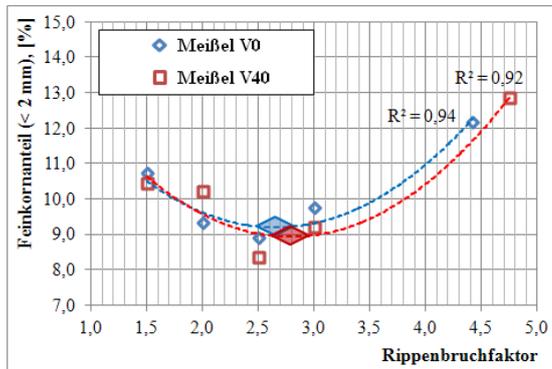
a)

b)



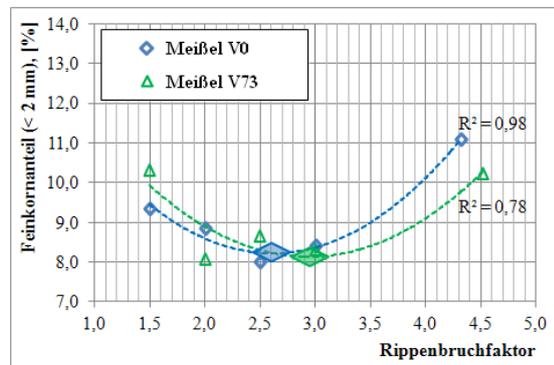
c)

Abb. 69: Mittelwerte des Massenanteils des Grobkornes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS



a)

b)



c)

Abb. 70: Mittelwerte des Massenanteils des Feinkornes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

Ebfalls erlauben die Messwerte den Schluss, dass bei einem entsprechenden optimalen Rippenbruchfaktor ein verschlissener Meißel mehr Grob- und weniger Feinkorn als ein neues Schneidwerkzeug erzeugen kann. Bei tieferen Schnitten (z. B. 30 mm) ist diese Tendenz für das Grobkorn noch deutlicher.

5.2.4 Einfluss des Meißelverschleißes auf die Staubentstehung bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren

Die Änderung des Staubmengenanteils in Abhängigkeit von der Abnutzung des Schneidwerkzeuges und des Rippenbruchfaktors ist in Abbildung 71 dargestellt. Der Staubmengenanteil nimmt mit steigendem Rippenbruchfaktor bis zu einem lokalen Minimum ab, um danach wieder anzusteigen. Dieses Minimum kennzeichnet den optimalen Betriebszustand zur Staubeingrenzung.

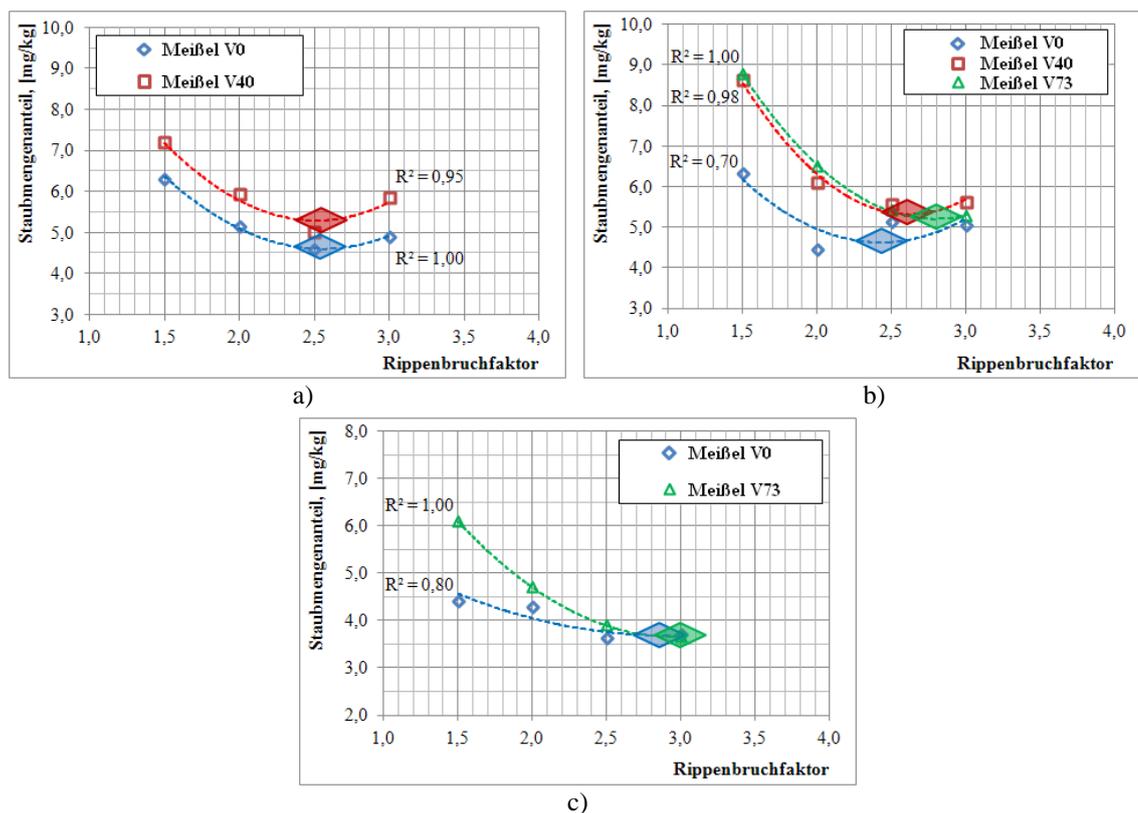


Abb. 71: Mittelwerte des Staubmengenanteils in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

Die Diagramme zeigen, dass mit zunehmendem Meißelverschleiß der Staubmengenanteil ansteigt. So produzieren verschlissene Meißel bei gleichem Schnittlinienabstand bis zu 45% mehr Staub je gewonnenem Gestein als neue Meißel.

5.2.5 Einfluss des Meißelverschleißes auf das Gesteinsvolumen bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren

Volumen des Einzelschnittes

Die in Abbildung 72 dargestellten Ergebnisse der Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Maxima des Ausbruchvolumens nicht mit den Minima der spezifischen Energie zusammenfallen. Der Unterschied zwischen diesen beiden Optima kann 15 bis 30% (Rippenbruchfaktor: von 0,5 bis 0,8) betragen.

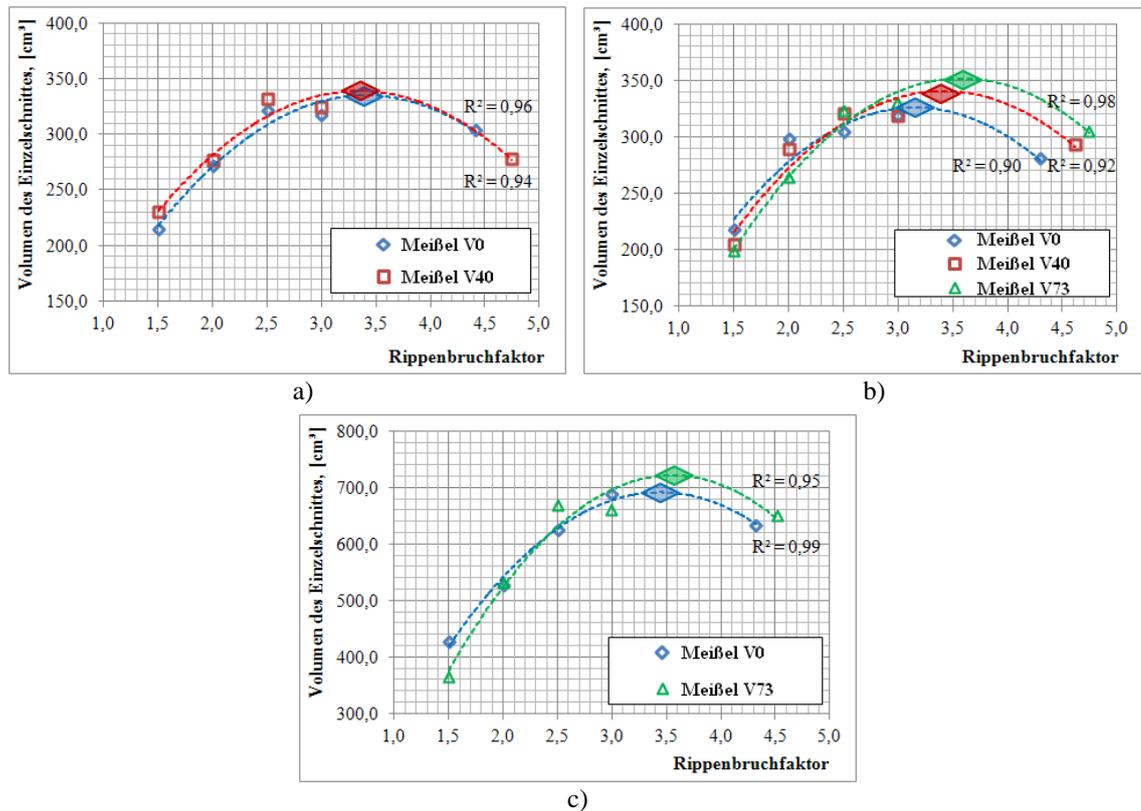


Abb. 72: Mittelwerte des Volumens des Einzelschnittes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

Außerdem zerstört ein abgenutztes Schneidwerkzeug bei seinem entsprechenden optimalen Rippenbruchfaktor (Kriterium „Maximum“ des Ausbruchvolumens) mehr Gestein als ein scharfer Meißel.

Volumen der Zwischenrippe

Die Änderung des Volumens der Zwischenrippe in Abhängigkeit vom Verhältnis Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe ist in Abbildung 73 dargestellt. Die einzelnen Kurven entsprechen verschiedenen Verschleißzuständen der Meißel. Die Diagramme zeigen eine bessere Zerstörung der Zwischenrippen mit verschlissenen Meißeln als mit scharfen Meißeln. Das ist vermutlich darin begründet, dass während des

Schneidvorgangs die Form der Meißelspitze durch die Abnutzung geändert wird, die Kontaktfläche zwischen dem Material und dem Schneidwerkzeug größer wird und folglich die Kräfte in das Gebirge nicht konzentriert eingeleitet werden. Andererseits ist der Anstieg der dazu notwendigen Kräfte noch größer, was zu einer Zunahme der spezifischen Energie führt.

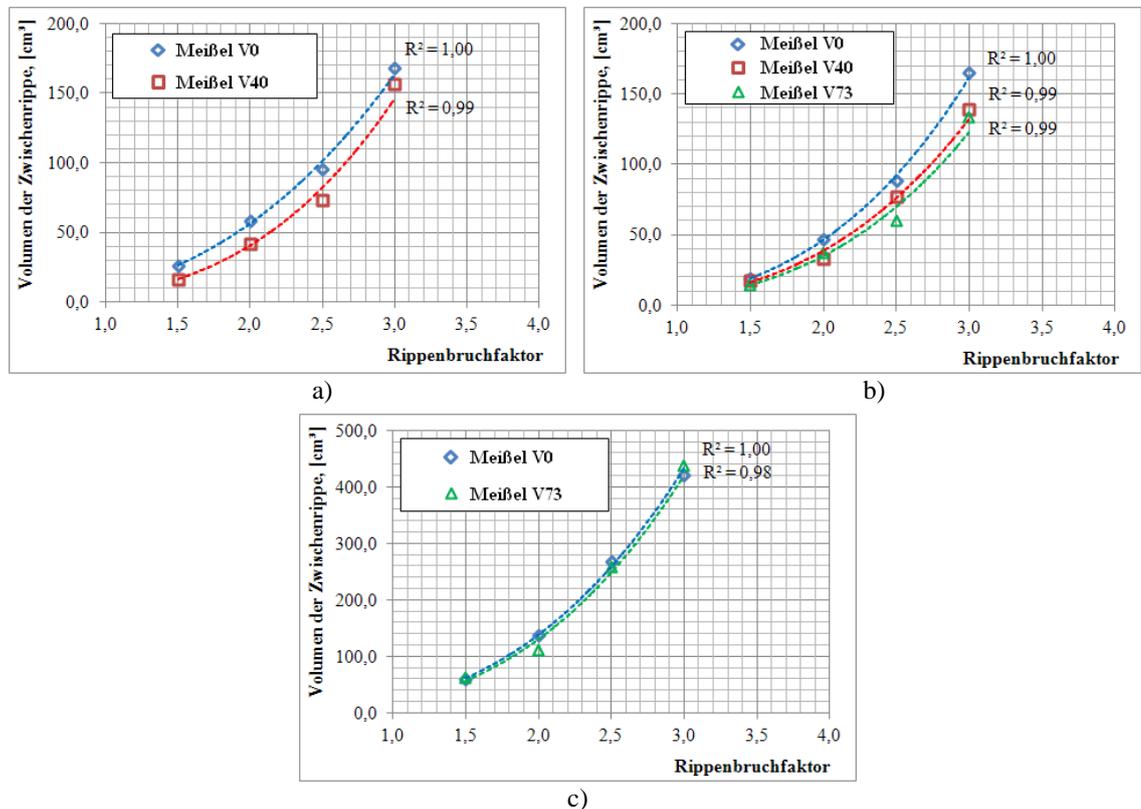


Abb. 73: Mittelwerte des Volumens der Zwischenrippe in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS

5.2.6 Energieeinsatz beim Schneidprozess aus Sicht des Meißelverschleißes

Abbildung 74 zeigt ein Beispiel der Auswirkung der spezifischen Energie auf die relevanten Arbeitsgrößen des Schneidprozesses bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels für den Block B34/FS. Für die anderen Versuchsgesteine und Schneidparameter wurden die gleichen Zusammenhänge und Tendenzen festgestellt. Sie sind in Anhängen 30 und 31 dargestellt.

Es wurde einerseits ermittelt, dass bei einem gegebenen Abnutzungsgrad des Schneidwerkzeuges mit zunehmender spezifischer Energie der Anteil der Staubmenge und des Feinkorns steigt und der Anteil des Grobkorns sinkt.

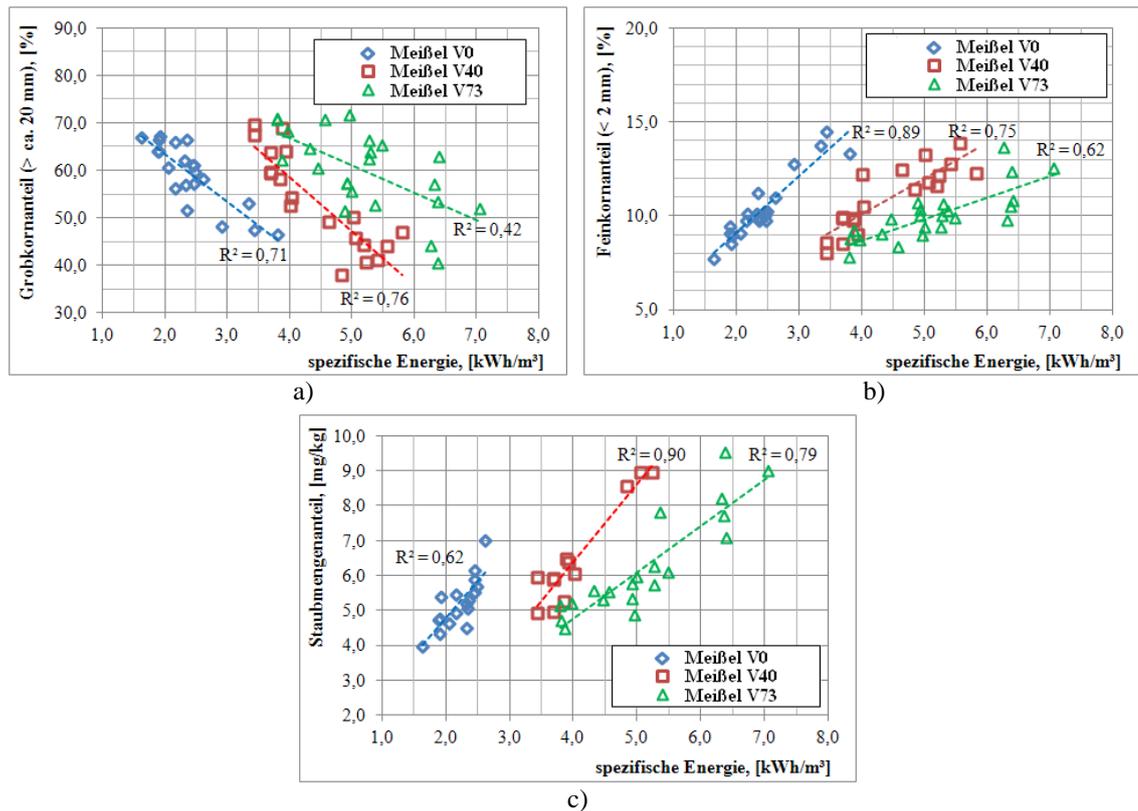


Abb. 74: Relevante Arbeitsgrößen in Abhängigkeit von der spezifischen Energie bei verschiedenen Verschleißzuständen für den Block B34/FS: a) Grobkornanteil; b) Feinkornanteil; c) Staubmengenanteil

Andererseits können auch bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels gleiche Arbeitsgrößen erreicht werden. Die spezifische Energie nimmt jedoch mit der Abnutzung des Meißels zu. Es kann behauptet werden, dass in diesem Fall nur ein bestimmter Anteil der gesamten spezifischen Energie unmittelbar für die Zerstörung des Gesteins (spezifische Spanbildungsenergie) verantwortlich ist. Der Rest der spezifischen Energie wird infolge der Reibung (spezifische Reibungsenergie) bei der Abnutzung des Schneidwerkzeuges und der Erwärmung des Meißels und des Gesteins umgesetzt (s. Kapitel 2.3, Formel 2 und 3).

5.2.7 Analyse der experimentellen Ergebnisse

Änderung der Arbeitsgrößen aus Sicht des Meißelverschleißes

In Tabelle 21 sind die relativen Änderungen der Arbeitsgrößen für verschlissene Schneidwerkzeuge im Vergleich mit dem neuen Meißel symbolisch dargestellt.

Tabelle 21: Relative Änderung der Arbeitsgrößen für verschlissene Schneidwerkzeuge im Vergleich mit einem neuen Meißel

| Arbeitsgröße | Versuchsgestein | | | |
|---------------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| | Block B24/FS | Block B34/FS | | Block B22/GS |
| | Meißel V40 | Meißel V40 | Meißel V73 | Meißel V73 |
| Schnittwiderstand | ↑↑ | ↑↑ | ↑↑↑ | ↑↑ |
| Andruckkraft | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Seitenkraft | ↑↑ | ↑↑ | ▲ | ▲ |
| spezifische Energie | ↑↑ | ↑↑ | ↑↑ (↑↑↑) | ↑↑ |
| Grobkorn | ● | ● | ● | ● |
| Feinkorn | ● | ● | ● | ● |
| Staubmenge | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| Staubmengenanteil | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |

● – ca. 0 bis 10%; ↑ - 0 bis 50%; ↑↑ - 50 bis 100%; ↑↑↑ - 100 bis 150%; ▲ - > 150%

Es konnte herausgefunden werden, dass die Andruck- sowie Seitenkraft durch den Meißelverschleiß wesentlich ansteigen. Die Zunahme beträgt bei diesen Versuchen mehr als 100 bis 150%. Die prozentuale Änderung des Schnittwiderstandes und der spezifischen Energie sowie der Staubmenge und des Staubmengenanteil ist ebenfalls abhängig vom Meißelverschleiß und liegt bei den in dieser Arbeit durchgeführten Versuchen zwischen 50 bis 150% bzw. 0 bis 50%. Der Einfluss der Abnutzung des Schneidwerkzeuges auf die Fein- und Grobanteile (Stückigkeit) kann als gering eingeschätzt werden, da in diesen Untersuchungen der Anstieg 10% nicht überschreitet.

Abbildung 75 zeigt die Änderungen der Arbeitsgrößen im Vergleich zur Änderung des Schnittwiderstandes. Dazu wurden die relative Veränderung des Schnittwiderstandes für alle Messungen auf 1 gesetzt (normiert) und die relative Änderung der anderen Arbeitsgrößen als Vielfaches davon dargestellt.

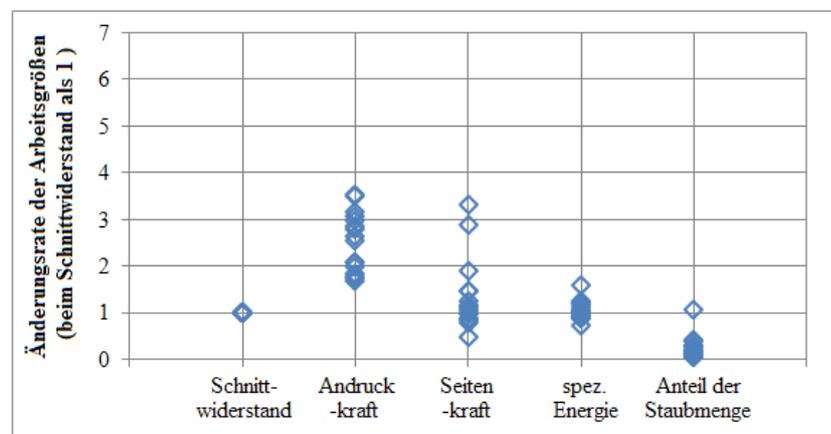


Abb. 75: Relative Änderungen der Arbeitsgrößen im Vergleich zur relativen Änderung des Schnittwiderstandes beim asymmetrischen Meißelverschleiß

Es ist zu erkennen, dass z. B. die Andruckkraft 2 bis 4-mal schneller ansteigt, während die spezifische Energie ähnliche relative Änderungen aufweist.

Auf diese Weise können die Arbeitsgrößen in vier Gruppen in Abhängigkeit von der Änderungsrate bei einem Schneidprozess aufgeteilt werden, die in Tabelle 22 dargestellt sind.

Tabelle 22: Gruppenweise Aufteilung der Arbeitsgrößen des Schneidvorgangs bezüglich des Meißelverschleißes

| | Gruppe I | Gruppe II | Gruppe III | Gruppe IV |
|------------------------------------|---------------------|--|---|--|
| Auswirkung des Verschleißes | <u>sehr hoch</u> | <u>hoch</u> | <u>mittel</u> | <u>gering</u> |
| Arbeitsgrößen | <u>Andruckkraft</u> | <u>Seitenkraft</u> <u>Schnittwiderstand</u> <u>spezifische Energie</u> | <u>Staubmenge</u> <u>Staubmengenanteil</u> | <u>Feinkornanteil</u> <u>Grobkornanteil</u> <u>(Stückigkeit)</u> |

Änderung des optimalen Rippenbruchfaktors

Durch die vorgenommenen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass bei der Änderung des Schnittlinienabstandes zwischen den Meißeln eine Positionierung mit dem geringsten spezifischen Energieaufwand für die Gesteinszerstörung erreicht werden kann. Bei dieser Anordnung der Schneidwerkzeuge entstehen sowohl der geringste Anteil der Staubmenge als auch der minimale Anteil des Feinkorns und der maximale Anteil des Grobkorns. Diese Aussage gilt ebenfalls für unterschiedliche Verschleißzustände der Meißel (Tabellen 23-25).

Aus den vorliegenden Ergebnissen kann festgestellt werden, dass eine Verschiebung des optimalen Rippenbruchfaktors beim Meißelverschleiß unter verschiedenen Kriterien auftritt wie:

- „Minimum“ der spezifischen Energie;
- „Maximum“ des Anfalls vom Grobkorn;
- „Minimum“ des Anfalls vom Feinkorn;
- „Minimum“ des Mengenanteils von einatembarem Staub.

Die Werte des optimalen Verhältnisses von Schnittlinienabstand zu Schnitttiefe unter den oben genannten Kriterien für die unterschiedlichen Verschleißzustände des Schneidwerkzeuges und Versuchsgesteine sind in den Tabellen 23, 24 und 25 dargestellt.

Tabelle 23: Optimaler Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels für den Block B24/FS

| Kriterium | optimaler Rippenbruchfaktor für | |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| | Meißel V0 | Meißel V40 |
| „Minimum“ der spezifische Energie | 2,64 | 2,89 |
| „Maximum“ des Anteils vom Grobkorn | 2,86 | 3,01 |
| „Minimum“ des Anteils vom Feinkorn | 2,65 | 2,80 |
| „Minimum“ des Staubmengenanteils | 2,55 | 2,55 |
| <i>Mittelwert</i> | 2,68 | 2,81 |

Tabelle 24: Optimaler Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels für den Block B34/FS

| Kriterium | optimaler Rippenbruchfaktor für | | |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| | Meißel V0 | Meißel V40 | Meißel V73 |
| „Minimum“ der spezifische Energie | 2,49 | 3,02 | 3,24 |
| „Maximum“ des Anteils vom Grobkorn | 2,59 | 3,07 | 3,19 |
| „Minimum“ des Anteils vom Feinkorn | 2,49 | 2,90 | 3,10 |
| „Minimum“ des Staubmengenanteils | 2,43 | 2,61 | 2,79 |
| <i>Mittelwert</i> | 2,57 | 2,90 | 3,08 |

Tabelle 25: Optimaler Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels für den Block B22/GS

| Kriterium | optimaler Rippenbruchfaktor für | |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| | Meißel V0 | Meißel V73 |
| „Minimum“ der spezifische Energie | 2,85 | 3,10 |
| „Maximum“ des Anteils vom Grobkorn | 3,15 | 3,25 |
| „Minimum“ des Anteils vom Feinkorn | 2,61 | 2,95 |
| „Minimum“ des Staubmengenanteils | 2,87 | 3,00 |
| <i>Mittelwert</i> | 2,87 | 3,08 |

Auf diese Weise kann bestimmt werden, dass sich der optimale Rippenbruchfaktor bei einem Längenverlust des Hartmetalleinsatzes von 40% und bei einer Schnitttiefe von 20 mm um bis max. 0,25 (10%) für den Block B24/FS und bis max. 0,52 (21%) für den B34/FS verschiebt. Bei einem Längenverlust des Meißelstiftes von 73% beträgt die Änderung max. 0,65 (30%) bei einer Schnitttiefe von 20 mm für den Block B34/FS und max. 0,34 (13%) bei einer Schnitttiefe von 30 mm für den Block B22/GS. Die Ergebnisse sind in Abbildung 76 dargestellt.

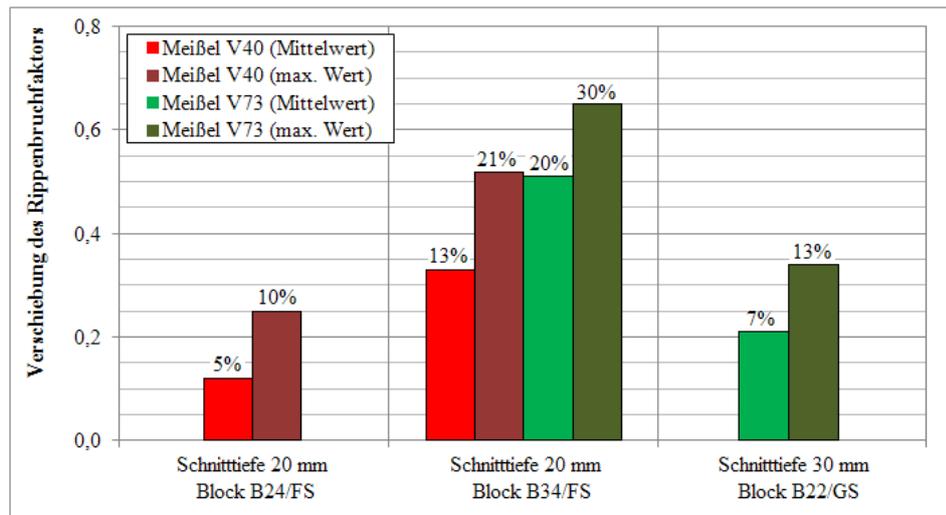


Abb. 76: Verschiebung des Rippenbruchfaktors bei verschiedenen Verschleißzuständen im Vergleich mit dem neuen Meißel

Änderung des Energieaufwandes beim Schneidprozess

Die Kalkulationen des Energieaufwandes beim Schneidprozess für die gesamte Standzeit wurden für vier unterschiedliche Anordnungen der Schneidwerkzeuge am Gewinnungsorgan vorgenommen (Tabelle 26). Diese unterscheiden sich in den festgelegten Rippenbruchfaktoren, genauer gesagt, in den Schnittlinienabständen, während die Schnitttiefe stets konstant bleibt. Als Beispiel für die Berechnungen wurden die Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Block B34/FS verwendet.

Tabelle 26: Festgelegte Anordnungen der Meißel für die Berechnung

| Anordnung | Rippenbruchfaktor | Bemerkung |
|-----------|--------------------|--|
| 1 | 2,49 | Optimum für den Meißel V0 |
| 2 | 3,02 | Optimum für den Meißel V40 |
| 3 | 3,24 | Optimum für den Meißel V73 |
| 4 | 2,49 / 3,02 / 3,24 | Veränderung des Optimums in Abhängigkeit vom Verschleißzustand |

Der Energieaufwand zur Gesteinszerstörung für die gesamte Standzeit des Meißels Q_s^z kann nach Formel 6 berechnet werden.

$$Q_s^z = W_{sp}^{mit} \cdot T \cdot P_h = \sum_{i=1}^n \left(W_{sp}^i \cdot T_i \right) \cdot P_h \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

mit: W_{sp}^{mit} mittlere spezifische Energie über die gesamte Standzeit [kWh/m³]

T Standzeit des Meißels [h]

| | | |
|------------|--|-----------------------|
| P_h | Löseleistung eines Meißels | [m ³ /h] |
| W_{sp}^i | spezifische Energie für bestimmten Verschleißzustand | [kWh/m ³] |
| T_i | Arbeitszeit des Meißels mit bestimmtem Verschleißzustand | [h] |
| n | Anzahl der betrachteten Verschleißzustände | |

Dabei wurde die Löseleistung eines Meißels für die Vereinfachung der Kalkulationen als konstant angenommen. Die zu den Berechnungen ermittelten Werte der spezifischen Energie in Abhängigkeit von der Anordnung und vom Verschleißzustand des Schneidwerkzeuges sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Werte der spezifischen Energie für die Berechnung bei verschiedenen Meißelanordnungen und Verschleißzuständen

| Anordnung | spezifische Energie, [kWh/m ³] | | |
|-----------|--|------------------------|-------------------------|
| | Meißel V0 | Meißel V40 | Meißel V73 |
| 1 | $W_{sp}^{x1} = 2,0250$ | $W_{sp}^{y1} = 3,8375$ | $W_{sp}^{z1} = 4,6350$ |
| 2 | $W_{sp}^{x2} = 2,130$ | $W_{sp}^{y2} = 3,710$ | $W_{sp}^{z2} = 4,290$ |
| 3 | $W_{sp}^{x3} = 2,2575$ | $W_{sp}^{y3} = 3,7344$ | $W_{sp}^{z3} = 4,24875$ |
| 4 | $W_{sp}^{x1} = 2,0250$ | $W_{sp}^{y2} = 3,710$ | $W_{sp}^{z3} = 4,24875$ |

Für die Berechnungen der Energie wurden vereinfachte Verschleißverläufe betrachtet. Diese bestehen jeweils aus zwei Abschnitten (Zone I und Zone II), in denen der Verschleiß als linear angenommen wird (Abb. 77). Vier mögliche Verläufe in der Zone I (Situation 1 bis 4) sowie vier Verläufe in der Zone II (Variante 1 bis 4) wurden für alle 4 Meißelanordnungen betrachtet.

Der erste Teil (Zone I) ist durch eine hohe intensive Abnutzung des Schneidwerkzeuges gekennzeichnet. Der Längenverlust beträgt am Ende der Zone I von 20 bis 50% in Abhängigkeit von der Situation, was verschiedenen Arbeitsbedingungen entsprechen kann. In der Zone II hat der Meißel eine niedrigere Verschleißrate, weshalb die Kurve nicht so steil als in der Zone I liegen (auch s. Kapitel 3.2.2 und 3.3.1).

Außerdem wurden mehrere Verhältnisse zwischen den Arbeitszeiten des Meißels in Zonen I und II betrachtet, was ebenfalls unterschiedliche Schneidbedingungen widerspiegeln kann. Gemäß den Untersuchungen [109, 123, 154] mit verschiedenen Gesteinen und Schneidwerkzeugen liegt das Verhältnis im Wesentlichen zwischen 1:10 und 1:4. In den Berechnungen betrug dieses Verhältnis 1:8 bis 1:5.

Es wurde ebenfalls angenommen, dass die Arbeitszeit und demzufolge die erforderliche spezifische Energie beim neuen Meißel nach 40% Längenverlust des Meißelstiftes (Grenze zum Meißel V40) endet. Danach beginnt die Arbeit mit Meißel V40.

Das Gleiche gilt für die Grenze zwischen Schneidwerkzeugen V40 und V73. Letztlich endet die Arbeitszeit vom Meißel V73 beim Erreichen eines Längenverlustes des Meißelstiftes von 100%.

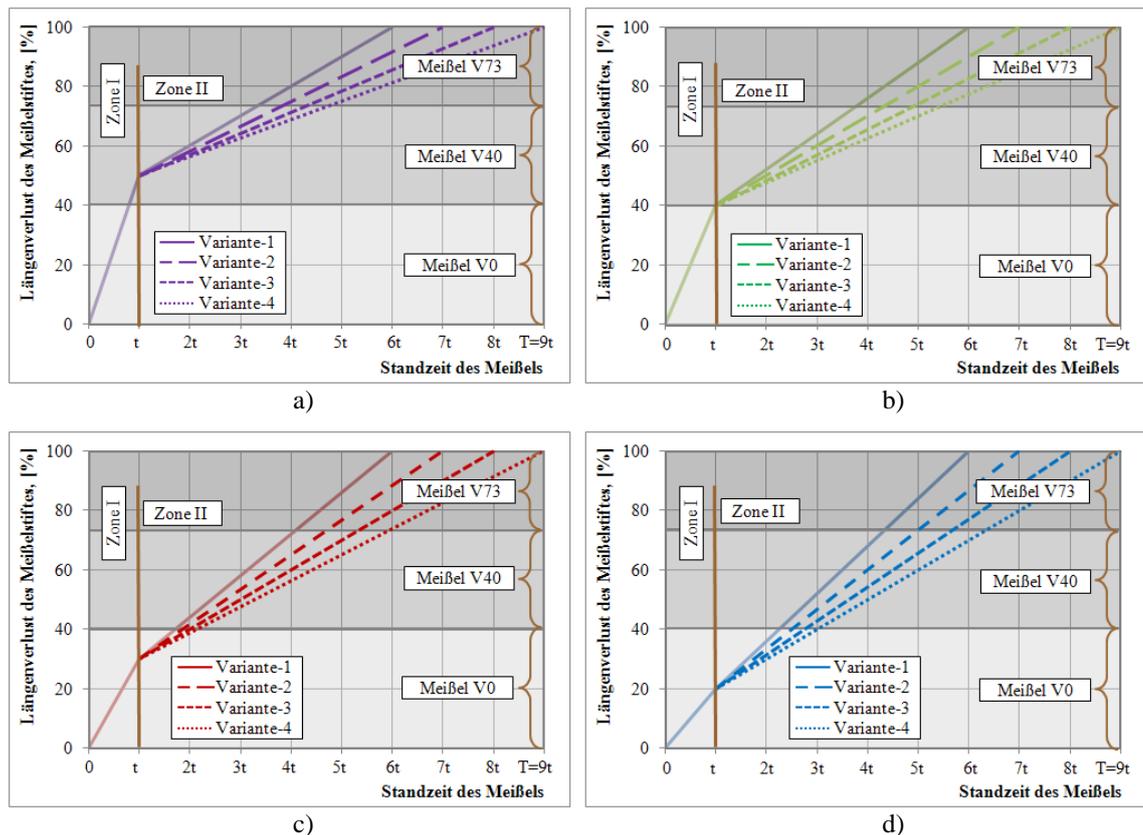


Abb. 77: Schematische Darstellungen vom Längenverlust des Meißelstiftes in Abhängigkeit von der Standzeit des Meißels bei unterschiedlichen Arbeitsbedingungen
a) Situation 1; b) Situation 2; c) Situation 3; d) Situation 4

Als Beispiel ist die Berechnung für die Situation 2 und die Variante 3 folgend dargestellt.

Berechnung für die Anordnung 1:

$$Q_{s1}^z = T_1^{x1} \cdot W_{sp}^{x1} + T_2^{y1} \cdot W_{sp}^{y1} + T_3^{z1} \cdot W_{sp}^{z1}$$

$$Q_{s1}^z = 1,0 \cdot t \cdot W_{sp}^{x1} + 3,9 \cdot t \cdot W_{sp}^{y1} + 3,1 \cdot t \cdot W_{sp}^{z1}$$

$$Q_{s1}^z = 2,025 \cdot t + 14,9663 \cdot t + 14,3685 \cdot t = 31,3598 \cdot t$$

Berechnung für die Anordnung 2:

$$Q_{s2}^z = T_1^{x2} \cdot W_{sp}^{x2} + T_2^{y2} \cdot W_{sp}^{y2} + T_3^{z2} \cdot W_{sp}^{z2}$$

$$Q_{s2}^z = 1,0 \cdot t \cdot W_{sp}^{x2} + 3,9 \cdot t \cdot W_{sp}^{y2} + 3,1 \cdot t \cdot W_{sp}^{z2}$$

$$Q_{s2}^z = 2,130 \cdot t + 14,469 \cdot t + 13,299 \cdot t = 29,898 \cdot t$$

Berechnung für die Anordnung 3:

$$Q_{s2}^z = T_1^{x3} \cdot W_{sp}^{x3} + T_2^{y3} \cdot W_{sp}^{y3} + T_3^{z3} \cdot W_{sp}^{z3}$$

$$Q_{s2}^z = 1,0 \cdot t \cdot W_{sp}^{x3} + 3,9 \cdot t \cdot W_{sp}^{y3} + 3,1 \cdot t \cdot W_{sp}^{z3}$$

$$Q_{s2}^z = 2,2575 \cdot t + 14,5642 \cdot t + 13,1715 \cdot t = 29,99285 \cdot t$$

Berechnung für die Anordnung 4:

$$Q_{s2}^z = T_1^{x1} \cdot W_{sp}^{x1} + T_2^{y2} \cdot W_{sp}^{y2} + T_3^{z3} \cdot W_{sp}^{z3}$$

$$Q_{s2}^z = 1,0 \cdot t \cdot W_{sp}^{x1} + 3,9 \cdot t \cdot W_{sp}^{y2} + 3,1 \cdot t \cdot W_{sp}^{z3}$$

$$Q_{s2}^z = 2,025 \cdot t + 14,469 \cdot t + 13,1711 \cdot t = 29,6651 \cdot t$$

Tabelle 28 und Tabelle 29 zeigen die Ergebnisse der Kalkulationen für alle Situationen bei der Variante 3. Es ist ersichtlich, dass sich der gesamte Energieaufwand der Gesteinszerstörung mit zunehmendem Rippenbruchfaktor verringert. Die Energieeinsparung beträgt bis ca. 6%. Dabei sind die günstigsten Arbeitsbedingungen stets bei der Situation 4.

Tabelle 28: Energieaufwand bei der Gesteinszerstörung für die Standzeit des Meißels

| Berechnung für | Energieaufwand, [kWh] | | | |
|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Anordnung 1 | Anordnung 2 | Anordnung 3 | Anordnung 4 |
| Situation 1 / Variante 3 | $32,2008 \cdot t$ | $30,5620 \cdot t$ | $30,5968 \cdot t$ | $30,3254 \cdot t$ |
| Situation 2 / Variante 3 | $31,3598 \cdot t$ | $29,8980 \cdot t$ | $29,9928 \cdot t$ | $29,6651 \cdot t$ |
| Situation 3 / Variante 3 | $29,2283 \cdot t$ | $28,0860 \cdot t$ | $28,3101 \cdot t$ | $27,7646 \cdot t$ |
| Situation 4 / Variante 3 | $27,6405 \cdot t$ | $26,7480 \cdot t$ | $27,0706 \cdot t$ | $26,3696 \cdot t$ |

Tabelle 29: Energieeinsparung im Vergleich mit der Anordnung 1

| Berechnung für | Energieeinsparung, [%] | | |
|--------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| | Anordnung 2 | Anordnung 3 | Anordnung 4 |
| Situation 1 / Variante 3 | 5,36 | 5,24 | 6,18 |
| Situation 2 / Variante 3 | 4,89 | 4,56 | 5,71 |
| Situation 3 / Variante 3 | 4,07 | 3,24 | 5,27 |
| Situation 4 / Variante 3 | 3,34 | 2,11 | 4,82 |

Die gleichen Berechnungen für zwei andere Betonblöcke zeigten weniger deutliche Tendenzen und Energieeinsparung (ca. 1 bis 2%). Es wurde festgestellt, dass bei der

Vergrößerung des Rippenbruchfaktors bzw. des Abstandes zwischen zwei benachbarten Meißeln keine zusätzliche Energie für die Gesteinszerstörung benötigt wird.

Tendenzen beim symmetrischen Verschleiß der Rundschaftmeißel

Die in dieser Arbeit festgestellten Abhängigkeiten der relevanten Arbeitsgrößen vom asymmetrischen Verschleiß der Meißel gelten ebenfalls für den symmetrischen Verschleiß. Das konnte durch die vereinfachten Untersuchungen von A. Laue [122] nachgewiesen werden. Stellvertretend für den symmetrischen Verschleiß wurden Rundschaftmeißel mit verschiedenen Keilwinkeln verwendet. Grundprinzip dieser Arbeit war dabei, dass ein scharfer Rundschaftmeißel bei gleichmäßigem Verschleiß eine zunehmende Abstumpfung erfährt. Es zeigte sich durch die zusätzliche Auswertung seiner Rohdaten mit heute bestehender Software, dass sich bei stumpferen Keilwinkeln eine Vergrößerung der optimalen Schnittlinienabstände ergab. Die erhaltenen Ergebnisse wie die relativen Änderungen und Änderungsraten der Arbeitsgrößen sowie die Verschiebung des Rippenbruchfaktors sind in Tabelle 30, Abbildung 78 und Abbildung 79 dargestellt.

Tabelle 30: Relative Änderung der Arbeitsgrößen für Schneidwerkzeuge mit größerem Keilwinkel im Vergleich mit einem Keilwinkel von 70° [122]

| Arbeitsgröße | Versuchsgestein | | | |
|---------------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|
| | Steinsalz – Schnitttiefe 10mm | | Steinsalz – Schnitttiefe 15mm | |
| | Meißel-80° | Meißel-90° | Meißel-80° | Meißel-90° |
| Schnittwiderstand | ↑ | ↑↑ (↑↑↑) | ↑ | ↑↑ |
| Andruckkraft | ↑↑ | ▲ | ↑↑ | ▲ |
| Seitenkraft | --- | ↑↑ | ↑ | --- |
| spezifische Energie | ↑ | ↑↑ (↑↑↑) | ↑ | ↑↑ |

● - ca. 0 bis 10%; ↑ - 0 bis 50%; ↑↑ - 50 bis 100%; ↑↑↑ - 100 bis 150%; ▲ - > 150%



78: Relative Änderungen der Arbeitsgrößen im Vergleich zur relativen Änderung des Schnittwiderstandes beim symmetrischen Meißelverschleiß

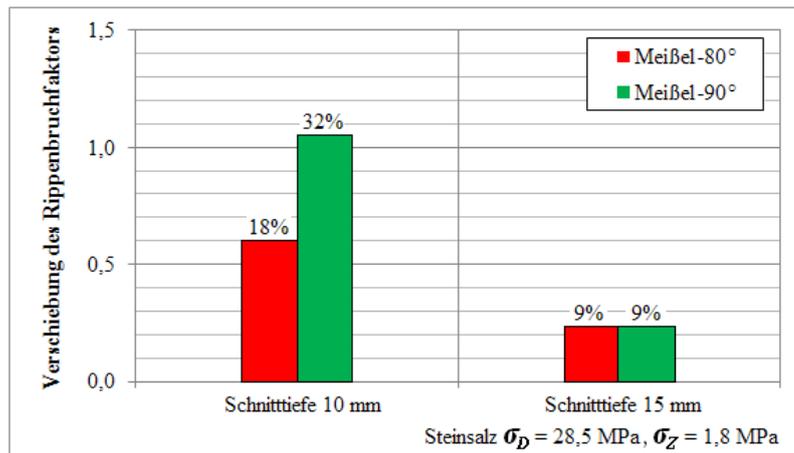


Abb. 79: Verschiebung des Rippenbruchfaktors mit zunehmendem Keilwinkel des Meißelstiftes im Vergleich mit dem Schneidwerkzeug mit einem Keilwinkel von 70° [122]

Die Berechnungen des Energieaufwandes für die Gesteinszerstörung für die gesamte Standzeit des Schneidwerkzeuges bei einer Schnitttiefe von 10 mm zeigten ebenfalls, dass die Änderung der Meißelanordnung (Vergrößerung des Rippenbruchfaktors) zu einer Energieeinsparung führt. Diese beträgt bis ca. 8% (Tabelle 31, Tabelle 32). Bei einer Schnitttiefe von 15 mm beläuft sich die Energieeinsparung auf 1 bis 2%.

Tabelle 31: Energieaufwand bei der Gesteinszerstörung für die Standzeit des Meißels

| Nr. des Versuchs | Energieaufwand, [kWh] | | | |
|--------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Anordnung 1 | Anordnung 2 | Anordnung 3 | Anordnung 4 |
| Situation 1 / Variante 3 | 20,5278·t | 19,2698·t | 19,4186·t | 18,9563·t |
| Situation 2 / Variante 3 | 19,6938·t | 18,5748·t | 18,8269·t | 18,2773·t |
| Situation 3 / Variante 3 | 18,8753·t | 18,0299·t | 18,4825·t | 17,6516·t |
| Situation 4 / Variante 3 | 18,1477·t | 17,5132·t | 18,1207·t | 17,0857·t |

Tabelle 32: Energieeinsparung im Vergleich mit der Position 1

| Nr. des Versuchs | Energieeinsparung, [%] | | |
|--------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| | Anordnung 2 | Anordnung 3 | Anordnung 4 |
| Situation 1 / Variante 3 | 6,53 | 5,71 | 8,29 |
| Situation 2 / Variante 3 | 6,02 | 4,60 | 7,75 |
| Situation 3 / Variante 3 | 4,69 | 2,13 | 6,93 |
| Situation 4 / Variante 3 | 3,62 | 1,50 | 6,22 |

Änderung von Staubmengenanteil und Stückigkeit beim Schneidprozess

Die oben dargestellten Kalkulationen zeigten eine mögliche Abnahme des für die Gesteinszerstörung erforderlichen Energieaufwandes durch die Vergrößerung des Rippenbruchfaktors bei verschlissenen Schneidwerkzeugen. Das führt ebenfalls zur Herabsetzung des Staub- und Feinkornanteils sowie zum Anstieg des Grobkornanteils während der gesamten Standzeit der Meißel. Dabei korreliert die Größe dieser Änderungen mit der erreichten Energieeinsparung.

Schematische Darstellung der Änderung der Arbeitsgrößen

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen kann ein graphisches Modell erstellt werden, das die generellen Tendenzen der Arbeitsgrößen während der Abnutzung des Schneidwerkzeuges und bei der Änderung des Verhältnisses zwischen Schnittlinienabstand und Schnitttiefe sowie die Verschiebung des optimalen Rippenbruchfaktors beschreiben kann (Abb. 80).

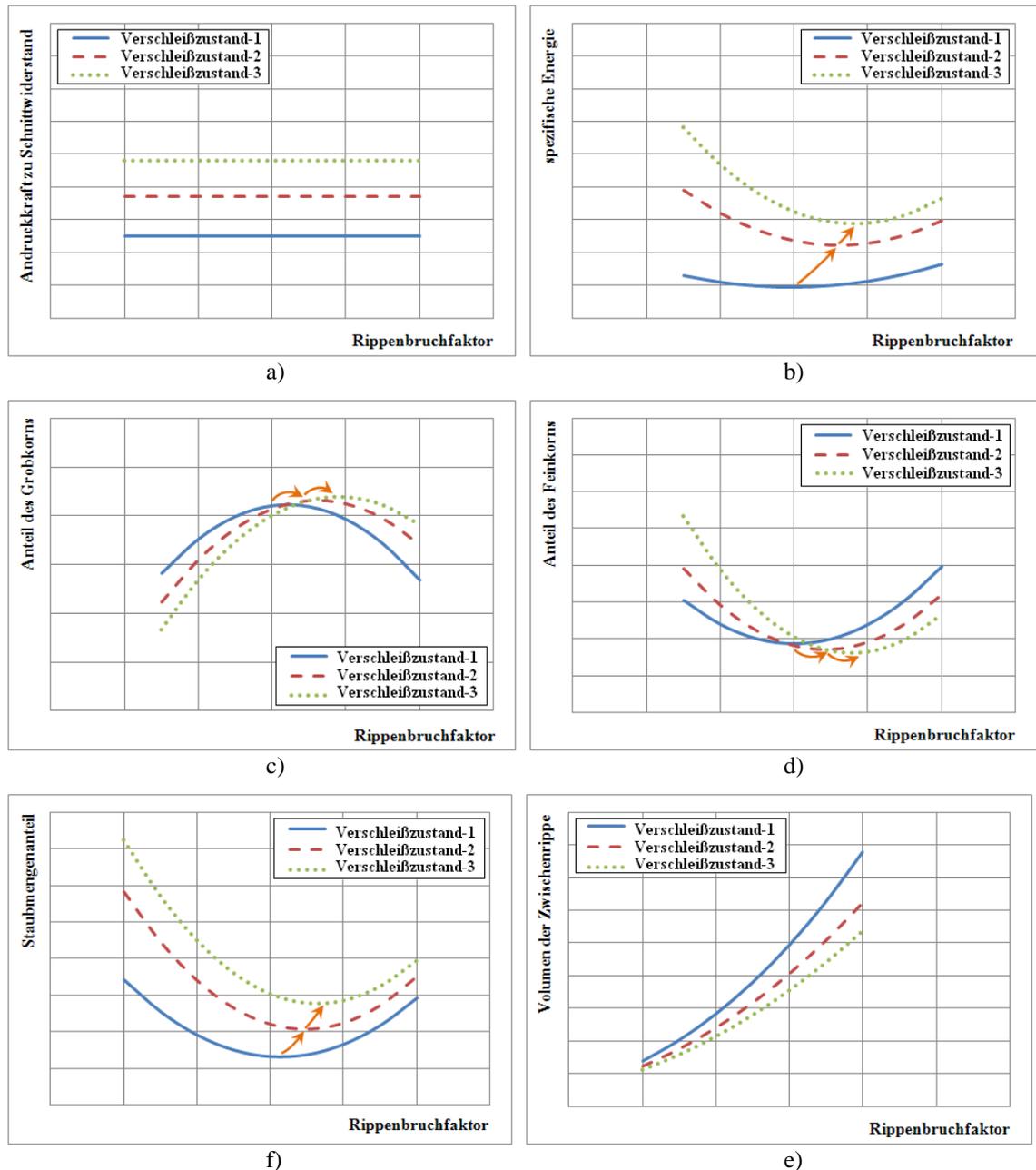


Abb. 80: generelle Tendenz der Arbeitsgrößen in Abhängigkeit vom Rippenbruchfaktor für verschiedene Verschleißzustände der Meißel:

- a) Andruckkraft zu Schnittwiderstand; b) spezifische Energie; c) Anteil des Grobkorns;
- d) Anteil des Feinkorns; f) Staubmengenanteil; e) Volumen der Zwischenrippe

6 Praktische Bedeutung der Arbeit und weiterer Untersuchungsbedarf

6.1 Anwendung der erhaltenen Resultate in der Praxis

Durch die vorliegenden experimentellen Untersuchungen und Ergebnisse können Aussagen zu Betrieb und Entwicklung von Bergbaumaschinen unter Beachtung des Meißelverschleißes abgeleitet werden.

Dynamik des Schneidprozesses

Von allen untersuchten Arbeitsgrößen ändern sich Andruck- und Seitenkraft unter dem Einfluss des Meißelverschleißes am stärksten. Da die Andruckkraft den Meißel im Schnitt hält, wird er ohne ausreichend große Andruckkraft aus dem Gestein herausrutschen. Dabei wird die Schnitttiefe kleiner sein, viel Feinkorn erzeugt werden und sich die Löseleistung verringern. Die Zunahme der Seiten- und Andruckkraft führt ebenfalls zu einer starken Erhöhung der Vibrationen des Gewinnungsorganes und somit zu zusätzlichen Belastungen der Bauteile der Maschinen. Daraus resultiert eine zunehmende Abnutzung und demzufolge ein schnellerer Betriebsausfall.

Auf diese Weise müssen die Maschinenhersteller diesen Effekt des Meißelverschleißes bei den Berechnungen dynamischer Größen, der Auswahl der Antriebsleistung und der Zuverlässigkeit der Bauteile berücksichtigen. Außerdem müssen die Maschine und ihre Leistung im Betrieb regelmäßig kontrolliert werden, um den richtigen Wechselzeitpunkt für die Meißel festzustellen.

Meißelanordnung auf dem Gewinnungsorgan

Um die günstigen Schneidparameter und die passenden Schneidwerkzeuge für bestimmte Arbeitsbedingungen zu ermitteln, führen die Maschinenhersteller verschiedene Betriebstests und Untersuchungen an Versuchsständen durch. Dabei sollte, nach den in dieser Arbeit festgestellten Abhängigkeiten, unbedingt dem späteren Verschleiß der Meißel bereits in der Konstruktionsphase des Gewinnungsorgans sowie beim Einsatz der Maschine Rechnung getragen werden. Auf diese Weise wird die Entwicklungszeit für die Anpassung an ein Gestein reduziert. Bereits Versuche mit einem Einzelmeißel können die auftretenden Unterschiede zwischen neuen und verschlissenen Meißeln quantifizieren.

In Abbildung 81 sind schematisch die Auswirkungen der Abnutzung der Schneidwerkzeuge bei Verwendung an Gewinnungsmaschinen dargestellt.

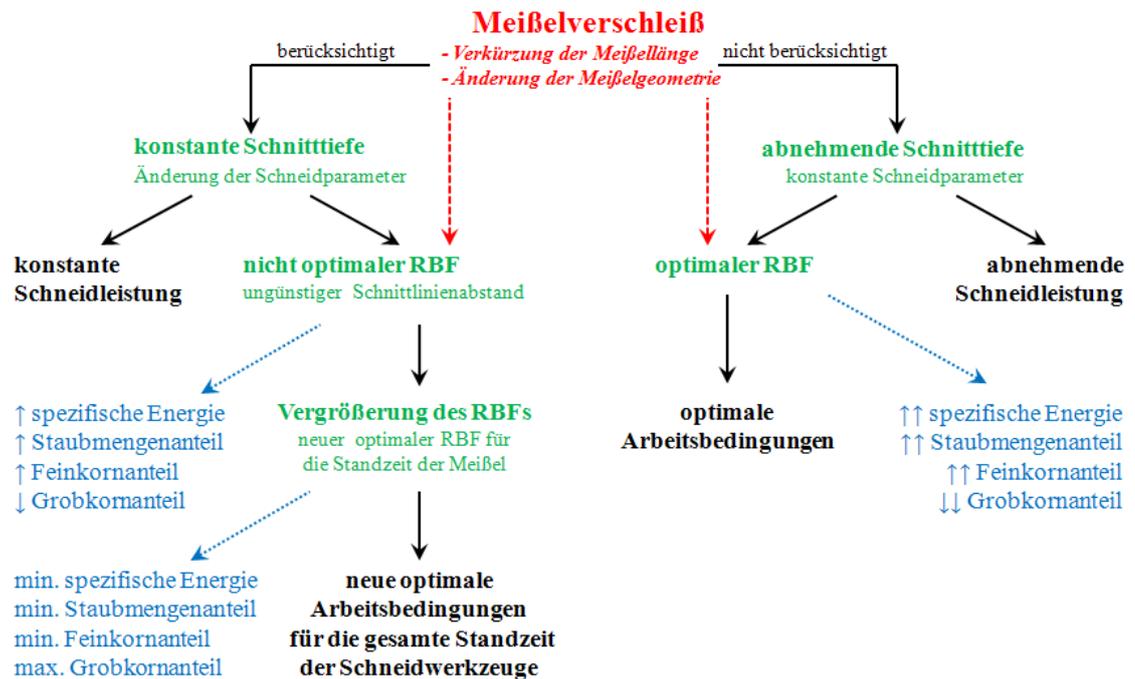


Abb. 81: Effekt des Meißelverschleißes beim Einsatz an Gewinnungsmaschinen (RBF – Rippenbruchfaktor)

Der Meißelverschleiß schließt zwei Erscheinungen ein und zwar die Verkürzung der Meißellänge und die Änderung der Meißelgeometrie. Wenn die erste nicht berücksichtigt wird, nimmt die Schnitttiefe und folglich die Schneidleistung stetig ab (Abb. 82). Dabei findet der Schneidvorgang mit optimalem Rippenbruchfaktor statt, infolge der Änderung der Meißelgeometrie und aufgrund der abnehmenden Schnitttiefe. Das geht daraus hervor, dass bei der Abnahme der Schnitttiefe der Schnittlinienabstand verringert werden muss, damit die günstigsten Arbeitsbedingungen erreicht werden [36, 122, 129, 182 usw.]. Gleichzeitig muss der Schnittlinienabstand während des Meißelverschleißes vergrößert werden (nach dieser Arbeit). Durch die Überlagerung beider Effekte kann der Abstand zwischen den Meißeln konstant bleiben. Jedoch sind in dieser Situation die erforderliche spezifische Energie und der Anfall der Staubmenge und des Feinkorns noch größer im Vergleich mit den relevanten Arbeitsgrößen bei der ursprünglichen Schnitttiefe. Auf diese Weise sollte das Schneiden in diesen Bedingungen möglichst vermieden werden.

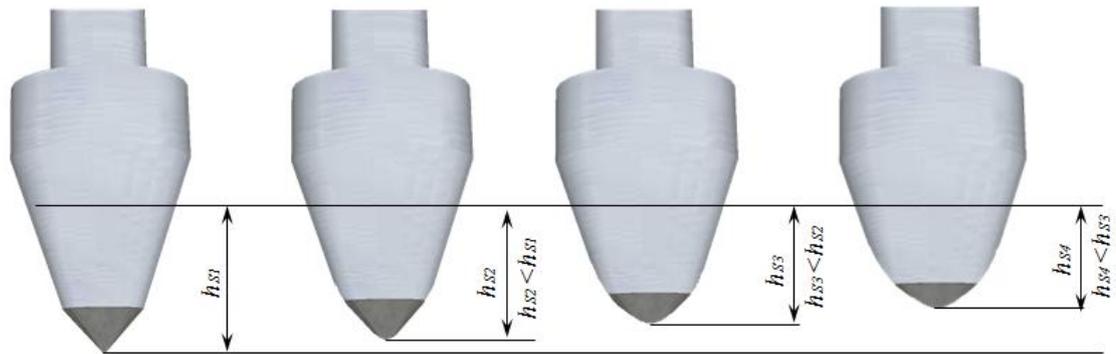


Abb. 82: Abnehmende Schnitttiefe ohne Berücksichtigung des Meißelverschleißes

Wenn die Verkürzung der Meißellänge berücksichtigt wird, müssen auch die Arbeitsparameter wie z. B. die Vorschubgeschwindigkeit des Gewinnungsorgans verändert werden, um eine konstante Schnitttiefe und dadurch auch eine konstante Schneidleistung beizubehalten (Abb. 83). Andererseits bleibt der festgelegte Rippenbruchfaktor bzw. Schnittlinienabstand durch die Änderung der Meißelgeometrie nicht optimal, was in dieser Arbeit festgestellt wurde. Dabei werden die zusätzliche spezifische Energie für die Gesteinszerstörung sowie der zusätzliche Anfall der Staubmenge und des Feinkorns größer.

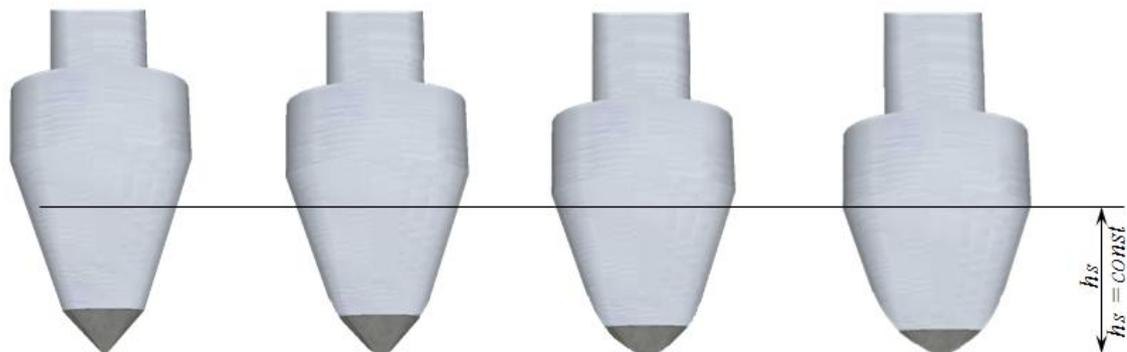


Abb. 83: Konstante Schnitttiefe unter Berücksichtigung des Meißelverschleißes

Zur Optimierung des Schneidprozesses in diesem Fall ist es notwendig, den Abstand zwischen benachbarten Schneidwerkzeugen unter Berücksichtigung ihrer Standzeit zu bestimmen bzw. zu vergrößern. Demzufolge werden andere Werte für den günstigen Rippenbruchfaktor bzw. die optimalen Arbeitsbedingungen mit minimalem spezifischen Energieaufwand sowie Staubmengen- und Feinkornanteil bei der Gesteinszerstörung herausgefunden.

In Abbildung 84 ist die Gewinnungswalze und ihre Abwicklung mit einer typischen V-förmigen Positionierung der Schneidwerkzeuge am Beispiel von Wirtgen Surface Miner SM 2100 / 2200 dargestellt.

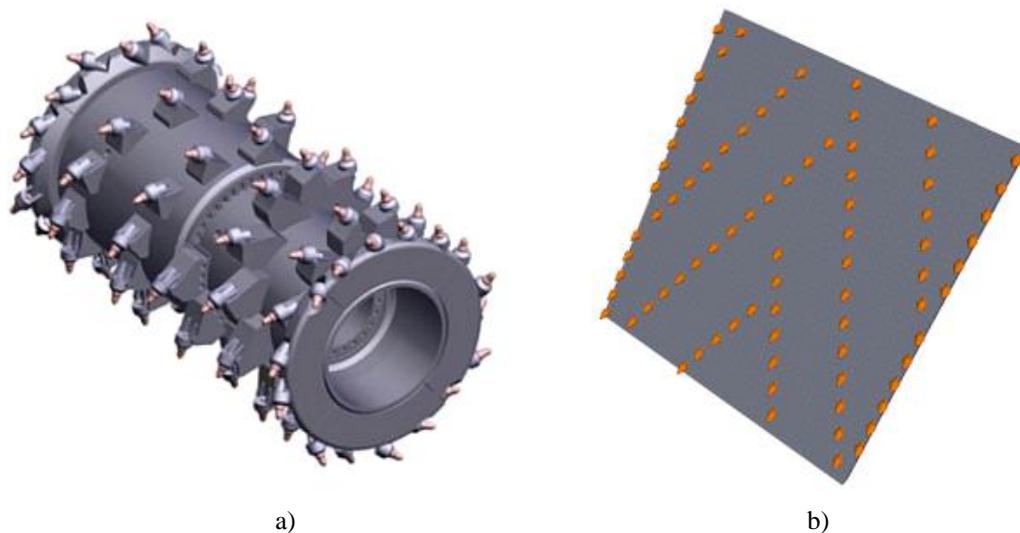


Abb. 84: Meißelanordnung auf der Gewinnungswalze von Wirtgen Surface Miner SM 2100 / 2200:
a) Modell der Gewinnungswalze [224]; b) Abwicklung der Gewinnungswalze

In dieser Arbeit wurde vorgeschlagen und begründet, dass das optimale Verhältnis zwischen Schnittlinienabstand und Schnitttiefe nicht für neue Schneidwerkzeuge sondern für die ganze Arbeitszeit der Meißel ermittelt werden muss. Dabei, wie die Kalkulationen im Kapitel 5.2.7 zeigten, werden die Werte der spezifischen Energie im Vergleich mit der konventionellen Bestimmungsmethode gleich oder geringer sein. Auf diese Weise sind die Hauptvorteile der energetische Gewinn sowie die Verringerung der Meißelanzahl auf dem Gewinnungsorgan. Das führt folglich zur Herabsetzung der Selbstkosten der Gesteinszerstörung.

Wie die in der vorliegenden Dissertation erhaltenen Ergebnisse zeigten, kann in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß die mittlere Verschiebung des optimalen Rippenbruchfaktors im Bereich von 5 bis 15% liegen.

Für das in Abbildung 85-a dargestellte Modell der Walze wurden beispielsweise die Änderung der Meißelanzahl bei einer Verschiebung von 10% und 15% (Abb. 85-b, Abb. 85-c) sowie der vermutliche Wirtschaftseffekt berechnet. Die ursprünglichen Angaben des Gewinnungsorgans sind in Tabelle 33 vorgestellt.

Tabelle 33: Ursprüngliche Angaben des Walzenmodells

| Parameter | Wert |
|----------------------------|---------|
| Walzendurchmesser, [mm] | 720 |
| Walzenbreite, [mm] | 2.000 |
| Walzenumfang, [mm] | 2.261,9 |
| Anzahl der Meißel | 80 |
| Schnittlinienabstand, [mm] | 70 |

Zur Berechnung wurden folgende Beschränkungen bzw. Bedingungen für den Schneidvorgang angenommen:

- konstante Schnitttiefe;
- konstante Schnittgeschwindigkeit;
- gleiche Gesteinseigenschaften.

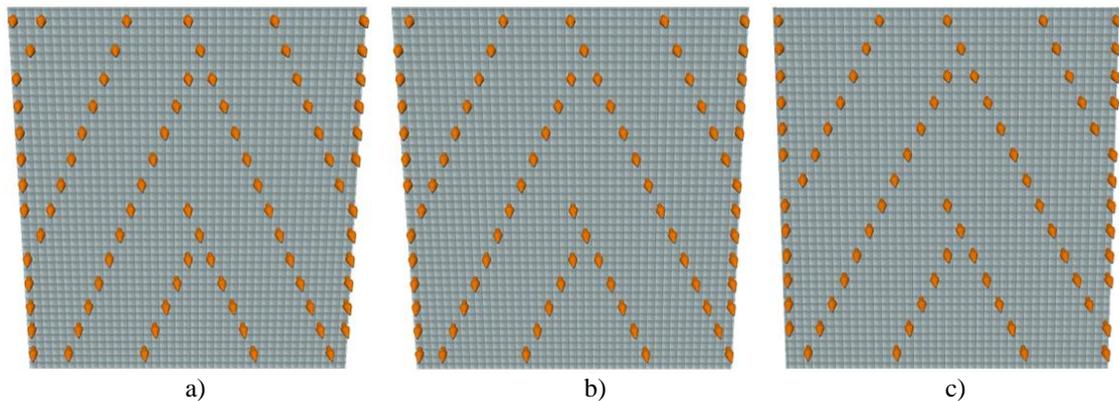


Abb. 85: Meißelanordnung auf der Gewinnungswalze:
a) für neue Meißel; b) bei einer Verschiebung des Rippenbruchfaktors von 10%; c) bei einer Verschiebung des Rippenbruchfaktors von 15%

In diesem Beispiel verringert sich bei einer Verschiebung des Rippenbruchfaktors von 10% die Anzahl der Schneidwerkzeuge um 5% bzw. 4 Stück und bei einer Verschiebung von 15% um 10% bzw. 8 Stück. Auf diese Weise können sich die Meißelkosten ebenfalls um 5% bzw. 10% herabsetzen. Die Ergebnisse sind anschaulich in Tabelle 34 dargestellt.

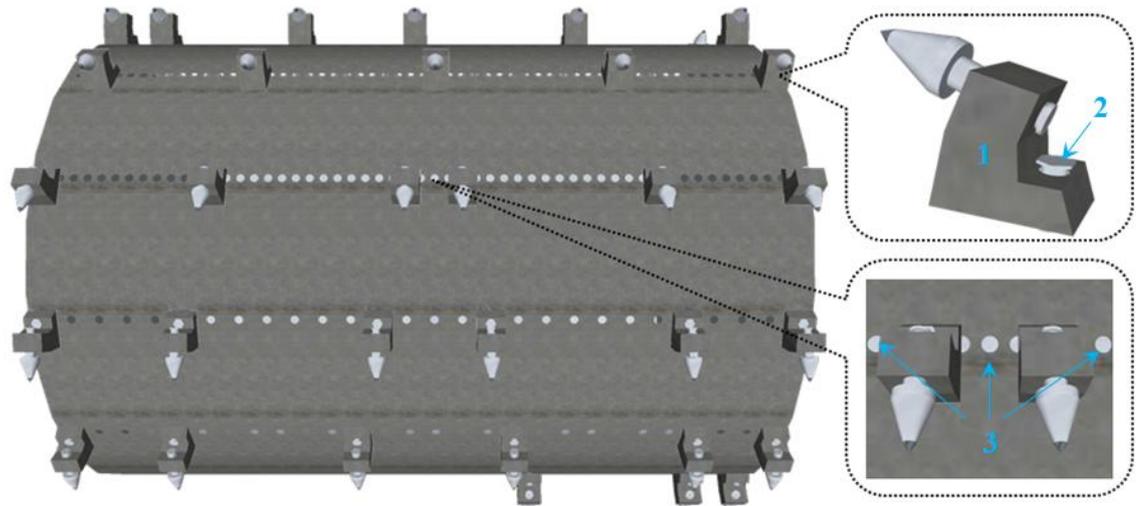
Tabelle 34: Neue Angaben des Walzenmodells bei verschiedenen Verschiebungen des Rippenbruchfaktors

| Parameter | Verschiebung des Rippenbruchfaktors | |
|----------------------------|-------------------------------------|------|
| | 10% | 15% |
| Schnittlinienabstand, [mm] | 77 | 80,5 |
| Abnahme der Meißelanzahl | 5% | 10% |
| Anzahl der Meißel | 76 | 72 |

Eine andere Lösung dieses Problems kann die Änderung des Abstandes zwischen Schneidwerkzeugen in Abhängigkeit von Verschleißzustand der Meißel sowie Gesteinseigenschaften sein. Dafür muss die Meißelhalterung so konstruiert sein, dass sich ihre Position relativ schnell auf dem Gewinnungsorgan verändern lassen kann. Dadurch ist es möglich, stets in energetisch optimalen Bedingungen mit minimalen Werten der spezifischen Energie und der Anteile der Staubmenge und des Feinkorns zu

arbeiten. Ein Modell eines Mechanismus zur manuellen Vergrößerung des Abstandes zwischen den Schneidwerkzeugen ist in Abbildung 86 dargestellt.

Die Verwendung solcher Konstruktionen zur Änderung des Schnittlinienabstandes am Gewinnungsorgan kann zu einer längeren Zeit des Stillstandes führen. Deshalb sollte dieser Vorgang möglichst während des Tankens, der Reparaturzeit oder der Wartung stattfinden.



86: Modell der Walze mit verschiebbaren Meißelhalterungen:

1–verschiebbare Meißelhalterung; 2–Splint, Schraube usw.; 3–neue Positionen für die Meißelhalterung

Die Entwicklung eines Mechanismus für die automatisierte Vergrößerung des Schnittlinienabstandes ist ebenfalls eine künftige Lösung zur Optimierung des Schneidprozesses bei der Gesteinszerstörung.

Staubentstehung und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins

Eine der wichtigsten Aufgaben der Maschinenhersteller ist, die Schneidparameter so einzustellen, dass der Staubmengenanteil einen minimalen Wert aufweist und die Stückigkeit des gewonnenen Gesteins den Anforderungen der Kunden entspricht.

Aus den dargestellten Ergebnissen ist ersichtlich, dass durch den energetisch günstigsten Schnittlinienabstand bei bestimmter Schnitttiefe das Minimum des Staubmengen- und Feinkornanteils sowie das Maximum des Grobkornanteils erreicht werden kann. Weitere Abnahme bzw. Zunahme der Anteile ist nur mittels der Vergrößerung der Schnitttiefe realisierbar, was jedoch zu größeren Schneidkräften führt und demzufolge eine höhere Leistung der Maschine bedarf.

Dabei hat der Meißelverschleiß eine Auswirkung auf die Stückigkeit des gewonnenen Materials, deren Größe überwiegend von der Schnitttiefe und dem Schnittlinienabstand abhängig ist.

Wie die Kalkulationen im Kapitel 5.2.7 zeigten, werden die Anteile der Staubmenge und des Feinkorns bei der Positionierung unter Berücksichtigung der Abnutzung des Schneidwerkzeuges gleich oder geringer sein.

6.2 Weiterer Untersuchungsbedarf

Die durchgeführte Literaturrecherche zum aktuellen Stand des Wissens in Kapitel 3 ermöglichte, die bestehenden Defizite im Bereich der maschinellen Gesteinszerstörung mit Schneidwerkzeugen festzustellen (Tabelle 4). Auf der Grundlage dieser Analyse sowie einiger Betrachtungen können die weiteren Forschungsvorhaben ebenfalls unter Berücksichtigung des Faktors „Verschleiß“ bei Rundschafftmeißeln in folgende wichtige Richtungen erweitert werden:

- Untersuchungen mit festeren Gesteinen und größeren Meißeln;
- Untersuchungen mit symmetrischem Meißelverschleiß;
- Untersuchungen über die Drehfähigkeit der Rundschafftmeißel;
- Untersuchungen mit vertiefenden Schnitten;
- Untersuchungen über die Aktivierung der Schneidwerkzeuge;
- Untersuchungen über die Auswirkung der Gesteinstemperatur.

Untersuchungen mit festeren Gesteinen und größeren Meißeln

Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse zeigten eine größere Verschiebung des optimalen Rippenbruchfaktors bei den Gesteinen mit einer Druckfestigkeit von 28,5 bis 33,6 MPa im Gegensatz zum Material mit einer Druckfestigkeit von 22 bis 24 MPa. Bei allen Versuchen wurden schlanke Schneidwerkzeuge mit einem Hartmetallstift von 12,5 mm verwendet.

Auf diese Weise sind Untersuchungen mit festeren Gesteinen und größeren Meißeln von Interesse, durch deren Anwendung der Effekt der Vergrößerung des günstigen

Schnittlinienabstandes mit zunehmendem Meißelverschleiß voraussichtlich noch verstärkt wird.

Untersuchungen mit symmetrischem Meißelverschleiß

Eine Verschleißform, die ebenfalls häufig in der Praxis auftritt, ist die symmetrische Abnutzung der Schneidwerkzeuge. Gemäß der statistischen Angaben beträgt der Anteil dieser Verschleißart bei der Gesteinszerstörung mit Gewinnungsmaschinen ungefähr 30 bis 50% (s. Kapitel 3.3.2, Abb. 36). Demzufolge ist es notwendig, die Untersuchungen mit symmetrischem Meißelverschleiß durchzuführen, um die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse zu untermauern.

Untersuchungen über die Drehfähigkeit der Rundschaftmeißel

Einer der wichtigsten Vorteile der Rundschaftmeißel ist ihre Drehfähigkeit im Meißelhalter, wodurch das Schneidwerkzeug symmetrisch verschleifen soll und seine Schneideigenschaften über die Standzeit relativ konstant bleiben. In der Praxis wird die gleichmäßige Meißeldrehung jedoch häufig nicht erreicht. Die Ursache ist das Eindringen von Staub oder Feinkorn zwischen Meißelschaft und Halterung, so dass es zu einer Blockierung des Schneidwerkzeuges kommt. Darüber hinaus spielen die Einstellungen (Drehwinkel, Schnittlinienabstand) und Gesteinseigenschaften eine wesentliche Rolle.

Aus diesem Grund müssen Maßnahmen gegen Blockierung des Schneidwerkzeuges (z. B. neue Halterung, Minderung des Feinkorns) untersucht werden und Versuche zur Bestimmung optimaler Schneidparameter auch immer die Meißeldrehung berücksichtigen.

Untersuchungen mit vertiefenden Schnitten

Die Arbeitsweisen heutiger Gewinnungsmaschinen nutzen vor allem voll- und teilblockierte Schnitte, die durch aufeinanderfolgende Schneidzyklen vertieft werden. Auf diese Weise entstehen so genannte vertiefende Schnitte (s. Kapitel 2, Abb. 5).

Der grundsätzliche Unterschied der Untersuchungen mit dieser Schnittart ist das Schneiden auf einer schon profilierten Oberfläche und folglich der Einfluss der bestehenden Zwischenrippen auf die Arbeitsgrößen. Dadurch können die schon erhaltenen Resultate und die Voraussetzungen gut ergänzt und überprüft werden.

Untersuchungen über die Aktivierung der Schneidwerkzeuge

Eine der wichtigsten Richtungen der heutigen und künftigen Forschungsvorhaben ist die Untersuchung, die Entwicklung und die Verwendung frequent erregter Schneidwerkzeuge. Durch Versuche muss festgestellt werden, welche Auswirkung die Meißelaktivierung bei der Gesteinszerstörung hauptsächlich auf den Meißelverschleiß, die spezifische Energie, die Staubentstehung und die Korngröße des gewonnenen Gesteins hat.

Untersuchungen über die Auswirkung der Gesteinstemperatur

Bei großer Schwankung der Temperatur können sich die felsmechanischen Eigenschaften des Gesteins wesentlich verändern, was zu einer Ab- oder Zunahme der Arbeitsgrößen beim Schneidvorgang führen kann. Dabei kann diese Auswirkung durch den Wassergehalt des Gesteins noch steigen. Darüber hinaus sind Untersuchungen zum Einfluss der Gesteinstemperatur besonders in der Straßenbauindustrie beim Asphaltfräsen von Interesse.

7 Zusammenfassung

In Rahmen dieser Arbeit wurde die Änderung der relevanten Arbeitsgrößen hinsichtlich der Abnutzung der Schneidwerkzeuge untersucht und Vorschläge zur Optimierung des Schneidprozesses bei der Gesteinszerstörung gegeben. Hierbei umfasst der verwendete Begriff „relevante Arbeitsgrößen“:

- Schneidkräfte;
- spezifische Energie;
- Stückigkeit des gewonnenen Gesteins;
- Staubmengenanteil.

Zur Untersuchung der Auswirkung des asymmetrischen Meißelverschleißes auf die Arbeitsgrößen wurden Schneidwerkzeuge mit drei verschiedenen Verschleißzuständen verwendet, und zwar scharfer Meißel, Meißel mit einem Längenverlust des Hartmetallstiftes von 40% und Meißel mit einem Längenverlust des Hartmetallstiftes von 73%. Mit diesen Schneidwerkzeugen wurden insgesamt ca. 150 teilblockierte und vollblockierte Schnitte durchgeführt.

Darüber hinaus wurde auch der Einfluss der symmetrischen Abnutzung der Meißel betrachtet. Dafür wurden zusätzlich vereinfachte Untersuchungen mit zunehmenden Keilwinkeln der Meißelspitze 70°, 80° und 90° ausgewertet. Für beide Verschleißarten wurden gleiche Tendenzen und Abhängigkeiten erkannt.

Der Meißelverschleiß beeinflusst die relevanten Arbeitsgrößen in unterschiedlichem Maße. Bei der Abnutzung des Schneidwerkzeuges ändern sich die Andruck- und Seitenkraft erheblich. Wenig empfindlich sind Anteile der Staubmenge sowie des Fein- und Grobkorns auf den Meißelverschleiß. Entsprechend den erhaltenen Ergebnissen wurde eine gruppenweise Aufteilung der Arbeitsgrößen in Abhängigkeit von der Auswirkung des Meißelverschleißes dargestellt.

Ein erstelltes grafisches Modell beschreibt die generellen Tendenzen der Arbeitsgrößen in Abhängigkeit vom Rippenbruchfaktor für unterschiedliche Verschleißzustände der Schneidwerkzeuge. Es geht um das Verhältnis von Andruckkraft zu Schnittwiderstand, spezifischer Energie, Fein- und Grobkornanteil, Staubmengenanteil und Volumen der Zwischenrippe.

Durch die Änderung des Rippenbruchfaktors wird eine optimale Anordnung der Schneidwerkzeuge mit dem geringsten spezifischen Energieaufwand für die Gesteinszerstörung herausgefunden. Bei dieser Anordnung treten sowohl der geringste Staubmengenanteil als auch der minimale Anteil des Feinkorns und der maximale Anteil des Grobkorns auf. Diese Aussage gilt ebenfalls für unterschiedliche Verschleißzustände der Meißel.

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass sich das Optimum des Rippenbruchfaktors mit zunehmendem Meißelverschleiß unter den folgenden Kriterien verschiebt:

- „Minimum“ der spezifischen Energie;
- „Maximum“ des Anfalls von Grobkorn;
- „Minimum“ des Anfalls von Feinkorn;
- „Minimum“ des Mengenanteils von einatembarem Staub.

Dabei betrug die Änderung des optimalen Rippenbruchfaktors in Abhängigkeit des ausgewählten Kriteriums max. 20% bei einem Längenverlust des Meißelstiftes von 40% bzw. max. 30% bei einem noch stärker verschlissenen Meißel mit 70% Längenverlust. Die gleiche Tendenz ist bei den Untersuchungen mit symmetrischem Verschleiß erkennbar: Änderung des optimalen Rippenbruchfaktors um max. 20% beim Meißel mit einem Keilwinkel von 80° bzw. um max. 30% beim Meißel mit einem Keilwinkel von 90°. Außerdem ist die Verschiebung des Rippenbruchfaktors bei festen Gesteinen mit einer Druckfestigkeit zwischen 28 und 34 MPa im Vergleich zu weicheren Materialien (ca. 23 MPa) größer.

Ebenfalls wurden die Berechnungen des Energieaufwandes für die gesamte Standzeit des Meißels bei verschiedenen Anordnungen der Schneidwerkzeuge am Gewinnungsorgan durchgeführt. Diese zeigten eine mögliche durchschnittliche Energieeinsparung bis 8% bei einer Vergrößerung des Rippenbruchfaktors. Dabei tritt der größte energetische Effekt auf, wenn der Rippenbruchfaktor sich während der Standzeit der Meißel in Abhängigkeit des Verschleißes zu seinem jeweiligen Optimum verschiebt und demzufolge der Meißel ständig unter den günstigsten Bedingungen arbeitet. Bei der Verwendung von größeren Schneidwerkzeugen kann die Energieeinsparung sogar zunehmen, da die Kontaktfläche mit dem Gestein, die durch die Abnutzung zunimmt, noch größer ist.

Die Energieeinsparung führt ebenso zur Zunahme des Grobkornanteils und gleichzeitig zur Abnahme der Anteile der Staubmenge und des Feinkorns. Diese Folgerung spielt eine erhebliche Rolle, da dadurch die Staubbelastung auf die Menschen bei der Arbeit verringert und die Effektivität der Nutzung der Rohstoffe erhöht werden kann.

Die vorliegenden Feststellungen und die gezogenen Schlussfolgerungen sollten unbedingt in der Konstruktionsphase des Gewinnungsorgans und beim Einsatz der Maschine berücksichtigt werden. Auf diese Weise werden die Bestimmungszeit der günstigen Schneidparameter und die Entwicklungszeit des Gewinnungsorgans für die Anpassung an ein Gestein reduziert. Darüber hinaus führt dies zur Herabsetzung der Meißelkosten, zur Einsparung der Energie und folglich zur Reduzierung der Gesamtkosten bei der Gesteinsgewinnung.

Literaturverzeichnis

- 1 Achanti, V.B.; Khair, A.W.: Laboratory assessment of rock fragmentation process by continuous miners. In: Mining Engineering journal, 1998, S 75-80. (Eng.)
- 2 Alechowa, S.N.: Issledowaniya freserowaniya peschanika odinochnim rescom. In: Nauchnie soobscheniya IGD AN SSSR, 1960. (Russ.)
- 3 Alechowa, S.N.: Issledowanie osnovnih zakonomernostei processa freserowaniya gornih porod primenitelno k rabote prohodcheskih kombainow. Autoreferat zur Dissertation, Moskau, 1964. (Russ.)
- 4 Alechowa, S.N.: Vliyanie kreposti i abrasivnosti gornoj porodi na iznosostoičnost reguschego instrumenta. In: Razruschenie gornih porod mehanicheskimi sposobami, Moskau, 1966. (Russ.)
- 5 Akopow, R.W.: Geometriya reguschego instrumenta pri resanii kamnya. Aufl. Erewan: AN Arm. SSR, 1958. (Russ.)
- 6 Appl, F.C.: Measurement of forces, temperatures and wear of PDC cutters in rock cutting. In: Wear, 1993, S. 9-24. (Eng.)
- 7 ASW-GmbH: Technische Dokumentation zur Sonderhobelmaschine für Gesteinsproben, 2008.
- 8 Balci, C.; Bilgin, N.: Correlative study of linear small and full-scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 2007, S.468-476. (Eng.)
- 9 Balci, C.; Bilgin, N.: The Selection and design of rapid excavation systems using full and small laboratory rock cutting tests, some examples from Turkey. In: TU Bergakademie Freiberg: 3. Internationales Kolloquium zur sprengstofflosen Gewinnung (Freiberg 27. bis 29. November 2008). – Tagungsbericht, S. 87-105. (Eng.)
- 10 Baron, L.I.; Glatman, L.B.: Razruschenie gornich porod prochodtscheskimi kombainami. Razruschenie rezcovim instrumentom. Aufl. Moskau: Nauka, 1968. – DK 622.232.72. (Russ.)
- 11 Baron, L.I.; Glatman, L.B.: Iznos instrumenta pri rezanii gornich porod. Aufl. Moskau: Nedra, 1969. – DK 621.9.025-19. (Russ.)
- 12 Baron, L.I.; Glatman, L.B.: Razruschenie gornich porod prochodtscheskimi kombainami. Razruschenie scharoschkami. Aufl. Moskau: Nauka, 1969. – DK 622.233.3.052. (Russ.)
- 13 Belich, E.W.; Gusselnikow, L.M.: Ispitaniya nowogo gorno-reguschego instrumenta v schachtah Workuti. In: Gornoe oborudowanie i elektromehanika, 2007, S.2-5. (Russ.)
- 14 Belikow, M.: Rasruschenie gornich porod diskovimim instrumentom maschin dlja posloinogo freserowanija. Kemerovo, Dissertation, 2005. (Russ.)
- 15 Betek: Bergbau- und Hartmetalltechnik Karl-Heinz Simon GmbH – Betet Trenching, 2010.

- 16 Betek: Bergbau- und Hartmetalltechnik Karl-Heinz Simon GmbH – Betek Mining, 2010.
- 17 Betek: Bergbau- und Hartmetalltechnik Karl-Heinz Simon GmbH – Betek Foundation Drilling, 2010.
- 18 Bilgin, N.; Demircin, M.A.: Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 2006, S.139-156. (Eng.)
- 19 Bocsanczy, J.: Laborversuche über die Zerspanung von Kohle und Gestein. In: Glückauf (FH), Essen, 1973, S. 19-23.
- 20 Boiko, N.G.; Boiko, E.N.: Vliyanie regima raboti kombaina na sortowoi sostaw uglya. In: Girnichno-elektromechanichna, Donezk, 2009, S. 86-92. (Russ.)
- 21 Boiko, N.G.; Boiko, E.N.: Spezialnij rezuschij instrument dlya gornih maschin. In: Girnichno-elektromechanichna, Donezk, 2009, S. 79-85. (Russ.)
- 22 Boiko, N.G., Fedorow, O.W.: Vliyanie regima razruscheniya plasta na velichinu usiliya na vraschuschimsya reguschem instrumente. In: Girnichno-elektromechanichna, Donezk, 2005, S. 7-11. (Russ.)
- 23 Boiko, N.G., Fedorow, O.W.: Iznos reguschego instrumenta s vraschuschisya reguschei chastu. In: Girnichno-elektromechanichna, Donezk, 2009, S. 102-109. (Russ.)
- 24 Bolobow, W.I.; Talerov, M.P.: K vozmoznoi prichine nedostatochnoi iznosostoikosti otechestvenih tangesialnih rezcov. In: Zapiski gornogo instituta, 2008. (Russ.)
- 25 Bulbaschew, A.P.; Schuwalow, U.W.: Borba s piliu na karierah po dobiche stoitelnih materialow. Aufl. SPb: MANEB, 2006. – ISBN 5-93048-017-6. (Russ.)
- 26 Burenkow, N.N.: Veroyatnostnii metod rascheta iznosostoikosti instrumentow gornih maschin pri rezanii porod. NPI, 2004, S. 254-256. (Russ.)
- 27 Butkin, W.D.; Kossolapow, A.I.: Ozenka effektivnosti primeneniya gornih kombainow na karerah (na primere kombainow SM fimi Wirtgen): In: Gornoe oborudowanie i elektromehanika, 2005, S.5-9. (Russ.)
- 28 Chekina, O.G.; Goryacheva, I.G.: The model for tool wear in rock cutting. In: Wear, 1996, S.33-38. (Eng.)
- 29 Cohrs, H.H.: Surface Miner. In: Bergbau, 1995, S. 498-503.
- 30 Copur, H.; Tuncdemir, H.: Specific energy as a criterion for the use rapid excavation systems in Turkish mines. In: Mining technology, 2001, S.149-157. (Eng.)
- 31 Cools, P.M.: Temperature measurements upon the chisel surface during rock cutting. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 1993, S.25-35. (Eng.)
- 32 Deketh, H.J.R.: Wear of rock cutting tools, laboratory experiments on the abrasivity of rock. Delft, Dissertation, 1995. (Eng.)

- 33 DIN 18123: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben. Bestimmung der Korngrößenverteilung. Deutsche Norm. November 1996.
- 34 Drebenstedt, C.; Phan, Q.V.: Dust emission in dependence on cutting parameters in the process of mechanical rock destruction. In: Mine planning and Equipment selection and environmental issues in and waste management in energy and mineral production, 2007, S.196-205. (Eng.)
- 35 Drebenstedt, C.; Phan, Q.V.; Gaßner, W.: Modellbildung und experimentelle Untersuchungen zur Staubentstehung bei der spanenden Gewinnung. In: BTU Cottbus, Tagungsband, 2008, S.22-23.
- 36 Drebenstedt, C.; Gaßner, W.; Vorona, M.A.: Untersuchungen zur Hobelbarkeit von Kalisalzen. – Projektbericht, TU Bergakademie Freiberg, 2010. (unver.)
- 37 Driesch, S; Kleinert, H.W.; Haaf, J: Neue Werkstoffe als Schneideinsatz in Meißeln für Teilschnitt-Vortriebsmaschinen. In: Glückauf (FH), Essen, 1991, S. 89-94.
- 38 Driesch, S: Untersuchungen über Wahl und wirtschaftliche Schneidgeschwindigkeit von Meißeln für Teilschnitt-Vortriebmaschinen. In: Glückauf (FH), Essen, 1991, S. 214-219.
- 39 Driesch, S.: Schneidtechnische Untersuchungen am Querschneidkopf einer Teilschnitt-Vortriebmaschine. TU Clausthal, Dissertation, 1993.
- 40 Drüppel, E.: Entwicklung eines Konzeptes für die schneidende Gewinnung im Steinsalz. RWTH Aachen, Dissertation, 2010.
- 41 Dombrowskij, A.N.; Sidorenko, I.A.: Effektivnost primeneniya kompatnogo i mobilnogo oborudovaniya dlya oktritih gornih rabot. In: Gornij zurnal, 1998, S.45-49. (Russ.)
- 42 Dubugnon, O; Janach, W.: Mini-Schneidrollen-Tests zur Leistungsvorhersage von Tunnelbohrmaschinen. In: Tunnel, 1981, S. 37-59.
- 43 Ehler, A; Lacob, K; Kunze, G.:Entwicklungstrendes in der Tagebautechnik, insbesondere beim Gewinnen fester Gesteine. In: Braunkohle-Surface Mining, 1999, S.447-452.
- 44 Ehler, A; Kunze, G: Konzepte für die Werkzeuggestaltung und –bemessung des Continuous Surface Miner (CSM). In: 6th ISCSM, Freiberg, 2001. – Tagungsband, S. 298- 309.
- 45 Ehler, A: Zum Abbauvorgang mit Continuous Surface Miner. Ergebnisse gemeinsamer Entwicklung von Forschung und Industrie. In: Fachtagung Baumaschine, Nr.2, 2003, S. 1- 20.
- 46 Evans, I.: A theory on the basic mechanics of coal ploughing. In G.B Clark (ed). In: International Symposium on Mining Research, Missoure, February 1962. – Handbook. (Eng.)
- 47 Evans, I.: Line spacing of picks for effective cutting. In: Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 1972, S. 355-361. (Eng.)
- 48 Evans, I.: A theory of the cutting force for pointed attack picks. In: Int. J. Min. Engng.1984. (Eng.)
- 49 Evans, I.: Basic mechanics oft he point-attack pick. In: Colliery Guardian, 232, 1984, S. 189-193. (Eng.)

- 50 Evenden, M.P., Edwards, J.S.: Cutting theory coal seam assessment techniques and their application to shearer design. In: *Minig Science and Technology*, 1985, S. 253-270. (Eng.)
- 51 Ewendt, G.: Erfassung der Gesteinsabrasivität und Prognose des Werkzeugverschleißes beim maschinellen Tunnelvortrieb mit Diskenmeißeln. Bochum, Dissertation, 1989.
- 52 Fahning, E.: Schnittkraft- und Verschleißuntersuchungen mit mehreren Meißeltypen an Hartsalz. TU Bergakademie Freiberg, Dissertation, 1979.
- 53 Fowell, R.J.; Ochei, N.N.: Research into dust generation by mechanics cutting tools. In: *Proceeding of a seminar held in Bretby Centre*, 1980. (Eng.)
- 54 Fowell, R.J.; Ochei, N.N.: A comparison of dust make and energy requirements for rock cutting tools. In: *International Journal of Mining Engineering*, 1984, S. 73-83. (Eng.)
- 55 Frenyo, P; Lange, W: Die Auslegung von Schneidköpfen für optimale Löseleistung. In: *Glückauf*, 129, Essen, 1993, S. 524-532.
- 56 Frenyo, P; Henneke, J.: Gegenwärtiger Stand und mögliche Entwicklung der Teilschnitt-Vortriebstechnik. In: *Glückauf*, 1997, S. 79-84.
- 57 Gabow, W.W.; Soloviev, W.S.: Savisimost maksimalnih sil resaniya hrupkih treschinowatih uglei ot vremeni deistviya nazruski. In: *Gornoe oborudowanie i elektromehanika*, 2006, S.37-39. (Russ.)
- 58 Gabow, W.W.; Sadkow, D.A.: Isledowanie resaiya uglei odinochnim rezcom kak posledowatelnosi elementarnih skolow. In: *Gornoe oborudowanie i elektromehanika*, 2007, S.41-43. (Russ.)
- 59 Gaßner, W.; Drebenstedt, C.; Phan, Q.V.: Staubemissionen bei schneidender Gewinnung – Experimentelle Untersuchungen zur Staubentstehung bei der spanenden Gewinnung. In: *Management bergbaubedingter Emissionen – Freiburger Forschungsheft*, 2008, S. 144-166.
- 60 Gehring, K.: Möglichkeiten zur Beurteilung des Arbeitsverhaltens von Werkzeuge zur schneidenden Gesteinsbearbeitung. In: *BHM*, 1973, S. 319- 326.
- 61 Gehring, K.: Über den Zusammenhang zwischen Gesteineigenschaften und Gewinnbarkeit unter besonderer Berücksichtigung der Vortriebstechnik. In: *Berg- und Hüttenmänn. Monatsh.*, 1975, S. 146- 152,.
- 62 Gehring, K.: Besonderheiten geologisch-geotechnischer Voruntersuchungen beim Einsatz von Teilschnittmaschinen. In: *Proceedings 4. Nat. Tagung Felsmech*, Aachen, 1980. – Tagungsband, S. 115 – 133.
- 63 Gehring, K.: Leistungs –und Verschleißprognosen im maschinellen Tunnelbau. In: *Felsbau*, 13: 439 – 447, Essen (Glückauf), 1995.
- 64 Gehring, K.: Teilschnittmaschinen im Tunnelbau – Leistungen Einsatzbereich beim heutigen Stand der Technik, 28 S.: *Alpine Westfalia Bergbautechnik* (Eigenverlag), 1995.
- 65 Gehring, K: Schneidende Gewinnung im Tagebau mit dem Voest-Alpine Surface Miner – Einsatzbedingungen und Erfahrungen beim Einsatz in festeren Gesteinen. In: *Erster Freiburger Kolloquium zur sprengstofflosen Festgesteingewinnung im Bergbau und Bauwesen*, Freiberg, 1997.

- 66 Gehring, K.: The influence of TBM design and machine features on performance and tool wear in rock. In: Geomechanics and Tunnelling, 2009, S. 140-155. (Eng.)
- 67 Georicke, B.: Entwicklungstrend der Werkzeuge für Surface Miner. In: 6th ISCSM, Freiberg, 2001. – Tagungsband, S. 297
- 68 Gerhard, H.; Jendersie, H.: Maschinelle Gewinnung 1. Lehrbrief. TU Bergakademie Freiberg, 1982.
- 69 Gerhard, H.; Jendersie, H.: Maschinelle Gewinnung 2. Lehrbrief. TU Bergakademie Freiberg, 1982.
- 70 Gerhard, H.; Jendersie, H.: Maschinelle Gewinnung 3. Lehrbrief. TU Bergakademie Freiberg, 1982.
- 71 Gertsch, R.; Gertsch, L.: Disc cutting tests in Colorado Red Granite: Implications for TBM performance prediction. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 2007, S.238-246. (Eng.)
- 72 Getopanow, W.N.: Vliyanie parametrov rezkova na effektivnost razruscheniya gornich porod s otkritoi powerchnosti zaboya. In: Nauchnie trudi MGU, 1957. (Russ.)
- 73 Getopanow, W.N.: Issledovanie processow razruscheniya razruscheniya gornich porod rezkowim instrumentomkombaina SBM-1. Moskau, Autoreferat zur Dissertation, 1958. (Russ.)
- 74 Girmscheid, G.: Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau. Aufl. Ernst & Sohn, Berlin, 2008. – ISBN 978-3-433-01852-1.
- 75 Gregor, M.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen über den Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf den Zerspanungswiderstand von Kohle. TU Aachen, Dissertation, 1968.
- 76 Gregor, M.: Der Einfluss von Schnittgeschwindigkeit, Meißelform, Freiwinkel, Spanwinkel und Meißelzustand auf Schnitt- und Andruckkraft beim Zerspanen von Kohle. In: Glückauf (FH), Essen, 1969, S. 169-173.
- 77 Goktan, R.M.: A suggested improvement on Evans' cutting theory for conical bits. In: Proc 4th int symp mine mechanization automation, Brisbane, Australien, 1997. – Handbook, S. 57-61. (Eng.)
- 78 Gunes Yilmaz, N.; Yurdakul, M.: Prediction of radial bit cutting force in high-strength rocks using multiple linear regression analysis. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 2007, S.962-970. (Eng.)
- 79 Hanson, B.D.; Roepke, W.W.: Effect of symmetric bit wear and attack angle on airborne respirable dust and energy consumption. Bureau of Mines, 1979. – Report of investigations, S. 27. (Eng.)
- 80 Hekimoglu, O.Z.: The radial line concept for cutting head pick lacing arrangements. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 1995, S.301-311. (Eng.)
- 81 Hekimoglu, O.Z.; Tiryaki, B.: Reducing respirable dusts and fines through shearer drum design in coal mines. In: CIM Bulletin, 2002, S. 119-123. (Eng.)
- 82 Haaf, J.: Das Verschleiß- und Drehverhalten von Meißeln für Teilschnitt-Vortriebsmaschinen. Clausthal, Dissertation, 1992.

- 83 Haddock, K.: Giant earthmovers: an illustrated history. Aufl. MBI Publishing Company: USA, 1998. – ISBN 0-7603-0369-X. (Eng.)
- 84 Hehnig, A.: Untersuchungen der sprengstofflosen Gewinnung unter Berücksichtigung der Übertragbarkeit auf die Naturstein-Industrie. In: Sprengstofflose Festgesteinsgewinnung im Tagebau und Bauwesen, Heft 98, 2003, S. 9-17.
- 85 Hood, M.C. & Roxborough, F.F.: Rock breakage Mechanical in Harman, Howard L. (ed.): SME Mining Engineering Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado. 1992. – Handbook. (Eng.)
- 86 Horeschok, A.A.; Kusnecow, W.W.: Vliyanie geometrii diskowogo instrumenta na prozess rusruscheniya gornogo massiva primenitelno k ispolnitelnomy organu prohodcheskogo kombaina. In: Innowacionnie tehnologii i ekonomika w maschinostroenii, 2007, S.297-303. (Russ.)
- 87 Horeschok, A.A.; Kusnecow, W.W.: Kinematichesie osobennosti raboti diskowih instrumentow na rabochih organah prohodcheskih kombinow In: Westnik Kuzbasskogo gosudarstwenogo tehničeskogo uniwersiteta, 2007, S.3-5. (Russ.)
- 88 Horeschok, A.A.; Kusnecow, W.W.: Obosnowanie geometricheskikh parametrov diskowogo instrumenta dlya ispolnitelnih organow prohodcheskih kombainow. In: Gornoe oborudowanie i elektromehanika, 2008, S.11-13.
- 89 Hurt, K.G.; MacAndrew, K.M.: Cutting efficiency and life of rock-cutting picks. In: Minig science and technology, 1985, S. 139-151. (Eng.)
- 90 Hurt, K.G.: Rock cutting experiments with point attack tools. In: Colliery Guardian – Coal International, April, 1980, S. 47-50. (Eng.)
- 91 Kaitkay, P.; Lei, S: Experimental study of rock cutting under external hydrostatic pressure. In: Journal of Materials Processing Technology, 2005, S. 206-213. (Eng.)
- 92 Kantowich, L.I.; Getopanow, L.I.: Mehanisirovaii kompleks dlya effektivnogo ismelcheniya smerzschegosya i negabaritnogo ugolnogo topliva na obogatitelnih fabrikah i teplovih elektrosanciyah. Aufl. Moskau: MGIU, 2000. – ISBN 5-276-00155-3. (Russ.)
- 93 Karukow, G.G.: Issledowanie raboti rezcow kombaina SBM. In: Trudi NPI, Nowocherkassk, 1959. (Russ.)
- 94 Keller, A.: Vergleich ausgewählter Verfahren zur maschinellen Gewinnung von Kalisalzen am Beispiel des Strebbaus von Belaruskali. TU Bergakademie Freiberg, Diplomarbeit, 2010. (unver.)
- 95 Kennametall Inc.: Firmenprospekt, 2006.
- 96 Kenny, P; Johnson, S.N.: An investigations of the abrasive wear of mineralcutting tools. In: Wear, 1976, S. 337-361. (Eng.)
- 97 Kenny, P; Johnson, S.N.: The effect of wear on the performance of mineral-cutting tools. In: Coll. Guardian, Juni 1976, S. 246-252. (Eng.)
- 98 Khair, A.W.: Research and innovations for continuous miner's cutting head, for efficient cutting process of rock / coal. In: 17 IMCET, Turkei, 2001. – Handbook, S 45-54. (Eng.)

- 99 Khair, A.W.: The effect of bit geometry and size on cutting parameters in linear cutting. In: SME-AIME Annual Meeting and Exhibition, Denver, 2001. (Eng.)
- 100 Khair, A.W.; Gehi, L.D.: Effect of bit wear on productivity of continuous miners. In: SME Annual meeting, 1993. – Handbook, S. 1834-1838 (Eng.)
- 101 Khair, A.W.; Xu, D: Principles of bit wear and dust generation. In: Proceeding of new technology in mine health and safety, Littleton, 1992. – Handbook, S. 175-183. (Eng.)
- 102 Kholodnyakov, G.A.; Vorona, M.A.: Ispitaniya fresernogo kombaina T1255 firni “Vermeer” na mestorogdenii izvestnyaka Dumont-Wautier. In: Sovremennie gornie tehnologii, 2008, S. 135-138. (Russ.)
- 103 Kibardina, G.B.: Opredelenie iznosostoikosti diskowih scharoschek. In: Rasruschenie uglei i gornih porod. In: Nauchnie soobscheniya instituta gornogo dela im. A.A. Skochinskogo, 1989. (Russ.)
- 104 Kichigin, A.F.; Ignatow, S.N.: Mehanicheskoe razruschenie gornih porod kombinirivanim sposobom. Aufl. Moskau: Nedra, 1972. (Russ.)
- 105 Kleinert, H.W.: Neue Ergebnisse aus dem Versuchstand „Schneidköpfe für Teilschnitt-Vortriebsmaschinen“. In: Glückauf, 119, Essen, 1982, S. 459-464.
- 106 Kleinert, H.W.: Entwicklungsstand der Schneidtechnik für Teilschnitt-Streckenvortriebsmaschinen. In: Glückauf, 125, Essen, 1989, S. 904-911.
- 107 Kostandow, U.A.: Osobennosti povedeniya materialow pri instrumentalnom rezanii. In: Dinamicheskie sistemi, 2006, S. 107-114. (Russ.)
- 108 Kostandow, U.A.: Vliyanie parametrov dinamicheskogo vozdeistviya na razruschenie gornich porod. In: Dinamicheskie sistemi, 2008, S. 121-131. (Russ.)
- 109 Kotwica, K.: Results of laboratory investigations into operating conditions of gutting tool. In: Journal of mining science, 39, 2003, S. 168-173. (Eng.)
- 110 Kotwica, K.: Effekt of selected working conditions of cutting picks on their wear during the mining of head rocks. In: Mechanics and control, 29, 2010, S. 110-118. (Eng)
- 111 Köppe, K.: Erarbeitung einer Dokumentation für das Praktikum „Schneidversuchsstand“. Freiberg, Studienarbeit, 2007.
- 112 Krapiw, M.G., Manakow, W.M.: Issledovanie temperatur i ich vliyanie na iznos instrumenta prochodtscheskich kombainov pri rezanii pestschanikow. In: IVUZ (Gornii gurnal), 1967, S. 84-89. (Russ.)
- 113 Krämer, T; Schröer, W: Untersuchung von Hobelmeißeln. In: Glückauf (FH), Essen, 1978.
- 114 Kunze, C.: Recherche fräsender Verfahren bei der Kalksteingewinnung im Tagebau. TU Bergakademie Freiberg, Diplomarbeit, 2006.
- 115 Kunze, G.; Georicke, B; Ehler, A; Belikow, M: Simulation von Gewinnungsvorgängen beim Abbau von festen Erdstoffen mit Continuous Surface Miner. In: 6th ISCSM, Freiberg, 2001. – Tagungsband, S. 290 – 296.

- 116 Kunze, G; Petack, B.: Continuous Surface Miner – Neue Grenze für sprengstoffloses Gewinnen von Festgestein. In: Fachtagung Baumaschinentchnik, Magdeburg, 2004, S. 347 – 354.
- 117 Lammer, E.; Gehring, K.: Verbesserung von Schneidwerkzeugen und Schneidsystemen von Teilschnittmaschinen. In: Felsbau, 16, Essen (Glückauf), 1998, S. 348 – 356.
- 118 Langlotz, V: Untersuchungen über das Zerspanen von Salzgestein. TU Clausthal, Dissertation, 1973.
- 119 Langlotz, V: Untersuchungen über das Zerspanen von Salzgestein. In: Glückauf Forschungsheft, 1975, S. 240-245.
- 120 Laptew, A.G., Lewin, A.M.: Resultati ispitaniia i issledovanie regimow raboti porodoprochodshcheskogo kombaina „Sous-19“. In: Gornie mashini i sredstva avtomatisacii, 1983, S. 37-39. (Russ.)
- 121 Lashkaripour, G.R.: The effect of water content on the mechanical behaviour of mudrocks. In: Proceedings 8th International IAEG Congress 1998, Vancouver, Canada. Engineering geology. A global view from the pacific rim, Rotterdam, Brookfield (Balkema), 1998. – Handbook, S. 289 – 305. (Eng.)
- 122 Laue, A.: Bestimmung des Einflusses des Verschleißzustandes der Werkzeuge auf den spezifischen Energieaufwand sowie auf den Rippenbruchfaktor. TU Bergakademie Freiberg, Diplomarbeit, 1991.
- 123 Levankowskij, I.A.: Raschet Iznosostoičnosti povorotnih rezcov pri rabote prohodcheskih kombainow. In: Hauchnie soobscheniya IGD im. A.A. Skochinskogo, S. 110-128. (Russ.)
- 124 Levankowskij, I.A.; Glatman, L.B.: Analiz i ocenka vliyanija osnovnih faktorov i uslovij na iznos povorotnih rezcov pri rabote prohodcheskih kombainov. In: Hauchnie soobscheniya IGD im. A.A. Skochinskogo, S. 81-109. (Russ.)
- 125 Li, X.S.; Gipps, I.: Smart cut technology hard rock mechanical excavation. In: Narrow Vein Mining Conference 2008, Ballarat, Australia. (Eng.)
- 126 Li, X.S.; Tiryaki, B.: Hard rock cutting with smart cut technology. In: 22nd World Mining Cogress and Expo 2011, Istanbul, Turkey. – Handbook, S. 725-732. (Eng.)
- 127 Logow, A.B.; Gerike, B.L.: Mechanicheskoe razrischenie krepkich gornich porod. Aufl. Nowosibirsk: Nauka, 1989. – DK 622.232.72. (Russ.)
- 128 Loguncow, B.M.: Opredelenie usilii pri resanii gornich porod. In: Gornie mashini, 1958. (Russ.)
- 129 Mahnert, U.; Gerhardt, H.: Untersuchungen zur Gesteinszerspanung mit Rundschaftmeißeln im Hinblick auf die rechnergestützte Meißelbestückung und Dimensionierung von Teilschnittgewinnungsorganen. In: Neue Bergbautechnik, Oktober, 1988, S. 375-381.
- 130 Mahnert, U.; Gerhardt, H.: Rechnergeschützte Optimierung von Teilschnittgewinnungsorganen unter Berücksichtigung der Arbeitsweise des Einzelwerkzeuges. In: Neue Bergbautechnik, Oktober, 1990, S. 379-385.

- 131 Mahnert, U.: Beitrag zur Optimierung des Schneidverhaltens von Längs- und Querschneidköpfen an Ausleger-Teilschnittmaschinen. Freiberg, Dissertation, 1989.
- 132 Mehrotra, P.R.: A model for wear of conical coal mining bits. In: *Wear*, 111, 1986, S 403-417. (Eng.)
- 133 Mertens, V.: Verbesserung der Schneidtechnik von Teilschnitt-Vortriebsmaschine. In: *Glückauf*, 1979, S. 898-902.
- 134 Multanow, A.S.; Falkowskij, W.A.: Twerdie splawi dlya armirowaniya rezcow gornih i doroznih maschin. In: *Nauchnie soobscheniya IGD im. A.A. Skochinskogo*, 2000, S.79-92.
- 135 Multanow, A.S.: Perspektiwi ispolsowaniya osobokrupnosernistih twerdih splawow dlya osnascheniya instrumenta gornih maschin. In: *Nauchnie soobscheniya IGD im. A.A. Skochinskogo*, 2001, S.189-196.
- 136 Multanow, A.S.: Krupnosernistie splawi WC-CO dly armirowaniya rezcow gornih maschin. In: *Gornie maschini i awtomatika*, 2002, S. 38-40.
- 137 Muro, T.; Tsuchiya, K.: Experimental considerations for study state edge excavation under a constant cutting depth for a mortar specimen using a disk cutter bit. In: *Journal of terramechanics*, 2002, S. 143-159. (Eng.)
- 138 Muschelkatz, H: Der Verschleiß hartmetallbestückter Meißel bei der Gewinnung der mineralischen Rohstoffe. In: *Glückauf (FH)*, Essen, 1976.
- 139 Nekrassow, S.S.: Untersuchung der beim Schneiden der Kohle auftretenden Kräfte. In: *Bergbautechnik*, 1955, S.312-316.
- 140 Nekrassow, S.S.: Erforschung und Berechnung der Kräfte beim Schneiden von Kohle im Grobschnitt. In: *Bergbautechnik*, 1959, S.28-34.
- 141 Nishimatsu, Y.: The Mechanics of Rock Cutting. In: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanical Abstracts*, Abstract 9. 1972. (Eng.)
- 142 Organiscak, J.A.; Khair, A.W.: Studies of bit wear and respirable dust generation. In: *SME-AIME Annual meeting and exhibition, Denver, 1995. – Handbook*, S. 1874-1879. (Eng.)
- 143 Phan, Q.V.; Drebenstedt, C.: The formation of dust depending on the cutting parameters during the destruction of rock by cutting . In: *Mine plannig and Equipment selection and environmental issues in and waste management in energy and mineral production*, 2007, S.651-662. (Eng.)
- 144 Phan, Q.V.: Beitrag zur Staubentstehung und –verhütung bei spanender Gesteinszerstörung. Freiberg, Dissertation, 2008.
- 145 Phillips, H.R.; Roxborough, F.F.: The influence of tool material on the wear rate of rock cutting picks. In: *Proceedings 34th Annual Conference, Brisbane, Queensland, Australia Institute of Metals. – Handbook*, S 52 – 56, 1981. (Eng.)
- 146 Pils, M.N.; Reopke, W.W.: Preliminary evaluation of the relationship of bit wear to cutting distance, forces, and dust using selected commercial and experimental coal- and rock cutting tools. Bureau of Mines, 1988. – Report of investigations, S. 70. (Eng.)

- 147 Plininger, R.J.; Thuro, K.: Die geologischen Verhältnisse beim Vortrieb des Meisterntunnels Bad Wildbad/Nordschwarzwald. In: Jber. Mitt. oberhein. geol. Ver., N.F., 81, S. 325 – 345.
- 148 Plininger, R.J.: Klassifizierung und Prognose von Werkzeugverschleiß bei konventionellen Gebirgslösungsverfahren im Festgestein. München, Dissertation, 2002.
- 149 Rohstoffsteckbrief von Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg – Mineralische Rohstoffe. Beschaffenheit, Herkunft und Verwendung, Freiburg, 25 Juli 2009.
- 150 Rojek, J.; Kargl, H.: Prediction of wear of roadheader picks using numerical simulations. In: Geomechanik und Tunnelbau, 1, 2008, S. 47-54. (Eng.)
- 151 Poluyanskii, S.A.; Ignatowich, U.N.; Processi razruscheniya krepkih porod. Aufl. Kiew: Naukowa dumka, 1984. (Russ.)
- 152 Popov, S.N.: Issledovanie vliyaniya vnesnih uslowii na iznosostoičnost rezcov dorognoi frezi. In: Nowie materialy i tehnologii v metallurgii i maschinostroenii, 2007, S. 25-29. (Russ.)
- 153 Posin, E.S.: Issledovaniya processov razruscheniya uglei mehanicheskim sposobom v IGD im. A.A. Skochinskogo. In: Ugol, 1992, S. 60-64. (Russ.)
- 154 Posin, E.S., Adamasson, A.P.: Razruschenie slancew instrumentami viemotschnich maschin. Moskau: Nauka, 1984. – DK 622.026.01. (Russ.)
- 155 Posin, E.S., Multanow, S.I.: Sostoyanie i osnovnie napravleniya fundamentalnih issledowanij v oblasti razruscheniya uglya i gornih porod. In: Izvestiya IGD im. A.A. Skochinskogo, 1991, S. 102-107. (Russ.)
- 156 Protassow, U.I.: Teoreticheskie osnovi mehanicheskogo razruscheniya gornich porod. Aufl. Moskau: Nedra, 1985 – DK 622.236.234. (Russ.)
- 157 Protodyakonow, M.M.: Zavisimost sili soprotiwleniya rezaniu ot parametrow resa. In: Izv. vissch. uchebnych zav. In: Gornij gurnal, 1960. (Russ.)
- 158 Qayyum, R.A.: Effects of bit geometry in multiple bit-rock interaction. West Virginia University, Masterarbeit, 2003. (Eng.)
- 159 Ranman, K.E.: A Model of describing rock cutting with conical picks. In: Rock mechanics and rock engineering, 1985, S. 131-140. (Eng.)
- 160 Roepke, W.W.; Lindroth, D.P.: Reduction of dust and energy during coal cutting using point-attack bits. In: BuMines, 1976, S. 53. (Eng.)
- 161 Roepke, W.W.: Effect of asymmetrick wear of point attack bits on coal-cutting parameters and primary dust generation. In. BuMines, 1983, S. 16. (Eng.)
- 162 Roepke, W.W.: General methods of Primary dust control during cutting. In: Mining Engineering, 1984, S. 636-644. (Eng.)
- 163 Rogers, S.; Roberts, B.: Wear mechanisms associated with rock excavation using attack picks. In: Mining science and technology, 1991, S. 317-323. (Eng.)
- 164 Romanow, W.A.; Schmakin, I.G.: O vliyanii iznosa rezcov na velichinu sil, deistwyuschih na sadnyu gran. In: Gornij zurnal, 1977, S.94-97. (Russ.)

- 165 Rother, E: Experimentelle Untersuchungen zum Verschleiß von hartmetallbestückten Keilmeißeln beim Zerspanen von Gestein. TU Aachen, Dissertation, 1980.
- 166 Roxborough, F.F.: Cutting rock with picks. In: *The Mining Engineer*, 1973, S. 445- 455. (Eng.)
- 167 Roxborough, F.F.: Breaking coal and rock In. C.H. Martin (ed.) *Australian coal mining practice*, AIMM Monograph Series: 12. 1986. (Eng.)
- 168 Roxborough, F.F.: The role of some basic rock properties in assessing cuttability. In: *Seminar on Tunnels – Wholly Engineered Structures*, Canberra, Australia, 1987. – Handbook, S. 1-21. (Eng.)
- 169 Sandvik: *Das ist Hartmetall*, 2001.
- 170 Sandvik: *Mining and Construction – Mineral ground tools (Mining)*, 2008.
- 171 Sandvik: *Mining and Construction – Mineral ground tools (Tunneling)*, 2008.
- 172 Sanio, H.P.: *Nettovortriebsprognose für Einsätze von Vollschnittmaschinen in anisotropen Gesteinen*, Bochum, Dissertation, 1983.
- 173 Sanio, H.P.: Prediction of the performance of disc cutters in anisotropic rock. In: *International journal of rock mechanics & mining sciences*, 1985, S.153-161. (Eng.)
- 174 Sann, B.: *Die Mechanik des Hobels*. In: *Glückauf (FH)*, Essen, 1973, S. 175-186.
- 175 Saupe, D: *Untersuchungen über die tangentielle Kraft an Schnittwerkzeugen in Erdstoffen unter Berücksichtigung der Verschleißfläche*. Dresden, Dissertation, 1982.
- 176 Schimazek, J.; Knatz, H.: Der Einfluss des Gesteinsaufbaus auf die Schnittgeschwindigkeit und den Meißelverschleiß von Streckenvortriebsmaschinen. In: *Glückauf*, 1970, S. 274 – 278.
- 177 Schimazek, J.; Knatz, H.: Die Beurteilung Bearbeitbarkeit von Gesteinen durch Schneid- und Rollenbohrwerkzeuge. In: *Erzmetall*, 1975, S 113 – 119.
- 178 Schimazek, J.: *Verschleiß der Abbauwerkzeuge beim Einsatz von Teil- und Vollschnittmaschinen im Tunnel- und Bergbau*, STUVA-Tagung, Berlin, 1981.
- 179 Schmieder, P.: *Anwendung und Weiterentwicklung der Methodik der Umweltbilanzierung beim Abbau von Festgestein*. TU Bergakademie Freiberg, Dissertation, 2007.
- 180 Schmieder, P.; Drebenstedt, C: *Sprengstofflose Gewinnung im Festgestein – Möglichkeiten und Grenzen*. In: *Baustoffe – nachhaltig gewinnen und nutzen*, Freiberg, 2004, S. 35-49.
- 181 Schwerdtner, G.; Anger, H.: *Die Kaolinlagerstätten des Kemmlitzer Reviers*. Bergbaumonographie, Freiberg, 2007.
- 182 Seifert, M.: *Bestimmung der günstigen Arbeitsparameter für Rundschafftmeißel an Salzgestein*. TU Bergakademie Freiberg, Diplomarbeit, 1991.
- 183 Semencheko, A.K.; Schabaew, O.E., Semenchenko, D.A.: Vliyanie kinematicallykh izmenenii zadnego ugla povorotnogo rezca na formirovanie usilii podachi. In: *Nauchnie soobscheniya, DonDTU*, 2001, S. 340-344. (Russ.)

- 184 Semencheko, A.K.; Schabaew, O.E., Semenchenko, D.A.; Hizenko, N.V.: Vliyanie formi, parametrov i regimov aksialnoi koronki na effektivnost' processa razruscheniya zaboya. In: Nauchnie soobscheniya, DonDTU, 2006. (Russ.)
- 185 Semencheko, A.K.; Semenchenko, D.A.; Chaplik, N.M.: Zakonomernosti formirovaniya parametrov strugki i kinematicheskikh izmenenii uglov rezca planetarnogo ispolnitelnogo organa. In: Nauchnie soobscheniya, DonDTU, 2008, S. 250-256. (Russ.)
- 186 Semenow, W.W.; Schmakin, I.G.: Obosnowaniya razionalnih parametrov rezuschih organow kombainow tipa „Ural“. In: Gornoe oborudovanie i elektromehanika, 2008, S.49-53. (Russ.)
- 187 Semenow, W.W.; Schmakin, I.G.: Obosnowanie parametrov i vibora rezcow ispolnitelnogo organa prohodchesko-bochistnogo kombaina dlya dobichi kalijnih rud „Ural-61“. In: Gornoe oborudovanie i elektromehanika, 2010, S.6-9. (Russ.)
- 188 Semenow, W.W.; Schmakin, I.G.: Sovershenstvovanie metoda rascheta nagruzennosti rezcow pri razruschenii kalijnih rud. In: Gornoe oborudovanie i elektromehanika, 2010, S.13-16. (Russ.)
- 189 Sidorenko, N.I.; Kotow, W.A.: K woprosu ob ocenke kreposti i abrasiwnosti gornih porod odnim pokasatelem. In: Ugol, 1963. (Russ.)
- 190 Sisoew, N.I.; Burenkow, N.N.: Nauchnie osnovi vibora parametrov vosokoeffektivnih rezuschih instrumentow gornih maschin. In: Gornoe oborudovanie i elektromehanika, 2007, S.13-20. (Russ.)
- 191 Skorobogatow, S.V.: Vliyanie parametrov regima resaniya na temperaturu rezca. In: Gornie mashini i avtomatika, 1964. (Russ.)
- 192 Skorobogatow, S.V.: Issledovanie osnovnich zakonomernostei iznosa reguschego instrumenta porodoprohodcheskih kombainow. Moskau, Autoreferat zur Dissertation, 1966. (Russ.)
- 193 Sobek, P.: Ermittlung der günstigen Meißelgeometrie anhand von Schnittversuchen mit Rundschaftmeißeln. TU Bergakademie Freiberg, Diplomarbeit, 1986.
- 194 Solod, W.I.; Getopanow, W.N.: Proektirowanie i konstruirowanie gornih maschin i kompleksow. Aufl. Moskau: Nedra, 1982. – DK 622.002.5. (Russ.)
- 195 Sprachholz, F.X.; Schimm, B.: Einsatzmöglichkeiten des Surface Miners und erste Erfahrungen außerhalb der Kohle. In: Braunkohle – Surface Mining, 1997, S. 137-149.
- 196 Sprachholz, F.X.: Untersuchung der Einsetzbarkeit eines kontinuierlichen Gewinnungssystems für Festgesteinstagebaue (Operational Conditions for Continuous Mining Systems in Hard Rock Open Pit Mines). TU Berlin, 1996. – Forschungsprojekt (BE-6044). Projektpartner Sociedade Mineira de Pegmatitica Lda (Portugal), Wirtgen GmbH (Deutschland).
- 197 Sprachholz, F.X.: Überlegungen zur konzeptionellen Ausgestaltung sprengstoffloser Gewinnungstechniken für den Festgesteintagebau basierend auf Einsatzerfahrungen mit Mittelwalzfräse, TU Berlin, Dissertation, 1997.
- 198 Stoll, R.D.; Drebenstedt, C.: Der Braunkohlentagebau. Aufl. Berlin: Springer, 2009 – ISBN 978-3-540-78401-2.

- 199 Talerow, M.P.: Vozmognii sposob diagnostirovaniya rezcov prohodcheskih i ochistnih kombainow. In: Sapiski gornogo instituta, SPGGI (TU), 2009, S. 122-124. (Russ.)
- 200 Ter-Azariew, I.A.: Osnowi effektiwnogo resaniya prirodnoego kamnya. Kiew, Autoreferat zur Dissertation, 1966. (Russ.)
- 201 Thuro, K.; Plinninger, R.J.: Geotechnische Auswirkungen klastischer Sedimentgesteine auf den Tunnelvortrieb. In: Ber. 11. Nat Tag. Ing.-geol., Würzburg, 1997. – Sonderheft Geotechnik (Glückauf), S. 298 – 312.
- 202 Thuro, K.; Plinninger, R.J.: Klassifizierung und Prognose von Leistung- und Verschleißparametern im Tunnelbau. In: Taschenbuch für den Tunnelbau 1997, 21, Dt. Ges. für Geotechnik e.V., Essen (Glückauf), S 63 – 106.
- 203 Thuro, K.; Plinninger, R.J.: Geologisch-geotechnische Grenzfälle beim Einsatz von Teilschnittmaschinen. In: Felsbau, 1998, 358 – 366.
- 204 Thuro, K.; Plinninger, R.J.: Bohren, Sprengen, Fräsen – Können die geologischen Faktoren der Gebirgslösung quantifiziert werden? In: Felsbau, 2001, 114 – 121.
- 205 Thuro, K.: Geologisch-felsmechanische Grundlagen der Gebirgslösung im Tunnelbau, München, 2002.
- 206 Tiryaki, B.; Boland, J.N.: Empirical models to predict mean cutting forces on point-attack pick cutters. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 2010, S.1-7. (Eng.)
- 207 Tiryaki, B.; Li, X.S.: Rock cutting and modelling, cutterdrum design and automated rapid development via rock cutting. - Mining Magazine Congress 2010, Perth, Australia. (Eng.)
- 208 Tockner, J.; Wagner, H.: Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der zerspanenden Gewinnung von Festgesteinen. Felsbau, 5, 1998, S. 342-353.
- 209 Troizkij, I.A.; Zhelesnow, W.A.: Metallurgiya aluminiay. Aufl. Moskau: Metallurgiy, 1977. (Russ.)
- 210 Tuncdemir, H.; Bilgin, N.: Control of rock cutting efficiency by muck size. In: International journal of rock mechanics & mining sciences, 2008, S.278-288. (Eng.)
- 211 Ungmeister, D.A.; Kowalew, O.W.: Issledowanie parametrow prohodchesko-dobichnogo kombaina dlya rasrabotki plastowih mestorogdenij. In: Gornoe oborudowanie i elektromehanika, 2005, S.6-10. (Russ.)
- 212 Väli, E.: Best available technology for the environmentally friendly mining with Surface Miner. Dissertation, Tallinn University of Technology, 2011. (Eng.)
- 213 Verhoef, P.N.: Wear of rock cutting tools, 1997. (Eng.)
- 214 Verronskij, A.W.: Gipsovie materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye). Spravochnik. Aufl. Moskau: ASB, 2004. (Russ.)
- 215 Vorona, M.A.; Drebenstedt, C.: Planung und Durchführung eines Einsatztestes des Vermeer Surface Miner zur Kalksteingewinnung. In: TU Bergakademie Freiberg: 3. Internationales Kolloquium zur sprengstofflosen Gewinnung (Freiberg 27. bis 29. November 2008). – Tagungsband, S. 239-255.

- 216 Vorona, M.A.; Drebenstedt, C., Gaßner, W: Grain size and dustemission depending on asymmetric cutting tool wear in process of mechanical rock destruction. In: 6. Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler anlässlich des 62. Berg- und Hüttenmännischen Tages (Freiberg 16.-17. Juni 2011). – Tagungsbericht, S.122-127. (Eng.)
- 217 Vorona, M.A.; Gaßner, W.; Drebenstedt, C.: Investigation of cutting tools for mechanised winning of salt. In: 5. Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler anlässlich des 61. Berg- und Hüttenmännischen Tages (Freiberg 9.-11. Juni 2010). – Tagungsband, S.85-92. (Eng.)
- 218 Vorona, M.A.: Versuch mit dem Surface Miner T1255 der Firma Vermeer in der Kalksteinlagerstätte „Dumont - Wautier“. TU Bergakademie Freiberg, Praktikumsbericht, 2007, S. 64 (unver.).
- 219 Vorona, M.A.: Bezvzrivnaya tehnologiya otkritoi razrabotki mestorogdenii stroitelnih gornoh porod s ispolsovaniem frezernogo kombaina T1255 Terrain Leveler firmi Vermeer. Sankt-Petersburg, Masterarbeit, 2008. (Rus.)
- 220 Vorona, M.A.: Einsatzerfahrung des Vermeer Surface Miner im deutschen Straßenbau. In: 4. Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler anlässlich des 60. Berg- und Hüttenmännischen Tages (Freiberg 18./19. Juni 2009). – Tagungsband, S. 119-124.
- 221 Wiese, H.F.: Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung der Lösearbeit von Teilschnitt-Vortriebsmaschinen mit Querschneidkopf. Clausthal, Dissertation, 1982.
- 222 Wilhelm, J.: Einflussgrößen auf das Spanen von Salzen mit Flach- und Rundschaftmeißeln. Hannover, Dissertation, 1981.
- 223 Wilhelm, H: Untersuchung zu Temperaturen und Energieumsätzen bei schneidender Gesteinszerstörung mit Teilschnitt-Vortriebsmaschinen. TU Clausthal, Dissertation, 1992.
- 224 Wirtgen: Die Welt der Wirtgen Surface Miner, 2008.
- 225 www.baustoffindustrie.at
- 226 www.kaolin.com.ua
- 227 www.lung.ch
- 228 www.neufilter.de
- 229 www.novotransmash.com
- 230 www.potasse.ch
- 231 www.rezec.com.ua
- 232 www.roscoal.ru
- 233 www.rwe.com
- 234 www.staub-info.de
- 235 www.steinkohleportal.de
- 236 www.zlateh.ru

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Klassifikation der verwendeten Meißelarten | 7 |
| Abb. 2: Variationsmöglichkeiten bei der Auslegung von Rundschafftmeißeln..... | 10 |
| Abb. 3: Definition der Winkel an einem Rundschafftmeißel im Raum | 12 |
| Abb. 4: Schematische Darstellung des Schneidvorganges (teilblockierter Schnitt) | 13 |
| Abb. 5: Voll- und teilblockierte Schnitte: h_s – Schnitttiefe; a_s – Schnittlinienabstand | 15 |
| Abb. 6: Verschiedene Spanformen | 16 |
| Abb. 7: Änderung des Rippenbruchfaktors in Abhängigkeit von Spanform und - länge | 17 |
| Abb. 8: Im Tagebau eingesetzte CSM | 18 |
| Abb. 9: im Tiefbau eingesetzte Gewinnungsmaschinen mit Auslegern | 20 |
| Abb. 10: Eickhoff Walzenschrämlader (Foto: www.eickhoff-bochum.de)..... | 21 |
| Abb. 11: Änderung der spezifischen Energie bei der Gesteinszerstörung [129] | 23 |
| Abb. 12: Änderung der Schnittkraft bei der Gesteinszerstörung [90] | 23 |
| Abb. 13: Gesamtlängenverlust der untersuchten Fräswalzen-Meißel- Kombinationen in Abhängigkeit vom Fräsvolumen [197] | 24 |
| Abb. 14: Anzahl der gewechselten Meißel in Abhängigkeit von der Gesteinsmasse bei verschiedenen Festigkeiten [218, 220]..... | 24 |
| Abb. 15: Meißelverbrauch in Abhängigkeit vom Trennflächenabstand in sandigen Schiefern [63]..... | 25 |
| Abb. 16: Schnittkraftdiagramme für Meißel verschiedener Verschleißzustände [60]..... | 25 |
| Abb. 17: Auswirkung des Meißelverschleißes [142]..... | 26 |
| Abb. 18: Schneidversuchsstand an der Technischen Universität Istanbul [30] | 27 |
| Abb. 19: Abhängigkeit der spezifischen Energie von der Gesteinszugfestigkeit [8, 9]..... | 27 |
| Abb. 20: Auswirkung von Sprödigkeitskoeffizient und Druckfestigkeit des Gesteins beim Schneiden | 27 |
| Abb. 21: Auswirkung des Keilwinkels [105]..... | 28 |
| Abb. 22: Versuchseinrichtungen zur Untersuchung des Meißelverschleißes [37] | 28 |
| Abb. 23: Meißelverschleiß in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit im Sandstein [37] | 29 |
| Abb. 24: Auswirkung der Schneidlänge bei verschiedenen Werkstoffen [125, 126]..... | 29 |
| Abb. 25: Entwicklung der Meißeltemperaturen bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten [223]..... | 30 |
| Abb. 26: Verschleiß von Rundschafftmeißeln mit „normalkörnigem“ Hartmetall beim Schneiden in den Sandsteinen Nr. 1 und Nr. 2 [39]..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Abb. 27: Änderung des Meißelverschleißes bei der Gesteinszerstörung [208]..... | 32 |
| Abb. 28: Staubmengenanteil bei der Sandsteinzerstörung mit verschiedenen Meißeln [53, 54]..... | 33 |
| Abb. 29: Prozentualer Staubmengenanteil der Körngröße < 125µm mit verschiedenen Spanwinkeln bei der Kalksteinzerstörung [144]..... | 33 |
| Abb. 30: Verschleiß der Meißel RKS in Abhängigkeit von der Schneidlänge..... | 34 |
| Abb. 31: Änderung der Schnittkraft bei verschiedenen Freiwinkeln und Schnitttiefen [183]..... | 35 |
| Abb. 32: Gewichtsverlust des Meißels [152]..... | 35 |
| Abb. 33: Löseleistung und Meißelverbrauch in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit beim Wirtgen Surface Miner 2500SM [27]..... | 36 |
| Abb. 34: Meißelverbrauch in Abhängigkeit von der Kontaktfestigkeit bei verschiedenen Abrasivitäten [27]..... | 36 |
| Abb. 35: Schematische Darstellung der Änderung des Meißelverschleißes von der Schneidlänge..... | 43 |
| Abb. 36: Prozentualer Anteil der Verschleißformen für Rundschafftmeißel ([101], [203])..... | 46 |
| Abb. 37: Asymmetrische Abnutzung der Rundschafftmeißel im Vergleich mit neuem Meißel [224, 203]..... | 46 |
| Abb. 38: Kennwerte zur Beschreibung verschlissener Meißel..... | 48 |
| Abb. 39: Staubeinstehung bei der maschinellen Gesteinszerstörung im Bergbau..... | 49 |
| Abb. 40: Schematische Darstellung der bisherigen ähnlichen Untersuchungen..... | 53 |
| Abb. 41: Schematische Darstellung der vorgesehenen Untersuchungen..... | 54 |
| Abb. 42: Versuchsprogramm am Schneidversuchsstand..... | 55 |
| Abb. 43: Geglättete Arbeitsoberfläche..... | 56 |
| Abb. 44: Glättemeißel [7]..... | 56 |
| Abb. 45: Schematische Darstellung der Voruntersuchungen..... | 57 |
| Abb. 46: Rundschafftmeißel in drei verschiedenen Abnutzungsgraden..... | 57 |
| Abb. 47: Schematische Darstellung der Hauptuntersuchungen..... | 58 |
| Abb. 48: Eingesetzte scharfe Rundschafftmeißel..... | 61 |
| Abb. 49: Einrichtungen zur Ermittlung der Gesteinseigenschaften..... | 62 |
| Abb. 50: Sonderhobelmaschine HXS 1000-50 am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau..... | 63 |
| Abb. 51: Werkzeughalter und 3D-Messkopf [7]..... | 65 |
| Abb. 52: Verschiedene verwendbare Meißel..... | 65 |
| Abb. 53: Teilblockierte Schnitte..... | 66 |
| Abb. 54: Definition der Kraftkomponenten [7, 36]..... | 67 |
| Abb. 55: Einrichtungen zur Messwerterfassung..... | 67 |

| | |
|--|----|
| Abb. 56: Siebmaschine mit den verwendeten Sieben für die Korngrößenanalyse | 68 |
| Abb. 57: Filtereinrichtung zur Ermittlung der Staubmenge | 70 |
| Abb. 58: Grundteile des Filtersystems | 70 |
| Abb. 59: Einzelbildaufnahme des Schneidvorgangs (Zeitabschnitt: 0,375 sec)..... | 72 |
| Abb. 60: Arbeitsfenster der Datenbank..... | 73 |
| Abb. 61: Struktur der Datenbank | 73 |
| Abb. 62: Längenverlust der Meißel aus Aluminium in Abhängigkeit von der Schneidlänge bei verschiedenen Versuchsgesteinen | 74 |
| Abb. 63: Rundschaftmeißel in drei verschiedenen Abnutzungsgraden | 75 |
| Abb. 64: Mittelwerte des Schnittwiderstandes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 76 |
| Abb. 65: Mittelwerte der Andruckkraft in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 77 |
| Abb. 66: Mittelwerte der Seitenkraft in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 78 |
| Abb. 67: Verhältnis zwischen Andruckkraft und Schnittwiderstand in Abhängigkeit vom Verschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS..... | 79 |
| Abb. 68: Mittelwerte der spezifischen Energie in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 80 |
| Abb. 69: Mittelwerte des Massenanteils des Grobkornes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 81 |
| Abb. 70: Mittelwerte des Massenanteils des Feinkornes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 81 |
| Abb. 71: Mittelwerte des Staubmengenanteils in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 82 |
| Abb. 72: Mittelwerte des Volumens des Einzelschnittes in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 83 |
| Abb. 73: Mittelwerte des Volumens der Zwischenrippe in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß bei verschiedenen Rippenbruchfaktoren: a) Block B24/FS; b) Block B34/FS; c) Block B22/GS | 84 |
| Abb. 74: Relevante Arbeitsgrößen in Abhängigkeit von der spezifischen Energie bei verschiedenen Verschleißzuständen für den Block B34/FS: a) Grobkornanteil; b) Feinkornanteil; c) Staubmengenanteil | 85 |

| | |
|---|-----|
| Abb. 75: Relative Änderungen der Arbeitsgrößen im Vergleich zur relativen Änderung des Schnittwiderstandes beim asymmetrischen Meißelverschleiß | 86 |
| Abb. 76: Verschiebung des Rippenbruchfaktors bei verschiedenen Verschleißzuständen im Vergleich mit dem neuen Meißel | 89 |
| Abb. 77: Schematische Darstellungen vom Längenverlust des Meißelstiftes in Abhängigkeit von der Standzeit des Meißels bei unterschiedlichen Arbeitsbedingungen | 91 |
| Abb. 79: Verschiebung des Rippenbruchfaktors mit zunehmendem Keilwinkel des Meißelstiftes im Vergleich mit dem Schneidwerkzeug mit einem Keilwinkel von 70° [122] | 94 |
| Abb. 80: generelle Tendenz der Arbeitsgrößen in Abhängigkeit vom Rippenbruchfaktor für verschiedene Verschleißzustände der Meißel: | 95 |
| Abb. 81: Effekt des Meißelverschleißes beim Einsatz an Gewinnungsmaschinen | 97 |
| Abb. 82: Abnehmende Schnitttiefe ohne Berücksichtigung des Meißelverschleißes..... | 98 |
| Abb. 83: Konstante Schnitttiefe unter Berücksichtigung des Meißelverschleißes | 98 |
| Abb. 84: Meißelanordnung auf der Gewinnungswalze von Wirtgen Surface Miner SM 2100 / 2200:..... | 99 |
| Abb. 85: Meißelanordnung auf der Gewinnungswalze: | 100 |
| Abb. 87: Änderung des Meißelverschleißes [51]..... | 135 |
| Abb. 88: Einfluss vom Winkel zur Schieferung [205]..... | 136 |
| Abb. 89: Zusammenhang zwischen Schneidringverschleiß und Cerchar-Abrasivität-Index [63]..... | 137 |
| Abb. 90: Tendenz der Meißellebensdauer gegenüber dem Meißeldurchmesser [66]... | 137 |
| Abb. 91: Verschleißprofil in Abhängigkeit von der Schneidlänge | 138 |
| Abb. 92: Einfluss vom Spanweg bei verschiedenen Meißeln [113] | 139 |
| Abb. 93: Spezifische Energie in Abhängigkeit von der Schnitttiefe [222]..... | 141 |
| Abb. 94: Freiflächenverschleiß in Abhängigkeit von der Schneidlänge [222]..... | 141 |
| Abb. 95: Abhängigkeit des Freiflächenverschleißes von der Schneidlänge [76] | 141 |
| Abb. 96: Einfluss des Drehwinkels bei der Gesteinszerstörung [80] | 142 |
| Abb. 97: Einfluss des Anstellwinkels bei verschiedenen Schneidwerkzeugen [217]... | 143 |
| Abb. 98: Hartmetallverlust und Radialverschleiß in Abhängigkeit von der Schneidlänge | 144 |
| Abb. 99: Abhängigkeit der Schnittkraft vom Freiwinkel [72]..... | 145 |
| Abb. 100: Abhängigkeit der spezifischen Energie von der Spitzenbreite [2]..... | 145 |
| Abb. 101: Auswirkung von Schnittlinienabstand und Schnitttiefe [104] | 146 |
| Abb. 102: Änderung der Schnitt- und Andruckkraft bei der Zerstörung vom Sandstein [12] | 146 |
| Abb. 103: Freiflächenverschleiß in Abhängigkeit von der Schneidlänge..... | 147 |
| Abb. 104: Auswirkung vom Freiwinkel [192]..... | 147 |

| | |
|--|-----|
| Abb. 105: Flächenverschleiß in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit | 148 |
| Abb. 106: Freiflächenverschleiß in Abhängigkeit vom Abrasivitätsindex | 148 |
| Abb. 107: Entwicklung der Temperatur der Freifläche | 149 |
| Abb. 108: Änderung des Verschleißprofils der Freiflächen vom Schneidlänge [11] | 149 |
| Abb. 109: Kerbmeißel mit seitlicher Arbeitsfläche [20]..... | 150 |
| Abb. 110: Schema der Zerstörung von der Gesteinszwischenrippe mit dem entwickelten Kerbmeißel [21]..... | 150 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Parameter des Hartmetallstiftes in Abhängigkeit von den Gesteinseigenschaften | 11 |
| Tabelle 2: Vergleich der Eigenschaften bzw. Merkmale der CSM für die verschiedenen Geräteklassen | 19 |
| Tabelle 3: Vergleich der Eigenschaften und Merkmale der TSM und CM | 21 |
| Tabelle 4: Stand des Wissens zu experimentellen Untersuchungen mit Schneidwerkzeugen..... | 39 |
| Tabelle 5: Querverweise auf den Literaturquellen zu experimentellen Untersuchungen mit Schneidwerkzeugen | 40 |
| Tabelle 6: Einteilung der Verschleißformen von Rundschachtmeißeln [124, 148, 205] | 45 |
| Tabelle 7: Quantitative Klassifizierung des Verschleißes von Rundschachtmeißeln [148]..... | 47 |
| Tabelle 8: Schwebeverhalten von Staubteilchen in Abhängigkeit von der Korngröße [25]..... | 49 |
| Tabelle 9: Schneidparameter bei den Vor- und Hauptuntersuchungen | 55 |
| Tabelle 10: Kenndaten der verwendeten Schneidwerkzeuge..... | 58 |
| Tabelle 11: Parameter der vollblockierten Schnitte bei einer Schnitttiefe von 20 mm | 59 |
| Tabelle 12: Parameter der vollblockierten Schnitte bei einer Schnitttiefe von 30 mm | 59 |
| Tabelle 13: Anzahl der durchgeführten Schnitte während der Hauptuntersuchungen..... | 59 |
| Tabelle 14: Wesentliche Kenndaten von Aluminium Al Mg Si _{0,5} F ₂₂ | 60 |
| Tabelle 15: Wesentliche Kenndaten der Hartmetallsorte HG40 (K40) | 60 |
| Tabelle 16: Wesentliche Kenndaten der verwendeten scharfen Schneidwerkzeuge | 61 |
| Tabelle 17: Mittlere Werte der ermittelten Gesteinseigenschaften..... | 63 |
| Tabelle 18: Technische Daten der Maschine HXS 1000-50 [7] | 64 |
| Tabelle 19: Kalibrierdaten für das Messsystem [7] | 66 |
| Tabelle 20: Abscheidegrad der Teilchen in Abhängigkeit von den Filterklassen [228]..... | 71 |
| Tabelle 21: Relative Änderung der Arbeitsgrößen für verschlissene Schneidwerkzeuge im Vergleich mit einem neuen Meißel..... | 86 |
| Tabelle 22: Gruppenweise Aufteilung der Arbeitsgrößen des Schneidvorgangs bezüglich des Meißelverschleißes..... | 87 |
| Tabelle 23: Optimaler Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels für den Block B24/FS | 88 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 24: Optimaler Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels für den Block B34/FS | 88 |
| Tabelle 25: Optimaler Rippenbruchfaktor bei verschiedenen Verschleißzuständen des Meißels für den Block B22/GS..... | 88 |
| Tabelle 26: Festgelegte Anordnungen der Meißel für die Berechnung | 89 |
| Tabelle 27: Werte der spezifischen Energie für die Berechnung bei verschiedenen Meißelanordnungen und Verschleißzuständen | 90 |
| Tabelle 28: Energieaufwand bei der Gesteinszerstörung für die Standzeit des Meißels..... | 92 |
| Tabelle 29: Energieeinsparung im Vergleich mit der Anordnung 1 | 92 |
| Tabelle 30: Relative Änderung der Arbeitsgrößen für Schneidwerkzeuge mit größerem Keilwinkel im Vergleich mit einem Keilwinkel von 70° [122] | 93 |
| Tabelle 31: Energieaufwand bei der Gesteinszerstörung für die Standzeit des Meißels..... | 94 |
| Tabelle 32: Energieeinsparung im Vergleich mit der Position 1 | 94 |
| Tabelle 33: Ursprüngliche Angaben des Walzenmodells | 99 |
| Tabelle 34: Neue Angaben des Walzenmodells bei verschiedenen Verschiebungen des Rippenbruchfaktors..... | 100 |

Symbolverzeichnis

| | | |
|---------------|--|---|
| α_{sp} | Spanwinkel | |
| α_k | Keilwinkel | |
| α_{fr} | Freiwinkel | |
| α_{an} | Anstellwinkel | |
| α_{dr} | Drehwinkel | |
| F_s | Schnittwiderstand | [N] |
| F_{an} | Andruckkraft | [N] |
| F_{st} | Seitenkraft | [N] |
| F_{sr} | Schneidreibung | [N] |
| F_{sb} | erforderliche Kraft für die Spanbildung | [N] |
| μ | Reibungskoeffizient | |
| Q_{sb} | Spanbildungsenergie | [kWh/m ³] |
| Q_{sr} | Reibungsenergie | [kWh/m ³] |
| L_s | Schneidlänge | [m] |
| V_{hw} | Volumen des gewonnenen Gesteins | [cm ³] bzw. [m ³] |
| W_{sp}^{sb} | spezifische Spanbildungsenergie | [kWh/m ³] |
| W_{sp}^{sr} | spezifische Reibungsenergie | [kWh/m ³] |
| W_{sp} | spezifischer Energieaufwand | [kWh/m ³] |
| h_s | Schnitttiefe | [mm] |
| a_s | Schnittlinienabstand | [mm] |
| k | Rippenbruchfaktor | |
| M_V | Meißelverbrauch | |
| A_M | Anzahl der gewechselten Schneidwerkzeuge | |

| | | |
|---------------------|---|-----------------------|
| F_v | Verschleißkoeffizient nach Schimazek | [N/mm] |
| σ_D | Druckfestigkeit | [MPa] |
| σ_Z | Spaltzugfestigkeit | [MPa] |
| σ_D/σ_Z | Sprödigkeitskennziffer | |
| w_{st} | Massenanteil des Staubes | [mg/kg] |
| m_{st} | gesamte Staubmasse | [g] |
| M_{hw} | Masse des gewonnenen Gesteins | [kg] bzw. [t] |
| Q_s^z | der gesamte Energieaufwand zur Gesteinszerstörung für die Standzeit des Meißels | [kWh] |
| W_{sp}^{mit} | mittlere spezifische Energie für die Standzeit des Meißels | [kWh/m ³] |
| T | Standzeit des Meißels | [h] |
| P_h | Löseleistung eines Meißels | [m ³ /h] |
| W_{sp}^i | spezifische Energie bei bestimmtem Verschleißzustand | [kWh/m ³] |
| T_i | Arbeitszeit des Meißels bestimmten Verschleißzustandes | [h] |
| n | Anzahl betrachteter Verschleißzustände | |
| A_{QZ} | Quarzgehalt (nach Modalanalyse) | [%] |
| d_{QZ} | mittlerer Quarzkorndurchmesser | [mm] |
| k | Konstante, in der Meißelgeometrie und kritische Temperatur des Hartmetalls enthalten sind | |
| v_{krit} | kritischen Schnittgeschwindigkeit | [m/s] |
| I_{50} | Point-Load-Index | [MPa] |

Anhangsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Anhang 1: Stand des Wissens zu experimentellen Untersuchungen mit anderen Schneidwerkzeugen..... | 134 |
| Anhang 2: Erforderliche Stückigkeit des gewonnenen Gesteins für weitere Verarbeitung [149, 181, 214, 225, 226, 230, 232, 233] | 151 |
| Anhang 3: Werte der Druck- und Spaltzugfestigkeit für den Block B24/FS..... | 152 |
| Anhang 4: Werte der Druck- und Spaltzugfestigkeit für den Block B34/FS..... | 153 |
| Anhang 5: Werte der Druck- und Spaltzugfestigkeit für den Block B22/GS | 154 |
| Anhang 6: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem neuen Meißel für den Block B24/FS..... | 155 |
| Anhang 7: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V40 für den Block B24/FS | 157 |
| Anhang 8: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem neuen Meißel für den Block B34/FS..... | 159 |
| Anhang 9: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V40 für den Block B34/FS | 161 |
| Anhang 10: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V73 für den Block B34/FS | 163 |
| Anhang 11: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem neuen Meißel für den Block B22/GS | 165 |
| Anhang 12: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V73 für den Block B22/GS..... | 167 |
| Anhang 13: Ausbruchweite der Schnitte und Rippenbruchfaktor in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß beim Block B24/FS | 169 |
| Anhang 14: Ausbruchweite der Schnitte und Rippenbruchfaktor in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß beim Block B34/FS | 170 |
| Anhang 15: Ausbruchweite der Schnitte und Rippenbruchfaktor in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß beim Block B22/GS | 171 |
| Anhang 16: Technische Angaben der Filtereinrichtung | 172 |
| Anhang 17: Prüfungen der Funktionalität der Filtereinrichtung..... | 173 |
| Anhang 18: Eingabemasken der Datenbank | 174 |
| Anhang 19: Voruntersuchungen mit den Aluminiummeißeln..... | 175 |
| Anhang 20: Hauptuntersuchungen mit dem neuen Meißel und dem Block B24/FS | 176 |
| Anhang 21: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel V40 und dem Block B24/FS..... | 177 |
| Anhang 22: Fein- und Grobkornanteils bei den Hauptuntersuchungen mit dem Block B24/FS | 178 |
| Anhang 23: Hauptuntersuchungen mit dem neuen Meißel und dem Block B34/FS | 179 |
| Anhang 24: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel V40 und dem Block B34/FS..... | 180 |

| | |
|--|-----|
| Anhang 25: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel B73 und dem Block B34/FS | 181 |
| Anhang 26: Fein- und Grobkornanteils bei den Hauptuntersuchungen mit dem Block B34/FS | 182 |
| Anhang 27: Hauptuntersuchungen mit dem neuem Meißel und dem Block B22/GS | 183 |
| Anhang 28: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel V73 und dem Block B22/GS | 184 |
| Anhang 29: Fein- und Grobkornanteils bei den Hauptuntersuchungen mit dem Block B22/GS | 185 |
| Anhang 30: Relevante Arbeitsgrößen in Abhängigkeit von der spezifischen Energie bei verschiedenen Verschleißzuständen für den Block B24/FS | 186 |
| Anhang 31: Relevante Arbeitsgrößen in Abhängigkeit von der spezifischen Energie bei verschiedenen Verschleißzuständen für den Block B22/GS | 187 |

Anhang

Überblick zur deutsch- und englischsprachigen Literatur

Diskenneißel

Durch die durchgeführten Untersuchungen mit Schneid- und Rollenbohrwerkzeugen im Steinkohlebergbau und im Labor entwickelten *J. Schimazek und H. Knatz* [176, 177, 178] einen Verschleißkoeffizient – F_V für klastische Gesteine (Schieferton, Sandstein und Konglomerate). Der Koeffizient wird als Produkt aus dem Gehalt und der mittleren Korngröße der abrasiven Minerale (Quarz) und der Zugfestigkeit ermittelt (Formel 7).

$$F_V = \frac{A_{QZ} \cdot d_{QZ} \cdot \sigma_Z}{100} \quad [\text{N/mm}] \quad (7)$$

mit: A_{QZ} Quarzgehalt (nach Modalanalyse) [%]

d_{QZ} mittlerer Quarzkorndurchmesser [mm]

σ_Z Gesteinszugfestigkeit [MPa]

Im Folgenden kann der Schimazek-Index bei der Berechnung der kritischen Schnittgeschwindigkeit (v_{Krit}), bei deren Überschreiten der Verschleiß überproportional ansteigt, angewendet werden (Formel 8).

$$v_{Krit} = k \cdot e^{-F_V} \quad [\text{m/s}] \quad (8)$$

mit: k Konstante, in der Meißelgeometrie und kritische Temperatur des Hartmetalls enthalten sind

Der Verschleißkoeffizient F_V wurde später von *G. Ewendt* [51] mit Hilfe von Minidisk-Modellversuchen und Schneidversuchen einer Überprüfung unterzogen. Die Modifizierung fußte auf Ergebnissen anderer Wissenschaftler, die eine unterproportionale Zunahme des Koeffizienten mit wachsender Korngröße feststellten. Die Berechnung des modifizierten Schimazek-Index - F_V^{Mod} erfolgt nach Formel 9.

$$F_V^{Mod} = F_{\ddot{A}Qu} \cdot I_{50} \cdot \sqrt{d_{Qz} > 1\text{mm}} \quad [\text{N/mm}^{1,5}] \quad (9)$$

mit: $F_{\ddot{A}Qu}$ Äquivalenter Quarzgehalt [%]

I_{50} Point-Load-Index [MPa]

In der Dissertation von *G. Ewendt* [51] wurden ebenfalls experimentell die Kraft-Verschleiß-Beziehungen bei verschiedenen Gesteinen, Schnittlinienabstände und -tiefen ermittelt. Die gewonnenen Ergebnisse zeigten die Zunahme der Meißelabstumpfung (Verschleißrate) bei der Vergrößerung der Schnitttiefe und des -abstandes (Abb. 87).

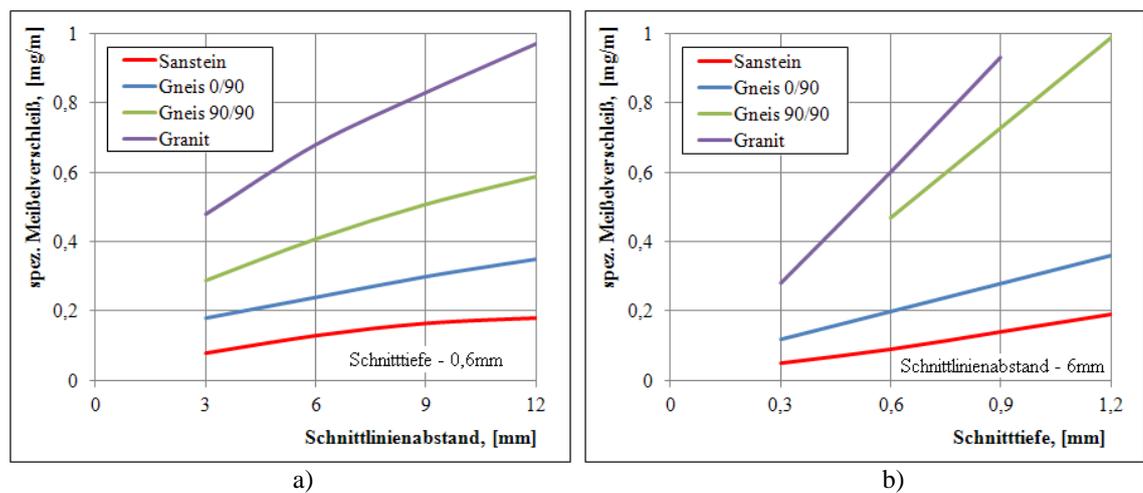


Abb. 87: Änderung des Meißelverschleißes [51]
 a) in Abhängigkeit vom Schnittlinienabstand; b) in Abhängigkeit von der Schnitttiefe

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung und Prognose des Werkzeugverschleißes sind die Arbeiten von *R.J. Plinninger und K. Thuro* [201, 203, 204, 202, 147].

In seiner Habilitationsschrift untersuchte und beschrieb *K. Thuro* [205] den Einfluss der felsmechanischen, mineralogischen und geologischen Faktoren auf die Prozesse bei der Gebirgslösung im Tunnelbau. Die Auswirkung des Trennflächengefüges und dessen Orientierung (Anisotropie) bilden einen Schwerpunkt der Arbeit.

Um diesen Einfluss beim Vortrieb mit Teil- und Tunnelbohrmaschinen zu ermitteln, wurden Dokumentationen zahlreicher Projekte ausgewertet. Es wurde nachgewiesen, dass die Fräs- und Schneidleistung bei senkrechter Schieferung am höchsten sind und mit schräg zur Vortriebsrichtung verlaufender Schieferung deutlich bis auf etwa 55 bis 80 % absinken (Abb. 88).

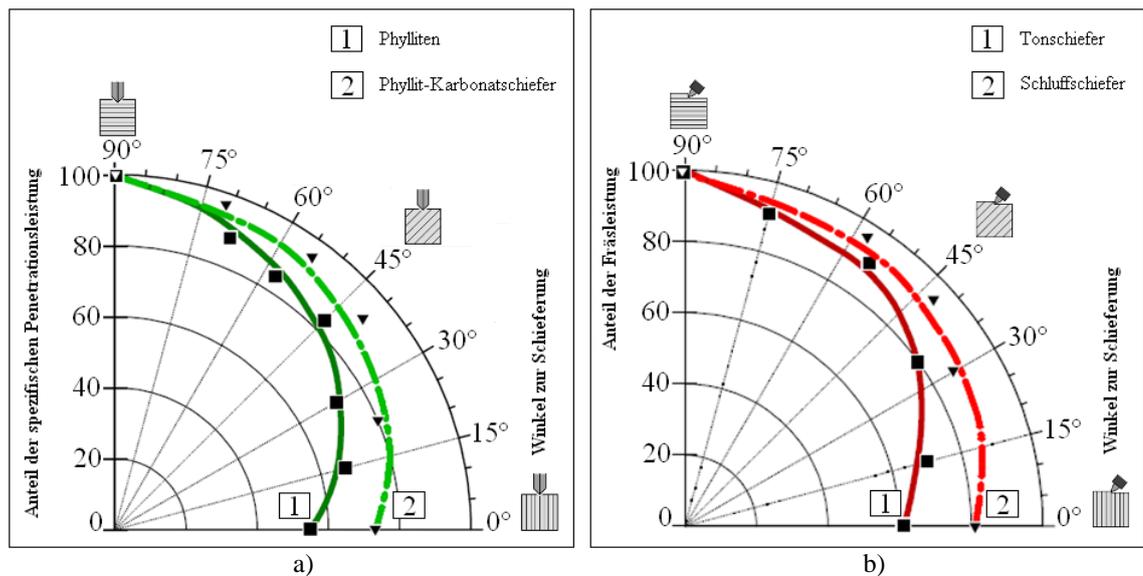


Abb. 88: Einfluss vom Winkel zur Schieferung [205]
a) auf die spezifische Penetrationsleistung in Phylliten und Phyllit-Karbonatschiefer;
b) auf die Fräsleistung für Ton –und Schluffschiefer.

Die Dissertation von *R.J. Plinninger* [148], in deren Rahmen insgesamt 16 Tunnel- und Stollenprojekte als Fallstudien herangezogen wurden, enthalten die Quantifizierung der Einflussfaktoren und die Klassifizierungssysteme des qualitativen (Werkzeugverschleißform) und quantitativen (Werkzeugverbrauch) Verschleißes für Stiftbohrköpfe und Rundschaftmeißel.

Ziel der Beiträge von *K. Gehring* [61, 63, 66] war die Erstellung einer Übersicht der Schneidparameter auf möglichem Einfluss und eines Prognosemodells für Penetration und Werkzeugverschleiß einer Tunnelbohrmaschine. Neben bekannten Einflussgrößen wurden auch bisher nicht betrachtete Parameter wie Steifigkeit des Bohrkopfes analysiert.

Ein Vergleich der ermittelten Korrelation zwischen dem Meißelverschleiß und dem Cerchar-Index zeigte einen Zusammenhang mit einem relativ großen Streubereich (Abb. 89). Es ist zwar eine deutliche Abhängigkeit erkennbar, die für die Werkzeugverbrauchsprognose verwendet werden kann [63]. Darüber hinaus steigt die Meißellebensdauer überproportional bei größer werdenden Durchmessern an (Abb. 90)

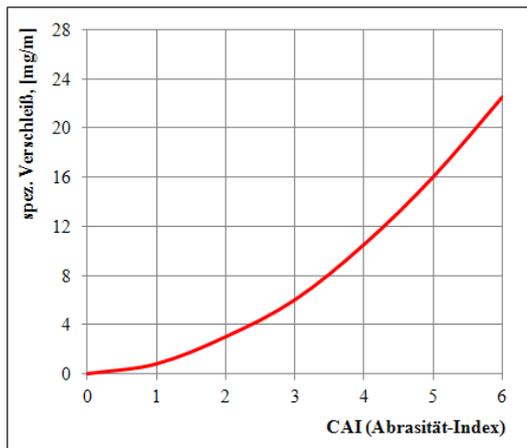


Abb. 89: Zusammenhang zwischen Schneidringverschleiß und Cerchar-Abrasivität-Index [63]

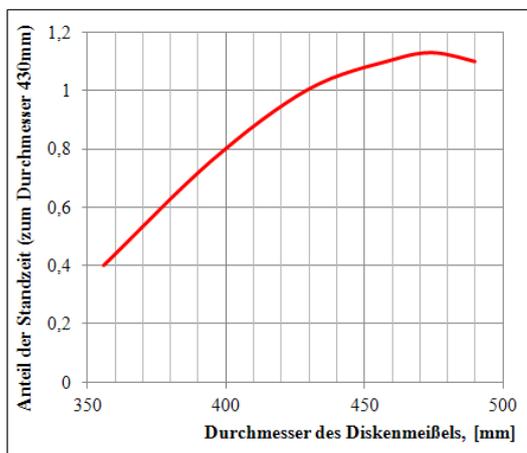


Abb. 90: Tendenz der Meißellebensdauer gegenüber dem Meißeldurchmesser [66]

Der Entwicklung der neuen Meißel und der Simulation der Gewinnungsvorgänge beim Abbau von festen Erdstoffen mit Continuous Surface Miner sind die Arbeiten der Autoren *G. Kunze*, *A. Ehler*, *B. Goericke*, *M. Belikow*, *K. Jacob* [44, 45, 67, 115, 116] gewidmet. Dabei wurden der Gewinnungsprozess mit Diskenmeißeln bei unterschiedlichen Schneidparametern untersucht, Vergleiche mit Rundschaftmeißeln in Energieaufwand, Verschleiß und Staubentwicklung angestellt, das Gestaltungsmodell für eine Gewinnungswalze mit kombinierter Meißelbestückung vorgestellt und beschrieben.

Weitere Untersuchungen zur Kraftermittlung wurden von *H.P. Sanio* [172, 173] vorgenommen, in denen er den Zusammenhang zwischen Normalkraft auf den Diskenmeißel und den Schneidparametern Spurabstand und Schnitttiefe beschrieb und ein mathematisches Modell zur Prognose der Schneidleistung von Werkzeugen im anisotropen Gestein entwickelte.

Im selben Forschungsgebiet beschäftigten sich später *T. Muro und K. Tsuchiya* [137], *R. Gertsch und L. Gertsch* [71] in ihren Beiträgen unter Berücksichtigung der Arbeitsweise des einzelnen Schneidwerkzeuges mit dem Einfluss der oben genannten Schneidparameter auf die dynamischen Größen und die Löseleistung.

G. Ewendt [51], *O. Dubugnon und W. Janach* [42] betrachteten den Einfluss des natürlichen Wassergehalts von Gesteinen und von Bergwasser auf die Löseleistung und Verschleißrate der Diskenmeißel. Der Hauptakzent wurde auf unterschiedliche und gegensätzliche Wirkeffekte des Wassers gelegt, wie „Kühlungseffekt“, „Schleifpasten-

Effekt“ und „Spülungseffekt“. Die Untersuchungen von *G.R. Lashkaripour* [121] über einen „Entfestigungseffekt“ (Sinken der Gesteinsfestigkeit) zeigten, dass der Wassergehalt einen wesentlichen Faktor darstellt.

Keil- und Flachmeißel

H. Muschelknaatz [138], *E. Rother* [165] und *J. Bocsanczy* [19] betrachteten mittels Gips- und Betonblöcken den Meißelverschleiß nicht als Frei- bzw. Spanflächenverschleiß, sondern den gesamten Verschleiß der Spitze. Ergebnisse wurden für verschiedene Keil-, Frei- und Spanwinkel eines Meißels ermittelt. Derartige Versuche führten auch *P. Kenny und S.N. Johnson* [96, 97] durch, die Meißel aus verschiedenen Werkstoffen: Werkzeugstahl, Stellite und Hartmetall einsetzen.

Es wurde zum Beispiel erwiesen, dass die beste funktionale Abhängigkeit zwischen dem Verschleißprofil und der Schneidlänge ein linearer Zusammenhang ist (Abb. 91-a, Abb. 91-b).

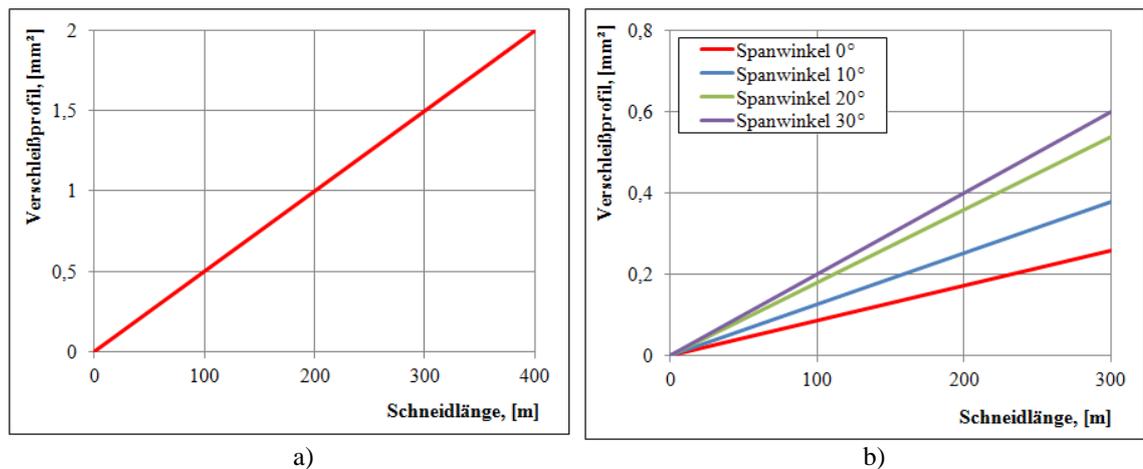


Abb. 91: Verschleißprofil in Abhängigkeit von der Schneidlänge
a) nach Muschelknaatz [138]; b) nach Rother [165]

F.C. Appl [6] untersuchte die Verwendbarkeit der PKD-Platten auf den Flachmeißel. Aus den zahlreichen Schneidversuchen mit den Schneidwerkzeugen verschiedener Geometrie wurden Temperatur- und Kraftentwicklung über die Zeit, der Einfluss des Abnutzungsgrads des Meißels auf die Temperatur und die Kräfte sowie die Abhängigkeit des Meißelverschleißes vom Volumen des gelösten Gesteins und der Schnittgeschwindigkeit bestimmt.

T. Krämer & W. Schröer [113] verwendeten zwei verschiedene Versuchsstände in ihren Untersuchungen mit Flachmeißeln. An der einen Versuchsanlage wurden das Löseverhalten von einzelnen Schneidwerkzeugen sowie die Gestaltung einer optimalen Meißelgruppe (Schnittlinienabstand) ermittelt. An der anderen wurden die Untersuchungen des Verschleißverhaltens und der Kräfte an den Meißeln vorgenommen, die ergaben, dass die Spitzengeometrie des Flachmeißels (Breite, Winkel) einen erheblichen Einfluss ausübt (Abb. 92). Hierbei betragen die Schnittgeschwindigkeit und -tiefe 1,3 m/s, 40 mm bzw. 1 m/s, 23 mm.

Mit dem gleichen Forschungsbereich beschäftigte sich S.S. Nekrassow [139, 140].

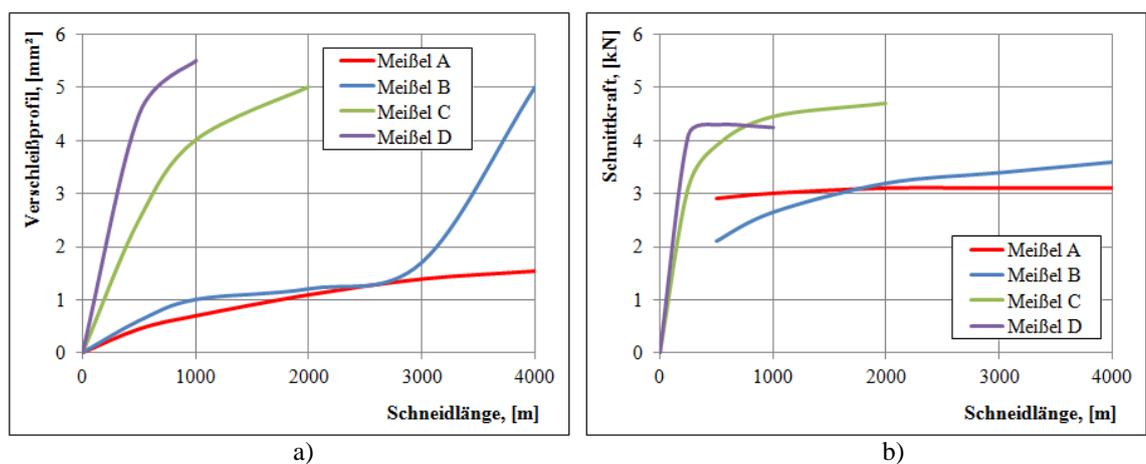


Abb. 92: Einfluss vom Spanweg bei verschiedenen Meißeln [113]

a) auf Verschleißprofil; b) auf Schnittkraft.

B. Sann [174] beschrieb in seiner Arbeit mathematisch die Schnitt- und Andruckkräfte und ihre Beeinflussung durch die Meißelgeometrie, die Meißelbreite, den Verschleiß usw.

I. Evans [48], M.P. Evenden und J.S. Edwards [50] berichteten in ihren Veröffentlichungen über Versuche, bei denen Kohle mit Keilmeißeln zerspant wurde, um das Verhältnis Schnittlinienabstand-Schnitttiefe für die effektive Gewinnung zu bestimmen und ebenfalls den Vergleich mit Rundschauftmeißeln anzustellen.

Die Dissertationen von H.J.R. Deketh und P.N. Verhoef [32, 213] widmete sich der Betrachtung des Phänomens „Verschleiß“ bei Meißeln für Unterwasserfräsen. Durch ihre Untersuchungen mit abrasiven Naturgesteinen wie Sandstein und Kalkstein wurde die Auswirkung der Schnittgeschwindigkeit und -tiefe auf Schnittkraft, Meißelverschleiß und spezifische Energie ermittelt.

Der Gegenstand einiger Untersuchungen von *F.F. Roxborough* [168] war die Auswirkung der Gesteinseigenschaften u.a. Druckfestigkeit und Quarzgehalt auf die spezifische Energie und hauptsächlich die Abnutzung der Schneidwerkzeuge.

Zu den Untersuchungen der Temperaturentwicklung am Meißel und dadurch des Verschleißes von *P.M. Cools* [31] wurden Sandstein (19,5 MPa) und Kalkstein (25,2 MPa) verwendet. Die Schneidlänge und Schnittgeschwindigkeit betragen dabei 2,5 m bzw. 2,5 m/s entsprechend. Die Versuche zeigten, dass der abrasive Verschleiß der Schneidwerkzeuge vorwiegend bei der Zerstörung von Sandstein eintritt, was auf dessen großen Quarzgehalt zurückzuführen ist.

In ihrer Arbeit analysierten *O.G. Chekina und I.G. Goryacheva* [28] die Verschleißerscheinungen vom Standpunkt der Physik und Mathematik aus und schlugen ein Model vor, welches den Einfluss des nach der Form unterschiedlichen Meißelverschleißes auf den Schneidvorgang zu berücksichtigen und zu prognostizieren ermöglicht.

Dach- und Kerbmeißel

V. Langlotz [118, 119] betrachtete in seinen Experimenten mit Salzgestein die Auswirkung nicht nur verschiedener Meißeltypen (Dach- und Flachmeißel) und ihrer Formgebung, sondern auch der Schnittgeschwindigkeit, des Span –und Freiwinkels, der Schnitttiefe und des Schnittbahnabstandes auf Schnittkraft und spezifischen Energieaufwand. Außerdem hat er als erster die Arbeitsweise der Schneidwerkzeuge bei „gestufter“ Anordnung (vertiefende Schnitte) untersucht.

Später hat *J. Wilhelm* [222], aufbauend auf den Erfahrungen und Ergebnissen von *V. Langlotz*, ergänzend die Untersuchungen mit mehreren Salzarten durchgeführt, deren zusätzliches Ziel es war, das Verschleiß- und Standzeitverhalten in Abhängigkeit von Schnitttiefe und Schnittgeschwindigkeit zu ermitteln.

Die erhaltenen Ergebnisse zeigten, dass die spezifische Gewinnungsenergie, die bei stumpfen Meißeln um 30% größer ist, mit der Schnitttiefe hyperbolisch fällt (Abb. 93). Durch die Verschleißmessungen an den Meißel ergab sich, dass neben dem Einfluss der Schneidlänge deutlich die Auswirkung unterschiedlicher Schnittgeschwindigkeiten auf den Freiflächenverschleiß erkennbar ist (Abb. 94).

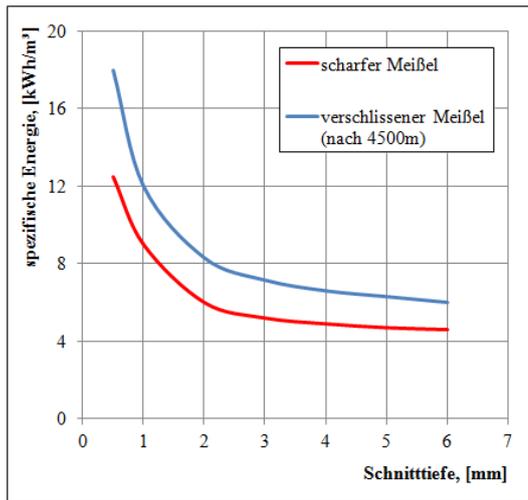


Abb. 93: Spezifische Energie in Abhängigkeit von der Schnitttiefe [222]

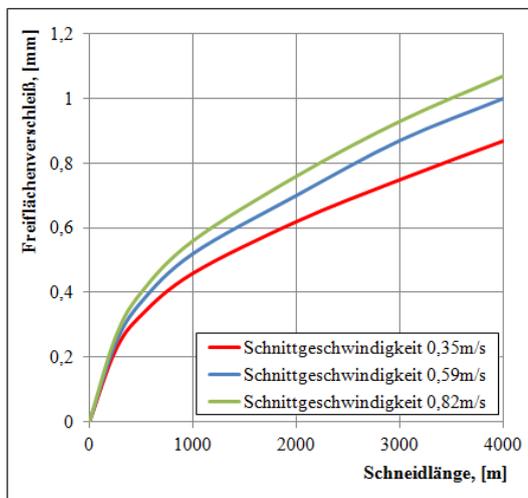
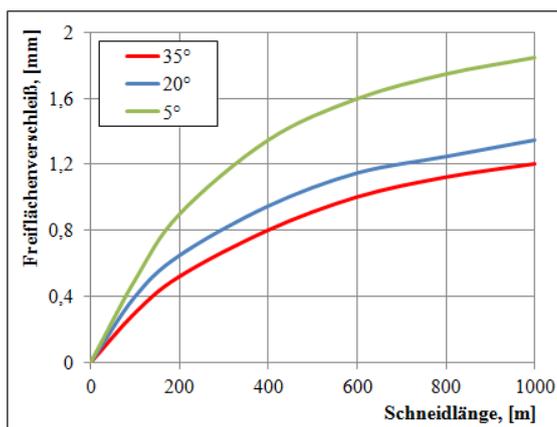
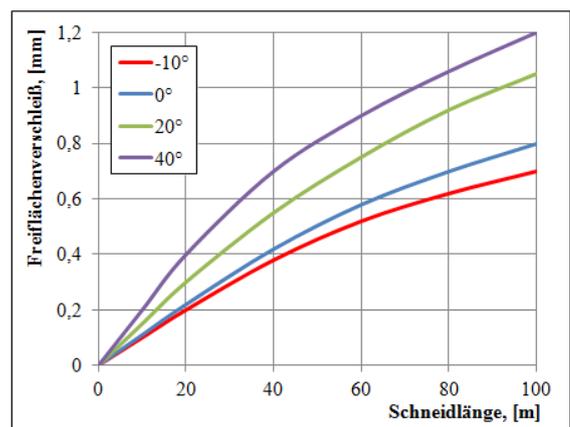


Abb. 94: Freiflächenverschleiß in Abhängigkeit von der Schneidlänge [222]



a)



b)

Abb. 95: Abhängigkeit des Freiflächenverschleißes von der Schneidlänge [76]
a) für unterschiedliche Freiwinkel; b) für unterschiedliche Spanwinkel

M. Gregor [75, 76] veröffentlichte Ergebnisse umfangreicher Versuche auf dem Gebiet der Gesteinszerspannung mit Kerbmeißeln. In seiner Dissertation und in weiteren Arbeiten ist der Einfluss des Frei-, Span- und Dachwinkels, Schnittlinienabstandes und der Schneidlänge auf Schnitt- und Andruckkraft und hauptsächlich auf den mit Fotoaufnahme bestimmten Meißelverschleiß beschrieben. Er betrachtete hierbei nur den freiflächenseitigen Abtrieb, den er als Freiflächenverschleiß bezeichnet. Laut dem Autor schritt der Verschleiß beim Schneidwerkzeug schnell fort, wenn der Freiwinkel sinkt oder der Spanwinkel größer wird (Abb. 95).

Die Versuche wurden mit einem verkleinerten Hobelmeißel an Blöcken verschiedener Kohlenarten (10, 20 und 40 MPa) durchgeführt.

Die Forschungsarbeiten von *K.G. Hurt und K.M. MacAndrew* [89], *S. Rogers und B. Roberts* [163] sind ebenfalls dem Bildungsmechanismus der Verschleißerscheinung und der Bestimmung des Meißelverbrauchs und der Verschleißrate gewidmet.

Durch die auf der Universität Newcastle vollzogenen Experimente von *O.Z. Hekimoglu* [80] wurde festgestellt, dass die Schnitt- und Andruckkraft sowie der spezifische Energiebedarf, deren Werte sich anfänglich geringfügig unterscheiden, bei einem Drehwinkel ab 10° stark steigen (Abb. 96). Bei den Versuchen wurde ein nicht abrasiver Kalkstein mit einer Druckfestigkeit von 35 MPa eingesetzt.

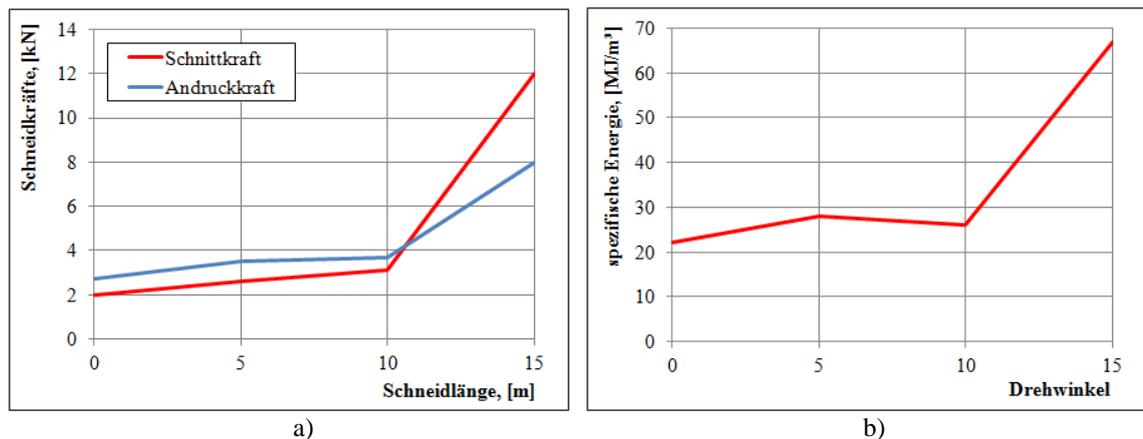


Abb. 96: Einfluss des Drehwinkels bei der Gesteinszerstörung [80]
a) auf die Schnitt- und Andruckkraft; b) auf die spezifische Energie

In der Arbeit von *N. Gunes Yilmaz und M. Yurdakul* [78] wurde mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse und durchgeführten Versuchen ein Prognosemodell der Schnittkraft für Kerbmeißel in sehr festen Gesteinen erarbeitet.

Im Laufe der Zusammenarbeit mit der Firma Bucyrus wurden von *C. Drebenstedt, W. Gaßner und M.A. Vorona* [36, 217] die vergleichenden Untersuchungen eines Kerbmeißels mit den Flach- und Rundschaftmeißeln vorgenommen, um anhand verschiedenartiger Schneidwerkzeuge die Auswirkung der Meißelform und -geometrie bei verschiedenen Anstellwinkeln auf die Schneidkräfte und spezifische Energie bei der Gewinnung von Kalisalzen herauszuarbeiten.

Gemäß den erhaltenen Versuchsergebnissen nimmt die Schnittkraft bei Kerb- und Flachmeißeln im Bereich des Anstellwinkels von 45° bis 53° im Gegensatz zum Rundschaftmeißel zu. Die spezifische Energie steigt mit dem wachsenden Anstellwinkel bei dem Flachmeißel. Hierbei ist der absolut geringste Energiebedarf zur Gesteinszerstörung beim Einsatz des Kerbmeißels (Abb. 97).

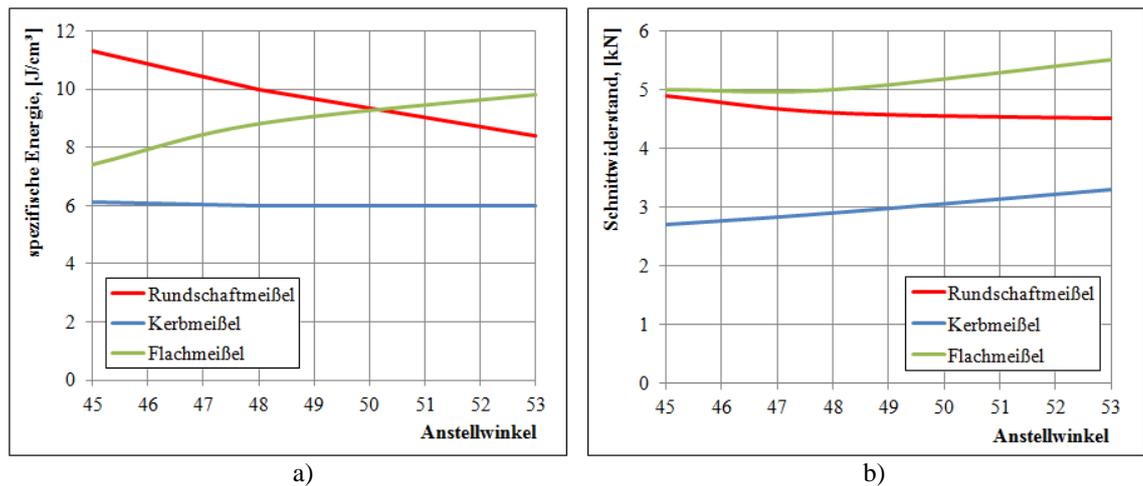


Abb. 97: Einfluss des Anstellwinkels bei verschiedenen Schneidwerkzeugen [217]
a) auf die spezifische Energie; b) auf die Schnittkraft

Überblick zur russischsprachigen Literatur

Diskmeißel

Wie für Keilmeißel legte *U.I. Protassow* [156] die physisch-mathematische Beschreibung des Schneidprozesses zur Berechnung der Parameter bei der Gesteinszerstörung mit den Diskmeißeln vor und zwar für Schnittkraft, Volumen des gewonnenen Materials, spezifischer Energiebedarf, Werkzeugabrieb, Volumen des entstehenden Staubs usw.

Die Begründung der Wahl von Diskmeißeln für Vortriebsmaschinen unter Beachtung der Auswirkung der geometrischen Parameter und der Betriebsart auf die Kräfte und den Energieaufwand war der Gegenstand der Untersuchungen von *A.A. Horeschok und W.W. Kusnecow* [86, 87, 88], *N.G. Boiko und O.W. Fedorow* [22]. Außerdem betrachteten *N.G. Boiko und O.W. Fedorow* [23] die Verschleißerscheinungen bei den Diskmeißeln im Vergleich mit traditionellen Schneidwerkzeugen.

Den Untersuchungen im Forschungsgebiet der Ermittlung der dynamischen Größen sind die Arbeiten von *L.I. Baron und L.B. Glatman* [12], *A.B. Logov und B.L. Gerike* [127] *S.A. Poluyanskii und U.N. Ignatowich* [151] gewidmet.

Die durchgeführten Schneidversuche von *G.B. Kibardina* [103], *L.I. Baron und L.B. Glatman* [12] zeigten, dass die Änderung der Verschleißwerte wie Hartmetallverlust und Radialverschleiß direkt proportional zur Schneidlänge ist (Abb. 98).

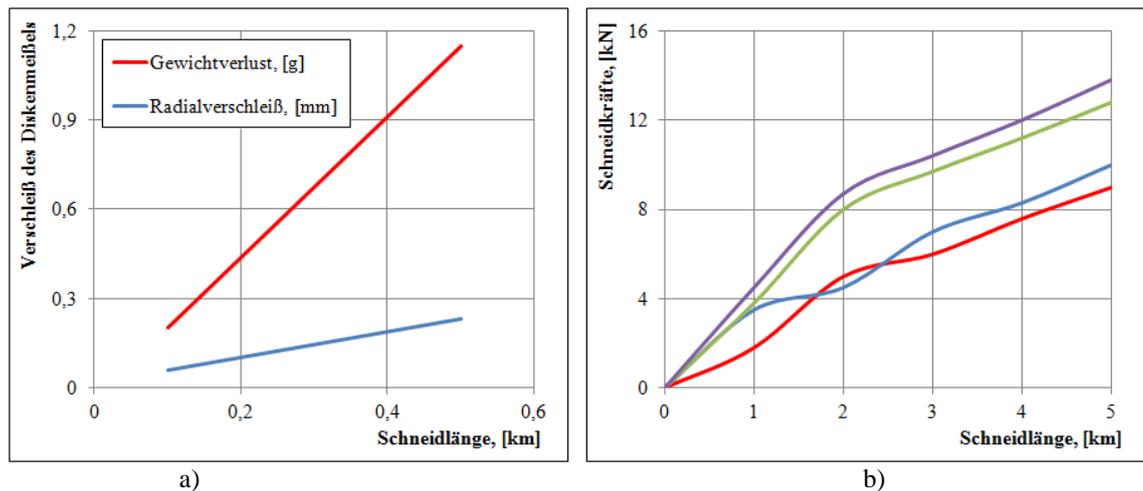


Abb. 98: Hartmetallverlust und Radialverschleiß in Abhängigkeit von der Schneidlänge
a) nach G.B. Kibardina [12] b) bei verschiedenen Hartmetallen nach L.I. Baron [103]

Keil- und Flachmeißel

Die theoretischen Grundlagen des Schneidprozesses und der mathematischen Beschreibung der Schneidgrößen Schnittkraft, Schnittspurvolumen, spezifische Energie, Verschleißrate des Meißel und entstehendes Staubvolumen von den eingestellten Schneid- und Werkzeugparametern wurden im Buch von *U.I. Protassow* [156] dargestellt.

S.N. Alechowa [2, 3], *W.W. Gabow* [57, 58], *A.F. Kichigin und S.N. Ignatow* [104], *W.N. Getopanow* [72, 73], *B.M. Loguncow* [128], *M.M. Protodyakonow* [157] beschrieben in ihren Beiträgen die Untersuchungen des Einflusses der Meißelparameter wie Frei-, Span-, Anstellwinkel und Spitzenbreite auf die dynamischen Größen des Schneidprozesses bei unterschiedlichsten Proben (Sandstein, Schiefer, Kalkstein, Kohle usw.).

Die Autoren arbeiteten heraus, dass eine Verringerung der Schnittkraft beim Schneiden mit einem Freiwinkel von $2,5^\circ$ bis $7,5^\circ$ eintritt, die ab diesem Bereich stabil bleibt (Abb. 99). Außerdem wurden die charakteristischen Funktionen für die spezifische Energie bei der Veränderung der Spitzenbreite ermittelt (Abb. 100).

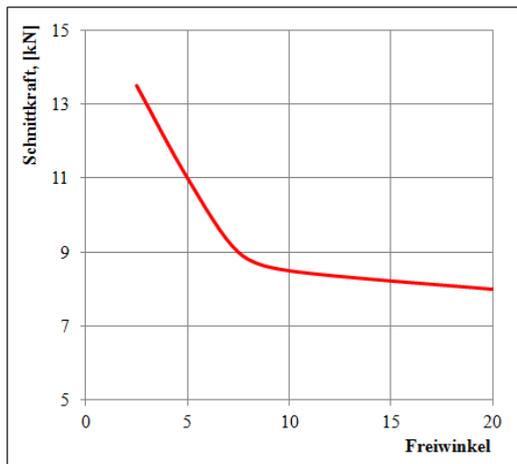


Abb. 99: Abhängigkeit der Schnittkraft vom Freiwinkel [72]

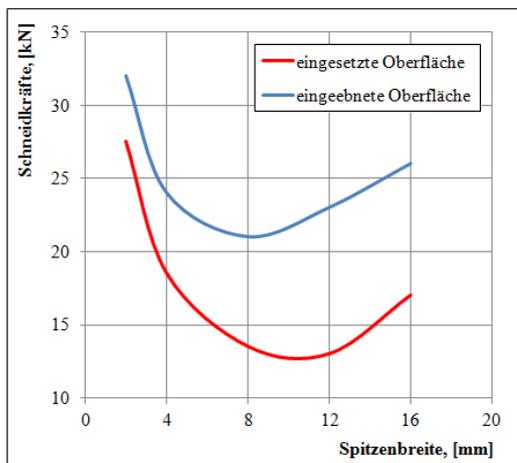


Abb. 100: Abhängigkeit der spezifischen Energie von der Spitzenbreite [2]

Die Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Schnittkraft oder spezifischer Energie und Schnittlinienabstand wurde von *M.M. Protodyakonow* [157], *B.M. Loguncow* [128], *L.I Kantowich* [92], *U.A. Kostandow* [107, 108] sowie *W.N. Getopanow* [72, 73] vorgenommen. Hierbei betrachtete *U.A. Kostandow* in seinen Arbeiten den Energiebedarf von einem einzelnen Meißel und von einer Meißelgruppe bei geringer Schnitttiefe (bis zu 1,5 mm) und verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten.

Der Gegenstand der Forschungsvorhaben von *A.F. Kichigin und S.N. Ignatow* [104] war ebenfalls die Bestimmung der Seitenkraft und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins bei unterschiedlichsten Schneidparametern teilblockierter Schnitte.

Die Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Schnittkraft oder spezifischer Energie und Schnittlinienabstand wurde von *W.N. Getopanow* [72, 73], *B.M. Loguncow* [128], *L.I Kantowich* [92], *U.A. Kostandow* [107, 108], *M.M. Protodyakonow* [157] vorgenommen. Hierbei betrachtete *U.A. Kostandow* in seinen Arbeiten den Energiebedarf von einem einzelnen Meißel und von einer Meißelgruppe bei geringer Schnitttiefe (bis zu 1,0-1,5 mm) und verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten.

Der Gegenstand der Forschungsvorhaben von *A.F. Kichigin und S.N. Ignatow* [104] war ebenfalls die Bestimmung der Seitenkraft und Stückigkeit des gewonnenen Gesteins bei unterschiedlichsten Parametern teilblockierter Schnitte.

Wie festgestellt wurde, nehmen die Seitenkraft und der Prozentanteil des Grobkorns im gelösten Gestein mit der Vergrößerung der Schnitttiefe zu. Hierbei entspricht das optimale Schnittlinienabstand-Schnitttiefe-Verhältnis 1 bis 2 zum Erhalt eines hohen Anteils an grober Körnung (Abb. 101).

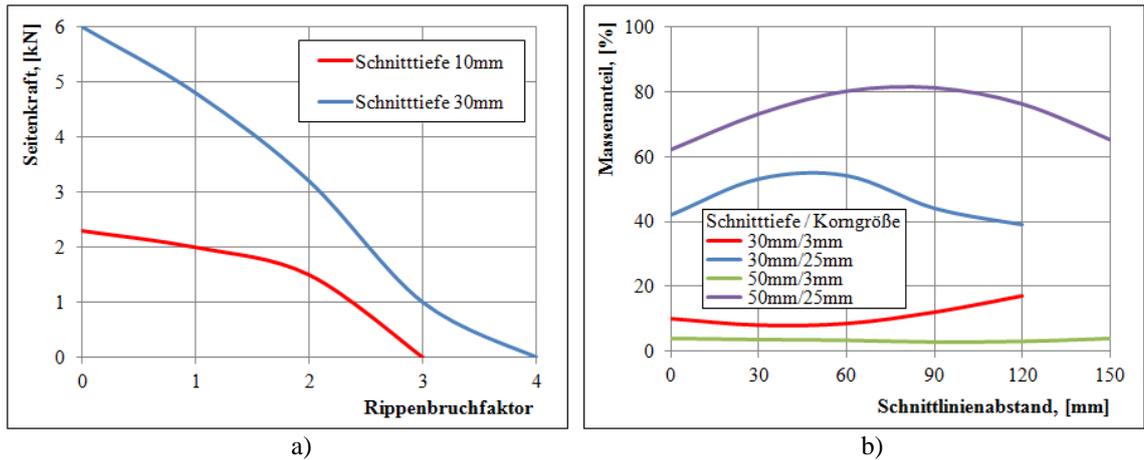


Abb. 101: Auswirkung von Schnittlinienabstand und Schnitttiefe [104]
a) auf Seitenkraft; b) auf die Korngrößenanteil

L.I. Baron und L.B. Glatman [11, 12], *W.A. Romanow und I.G. Schmakin* [164] untersuchten die Änderung der wirkenden Kräfte in Abhängigkeit von der Schneidlänge und dem Freiflächenverschleiß des Schneidwerkzeuges an mehreren Gesteinsproben. Für die beiden Zusammenhänge ist nicht nur ein ständiger Anstieg der Schneidkräfte charakteristisch sondern auch, dass die Andruckkraft immer größer als die Schnittkraft ist (Abb. 102).

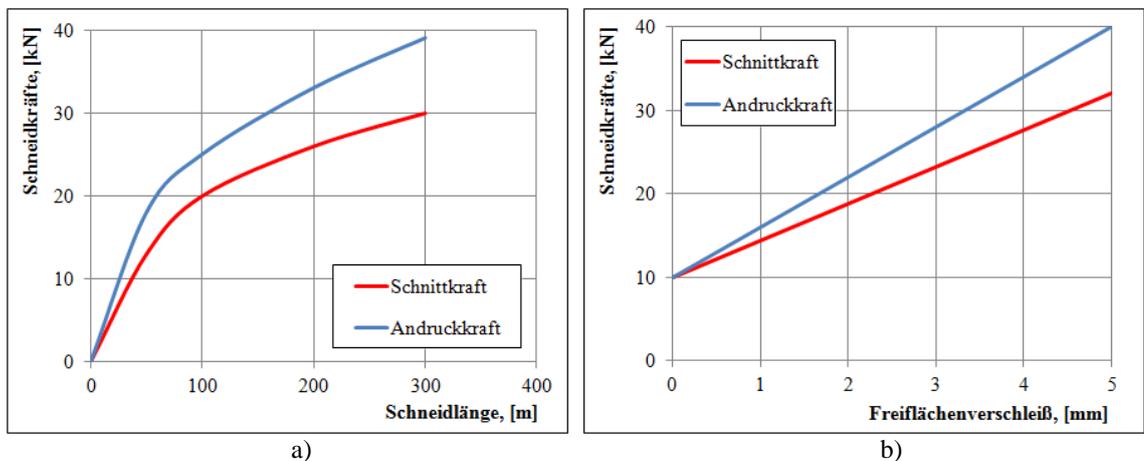


Abb. 102: Änderung der Schnitt- und Andruckkraft bei der Zerstörung vom Sandstein [12]
a) vom Spanweg; b) vom Freiflächenverschleiß

Zahlreiche Arbeiten von sowjetischen und russischen Wissenschaftlern sind der Ermittlung der Verschleißraten von Schneidwerkzeugen gewidmet.

S.N. Skorobogatow [192], *R.W. Akopow* [5], *L.I. Baron und L.B. Glatman* [11] fanden heraus, dass die Änderung der Schnitttiefe im Gegensatz zum Gesteinstyp keinen Einfluss auf die Verschleißintensität hat (Abb. 103).

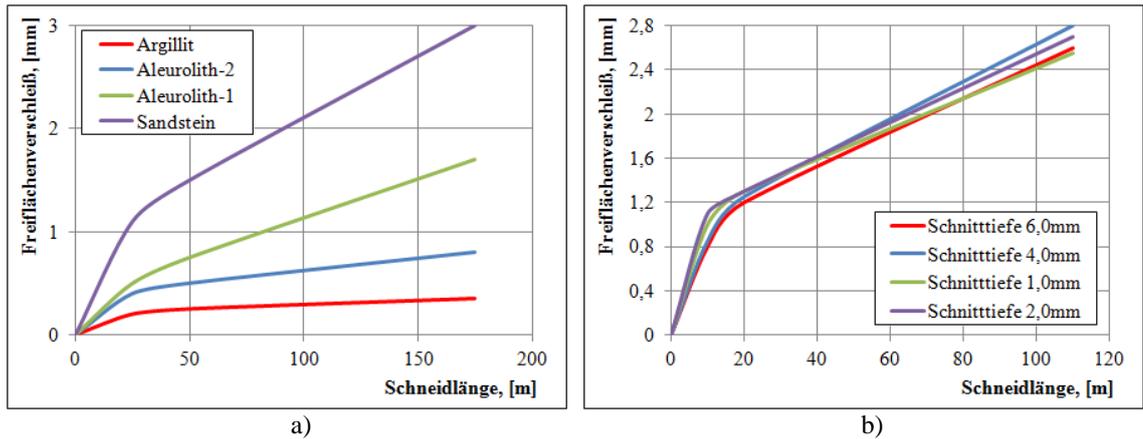


Abb. 103: Freiflächenverschleiß in Abhängigkeit von der Schneidlänge
 a) für mehreren Gesteine [192]; b) bei verschiedenen Schnitttiefen [191]

Von besonderer Bedeutung für *S.N. Skorobogatow* [192], *R.W. Akopow* [5] hatten die Versuche zur Bestimmung der Änderung des Verschleißes der Arbeitsflächen von Frei- und Spanwinkel. Es wurde festgestellt, dass sich mit zunehmendem Freiwinkel der Freiflächenverschleiß wesentlich verringert (Abb. 104).

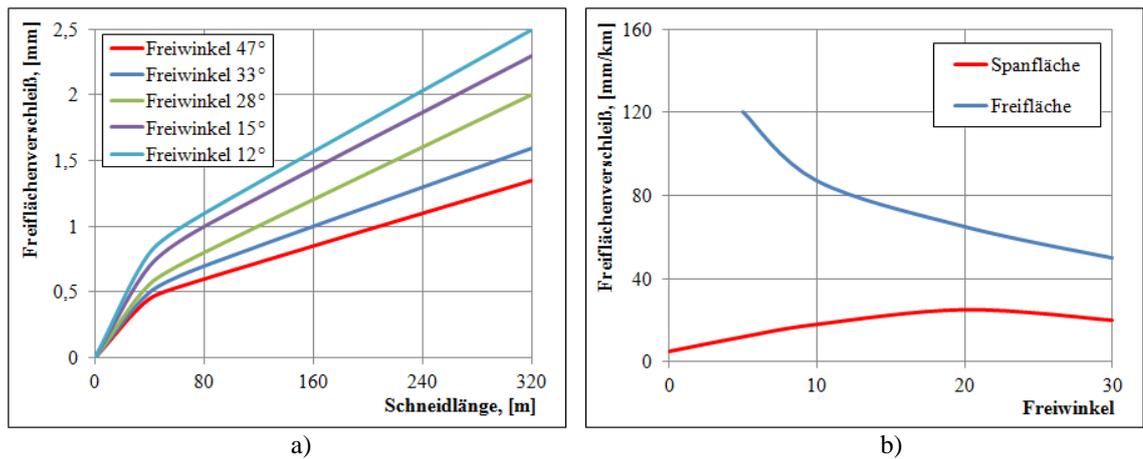


Abb. 104: Auswirkung vom Freiwinkel [192]
 a) auf Freiflächenverschleiß bei konstantem Keilwinkel 75; b) auf Frei- und Spanflächenverschleiß

Die ersten Arbeiten, in denen der Zusammenhang zwischen dem Flächenverschleiß und der Schnittgeschwindigkeit analysiert wurde, wurden von *G.G. Karukow* [93], *S.N. Skorobogatow* [192], *L.I. Baron* und *L.B. Glatman* [11] ausgeführt. Hierbei betrachteten sie den Abrieb der Frei- und Spanflächen beim Schneiden der ausgewählten Proben.

Die Art der Abhängigkeiten für beide Verschleißarten war ähnlich. Der erhebliche Abrieb entsteht dann, wenn die Schnittgeschwindigkeit den so genannten kritischen Wert überschreitet (Abb. 105-a). Eine wichtige Rolle spielen auch die felsmechanischen Eigenschaften des Materials (Abb. 105-b).

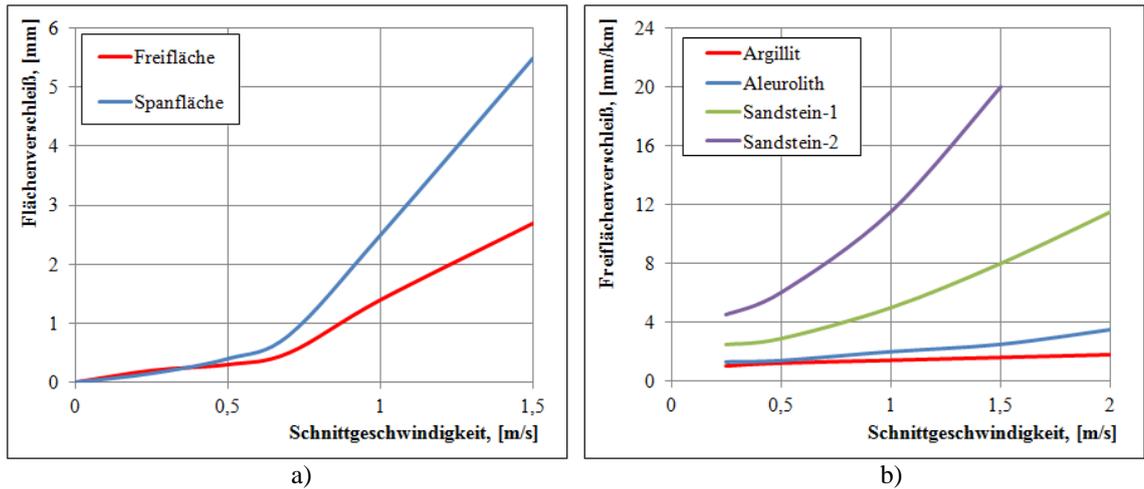


Abb. 105: Flächenverschleiß in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit
a) nach Baron und Glatman [11]; b) nach Skorobogatow [192]

Das Hauptgewicht auf die Gesteinseigenschaften (Abrasivität und Druckfestigkeit) und ihren Einfluss legten *L.I. Baron und L.B. Glatman* [11], *S.N. Alechowa* [4], *N.I. Sidorenko und W.A. Kotow* [189]. Die Abrasivitätsindex-Werte wurden empirisch nach der Methodik von L.I. Baron ermittelt.

Durch die durchgeführten Experimente wurde erwiesen, dass bei abrasiven Gesteinen der Meißelverschleiß offensichtlich höher ist (Abb. 106).

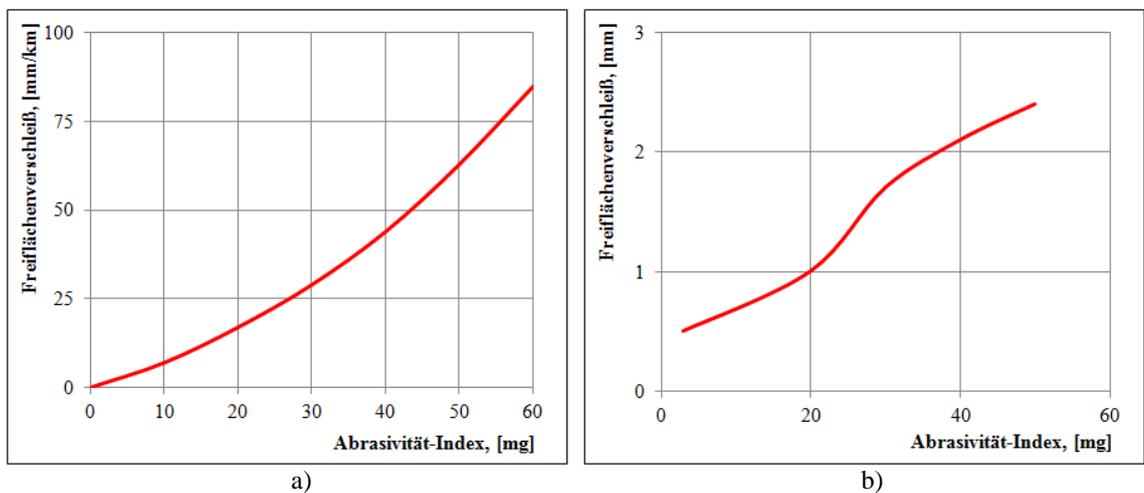


Abb. 106: Freiflächenverschleiß in Abhängigkeit vom Abrasivitätsindex
a) nach Baron und Glatman [11]; b) nach Sidorenko und Kotow [189]

I.A. Ter-Azariew [200], *S.V. Skorobogatow* [191], *S.N. Alechowa* [4], *L.I. Baron und L.B. Glatman* [11], *M.G. Krapiwina und W.M. Manakow* [112] untersuchten in ihren Arbeiten die Meißeltemperatur in Abhängigkeit von Schneidlänge und –zeit, Freiflächenverschleiß, Schnitttiefe und –geschwindigkeit.

Die Ergebnisse, die in gewissem Maße unterschiedlich sind, zeigten jedoch fast bei allen Parametern eine gemeinsame Tendenz. Am Anfang steigt die Temperatur schnell bis zu einem bestimmten Niveau an, wonach sie sich stabilisiert (Abb. 107).

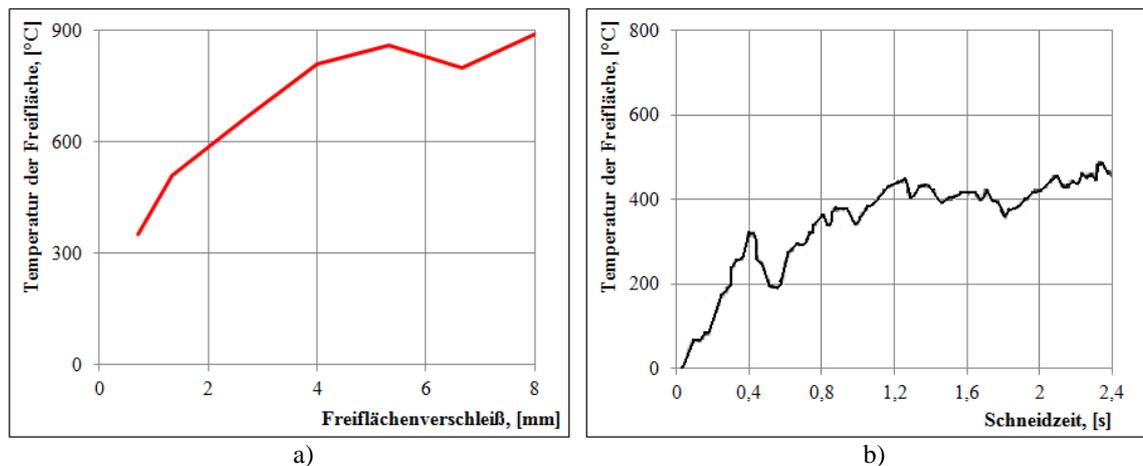


Abb. 107: Entwicklung der Temperatur der Freifläche
a) vom Freiflächenverschleiß [112]; b) von der Schneidzeit [11]

Dach- und Kerbmeißel

Die Ergebnisse der ersten Versuche mit einem Kerbmeißel in der sowjetischen Wissenschaft wurden am Institut für Bergbaukunde A.A Skachinskij erhalten und in der Arbeit von *L.I Baron und L.B. Glatman* [11] dargestellt. Es handelt sich um den Vergleich von Flachmeißeln halbkreisförmiger- bzw. trapezartiger Schneidkanten hinsichtlich des Profilverschleißes der Freifläche.

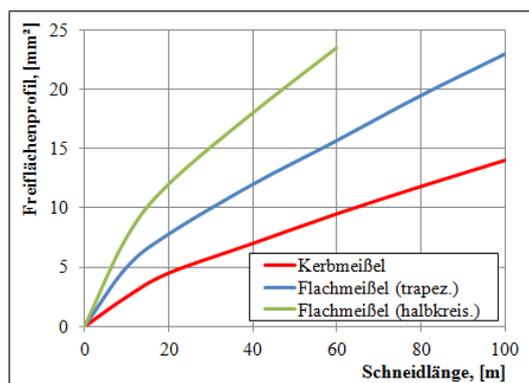


Abb. 108: Änderung des Verschleißprofils der Freiflächen vom Schneidlänge [11]

Die Formen der Abhängigkeiten waren qualitativ gleichförmig (identisch), aber die Absolutwerte des Verschleißes für alle Schneidwerkzeuge unterschieden sich voneinander. Die niedrigsten Abriebverluste traten beim Einsatz des Kerbmeißels (Abb. 108) ein.

In ihren Arbeiten entwickelten und untersuchten *N.G. Boiko und E.N. Boiko* [20, 21] einen neuen Kerbmeißel (Abb. 109) mit drei Arbeitsflächen (Frei-, Span- und Seitenfläche) für die Kohleindustrie.

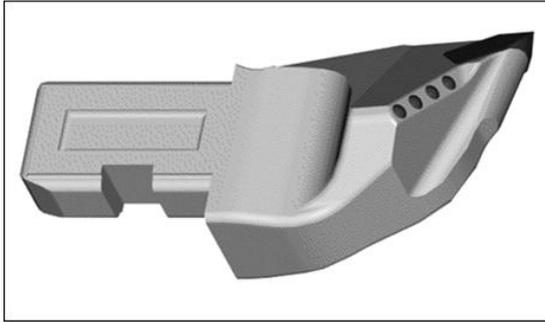


Abb. 109: Kербmeißel mit seitlicher Arbeitsfläche [20]

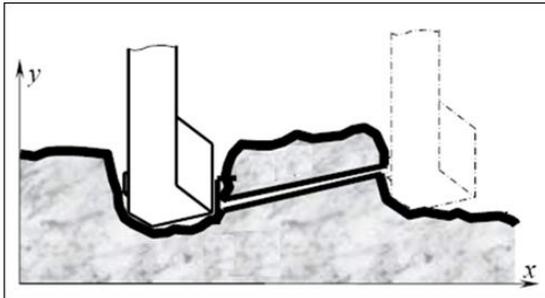


Abb. 110: Schema der Zerstörung von der Gesteinszwischenrippe mit dem entwickelten Kербmeißel [21]

Durch dessen Einsatz ist die Gesteinsrippe zwischen zwei Schnitten besser zu zerstören, der Schnittlinienabstand zu vergrößern bzw. die Stückigkeit des gelösten Materials (Güteklasse) zu verbessern (Abb. 110).

Laut der Ergebnisse ermöglicht der Meißel, den Anfall der Grobfraktionen (z. B. 25 bis 50 mm, 50 bis 100 mm, 100 bis 150 mm) 1,5 bis 2-fach zu vergrößern und gleichzeitig den Massenanteil der kleinen Körner (z. B. 0 bis 6 mm, 6 bis 13 mm) um 25 bis 45 % zu senken.

Anhang 2: Erforderliche Stückigkeit des gewonnenen Gesteins für weitere Verarbeitung
[149, 181, 214, 225, 226, 230, 232, 233]

| Rohstoff | Nutzung | Korngröße |
|-------------------------------------|---|---|
| Diabas, Basalt, Granit, Granulit | Decksichten, Staßenbefestigung Bahnstrecken- und Gleisbau | > 4 mm > 16 mm |
| Dolomit | Splitt im Straßenbau (Tragschichten) | 2 bis 32 |
| Kalkstein | Bau-, Glas- und Papierindustrie | 2 bis 20 mm 10 bis 60 mm 100 bis 300 mm |
| Bauxit | Aluminiumerzeugung, Ziegel, Bauwesen, Elektrotechnik | 2 bis 20 mm 10 bis 60 mm 100 bis 300 mm |
| Gipsstein, Anhydrit | Bauindustrie, Medizin | < 60 mm (< 5 mm weniger als 30%), 60 bis 300 mm |
| Kaolin | Papierindustrie, Porzellan, Herstellung von Aluminium, Elektro- und Laborkeramik | 2 bis 20 mm |
| Stein- und Kalisalz | Ernährung, Düngemittel, Medizin | < 5 mm (oder 1 bis 2 mm) |
| Stein- und Braunkohle | Wärme- und Energieerzeugung, Stahlindustrie | 6 bis 13, 13 bis 25, < 25, 25 bis 50, < 50 |

Anhang 3: Werte der Druck- und Spaltzugfestigkeit für den Block B24/FS

| Probenbezeichnung | Kantenlänge a | Kantenlänge b | Höhe | Rohdichte | Bruchkraft | Druckfestigkeit |
|-------------------|---------------|---------------|--------|----------------------|------------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [g/cm ³] | [kN] | [N/mm ²] |
| Würfel 1.1 | 149,90 | 149,00 | 150,09 | 2,05 | 530,0 | 23,73 |
| Würfel 1.2 | 149,13 | 148,80 | 150,02 | 2,05 | 524,6 | 23,64 |
| Würfel 1.3 | 149,26 | 150,01 | 150,14 | 2,06 | 551,4 | 24,64 |

| Probenbezeichnung | Durchmesser | Höhe | Rohdichte | Bruchkraft | Spaltzugfestigkeit |
|-------------------|-------------|--------|----------------------|------------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [g/cm ³] | [kN] | [N/mm ²] |
| Zylinder 1.1-a | 99,96 | 100,36 | 2,05 | 39,58 | 2,5 |
| Zylinder 1.1-b | 99,92 | 94,90 | 2,00 | 35,69 | 2,4 |
| Zylinder 1.2-a | 99,83 | 96,73 | 2,04 | 34,22 | 2,3 |
| Zylinder 1.2-b | 99,70 | 98,05 | 2,00 | 36,16 | 2,4 |
| Zylinder 1.3-a | 99,72 | 97,79 | 2,01 | 30,66 | 2,0 |
| Zylinder 1.3-b | 99,60 | 96,79 | 2,03 | 38,44 | 2,5 |

Anhang 4: Werte der Druck- und Spaltzugfestigkeit für den Block B34/FS

| Probenbezeichnung | Kantenlänge a | Kantenlänge b | Höhe | Rohdichte | Bruchkraft | Druckfestigkeit |
|-------------------|---------------|---------------|--------|----------------------|------------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [g/cm ³] | [kN] | [N/mm ²] |
| Würfel 2.1 | 149,94 | 150,21 | 148,87 | 2,07 | 792,6 | 35,2 |
| Würfel 2.2 | 149,78 | 150,39 | 148,25 | 2,07 | 760,0 | 33,7 |
| Würfel 2.3 | 149,84 | 150,15 | 149,13 | 2,05 | 718,0 | 31,9 |

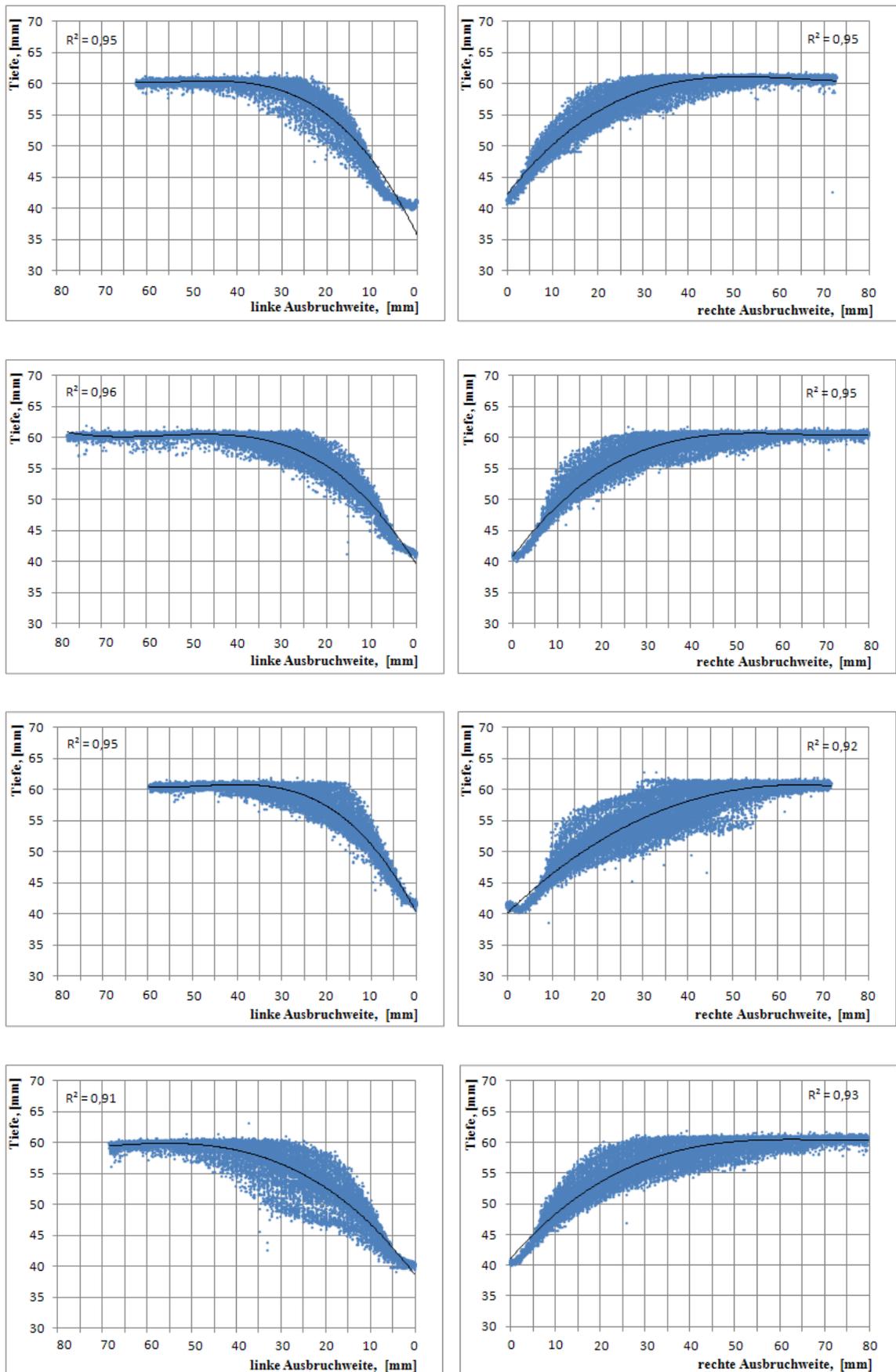
| Probenbezeichnung | Durchmesser | Höhe | Rohdichte | Bruchkraft | Spaltzugfestigkeit |
|-------------------|-------------|--------|----------------------|------------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [g/cm ³] | [kN] | [N/mm ²] |
| Zylinder 2.1-a | 99,63 | 91,23 | 2,04 | 53,7 | 3,8 |
| Zylinder 2.1-b | 99,67 | 102,40 | 2,08 | 54,8 | 3,4 |
| Zylinder 2.2-a | 99,42 | 99,63 | 2,06 | 53,4 | 3,4 |
| Zylinder 2.2-b | 99,63 | 92,68 | 2,10 | 52,0 | 3,6 |
| Zylinder 2.3-a | 99,59 | 99,71 | 2,05 | 47,9 | 3,1 |
| Zylinder 2.3-b | 99,76 | 92,80 | 2,08 | 57,3 | 3,9 |

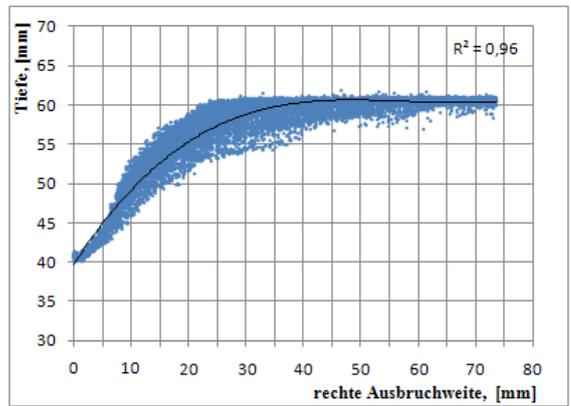
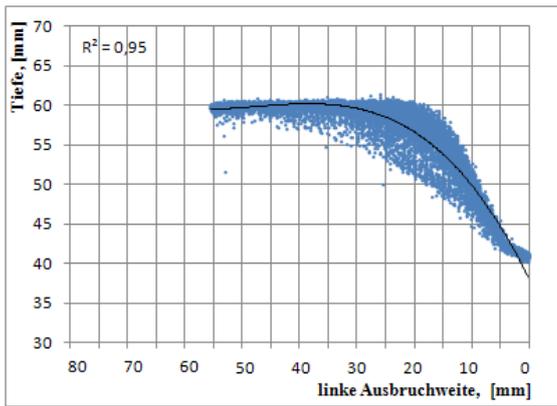
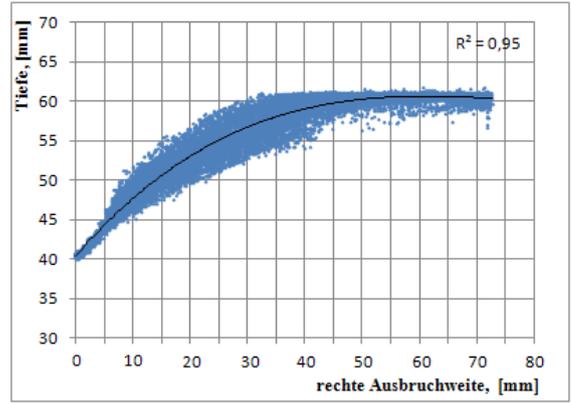
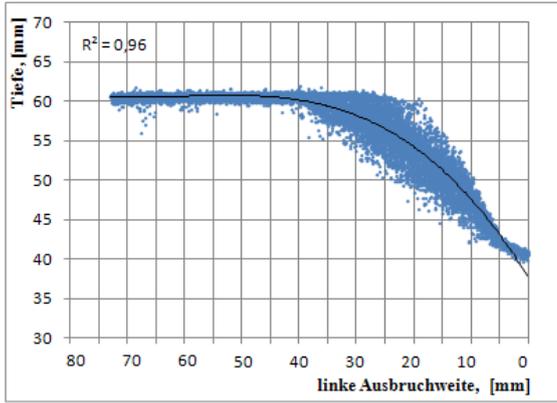
Anhang 5: Werte der Druck- und Spaltzugfestigkeit für den Block B22/GS

| Probenbezeichnung | Kantenlänge a | Kantenlänge b | Höhe | Rohdichte | Bruchkraft | Druckfestigkeit |
|-------------------|---------------|---------------|--------|----------------------|------------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [g/cm ³] | [kN] | [N/mm ²] |
| Würfel 3.1 | 150,21 | 150,87 | 148,56 | 2,11 | 481,2 | 21,2 |
| Würfel 3.2 | 149,99 | 150,96 | 149,33 | 2,13 | 511,6 | 22,6 |
| Würfel 3.3 | 150,01 | 150,58 | 150,55 | 2,10 | 505,7 | 22,4 |

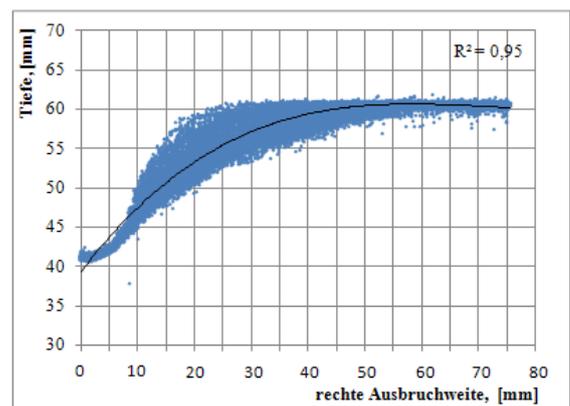
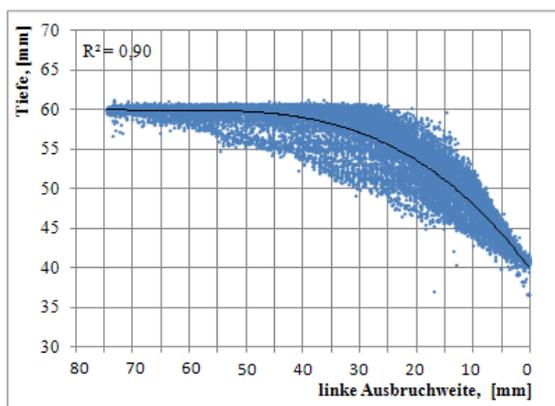
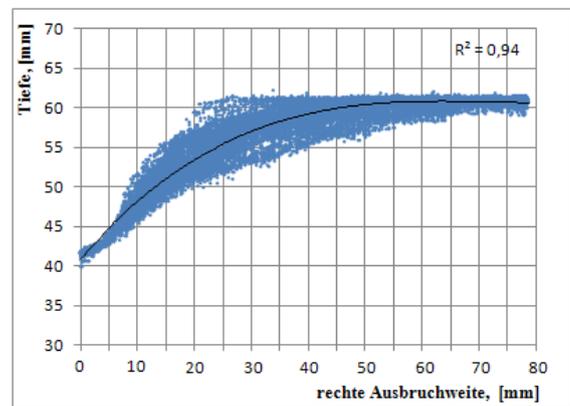
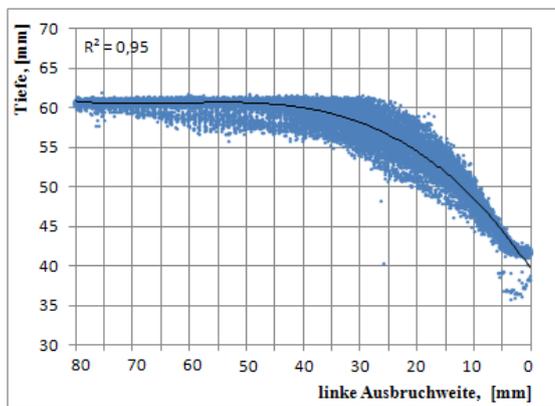
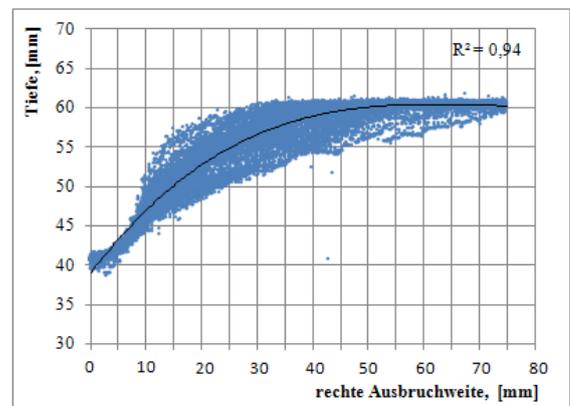
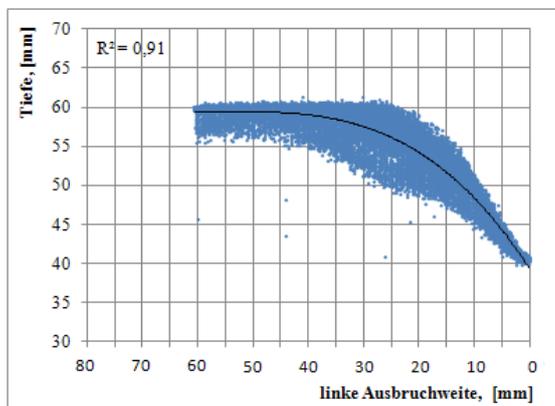
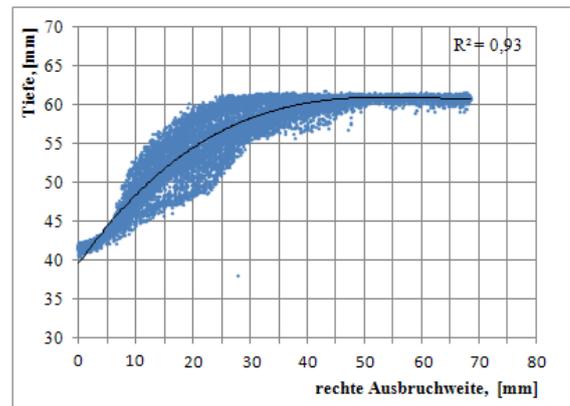
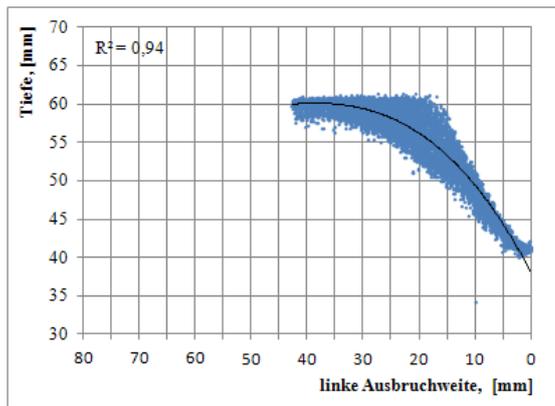
| Probenbezeichnung | Durchmesser | Höhe | Rohdichte | Bruchkraft | Spaltzugfestigkeit |
|-------------------|-------------|--------|----------------------|------------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [g/cm ³] | [kN] | [N/mm ²] |
| Zylinder 3.1-a | 99,69 | 94,64 | 2,11 | 22,4 | 1,6 |
| Zylinder 3.1-b | 99,79 | 101,07 | 2,12 | 28,9 | 1,8 |

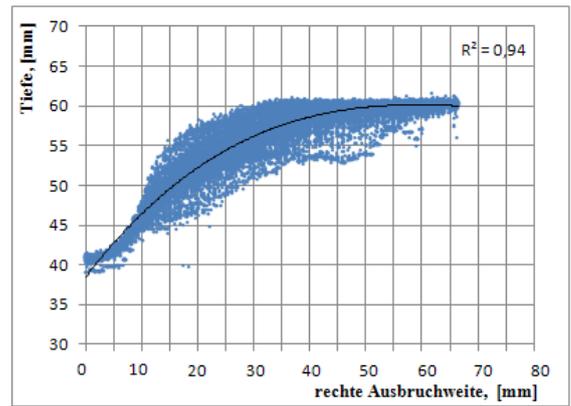
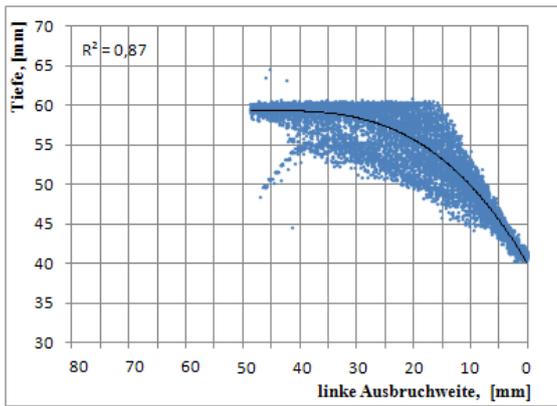
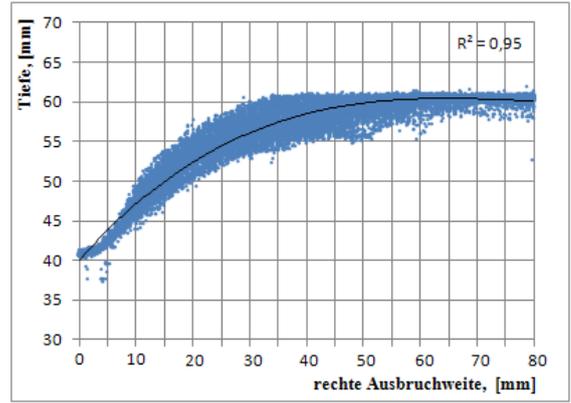
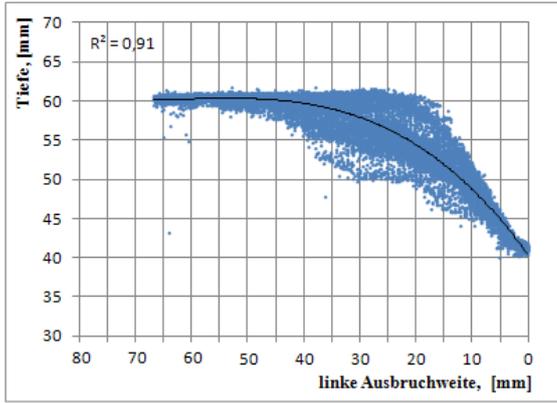
Anhang 6: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem neuen Meißel für den Block B24/FS



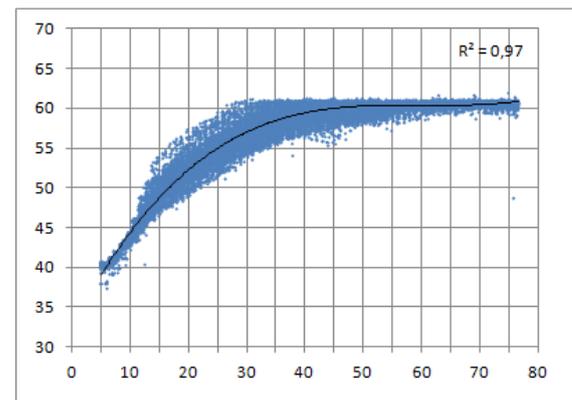
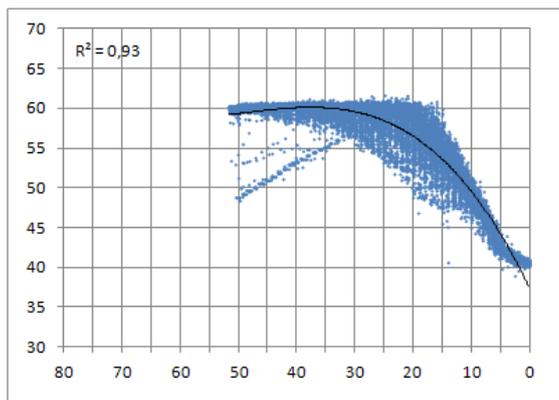
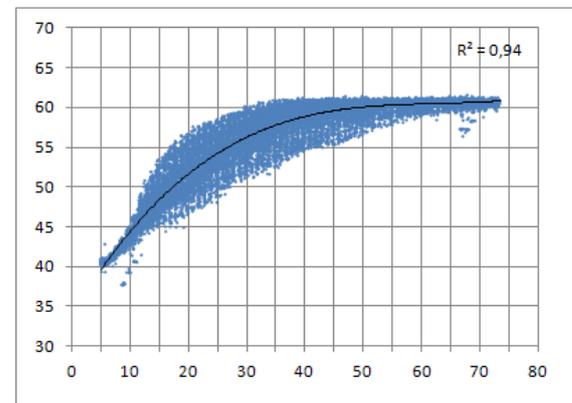
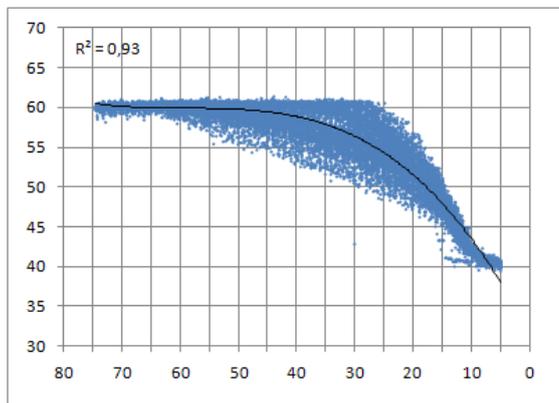
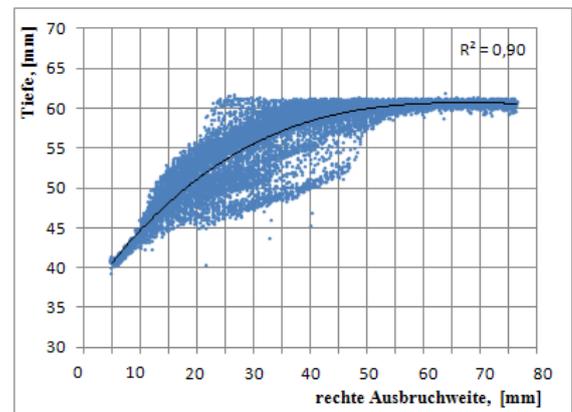
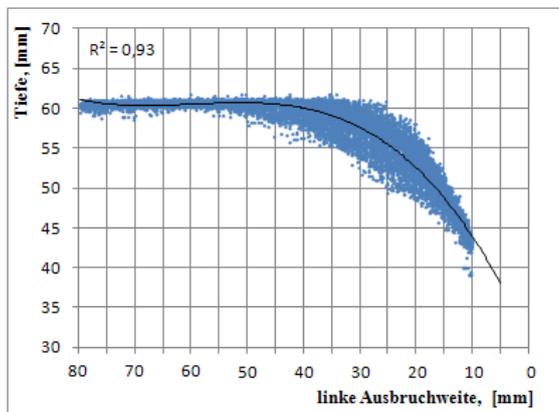
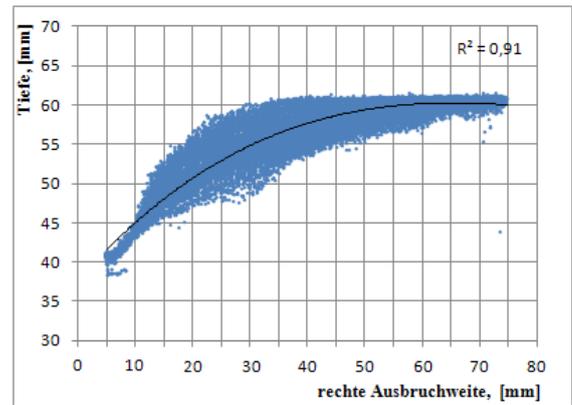
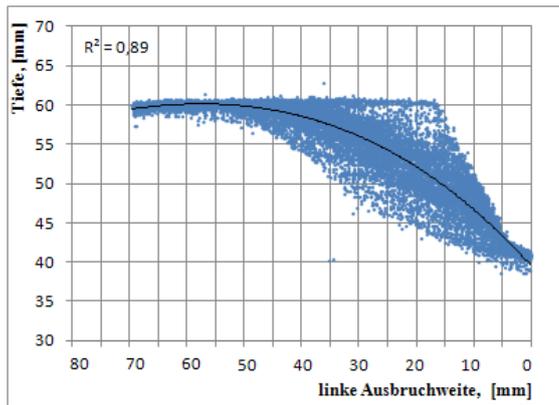


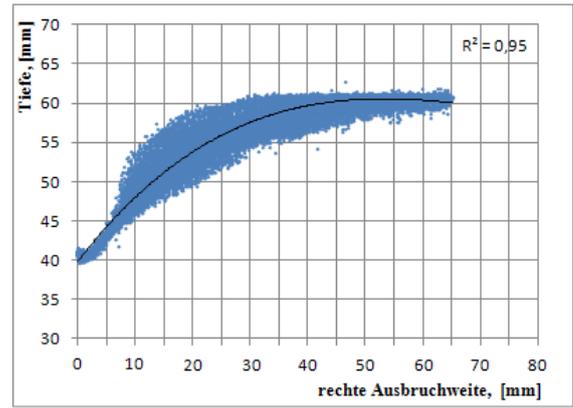
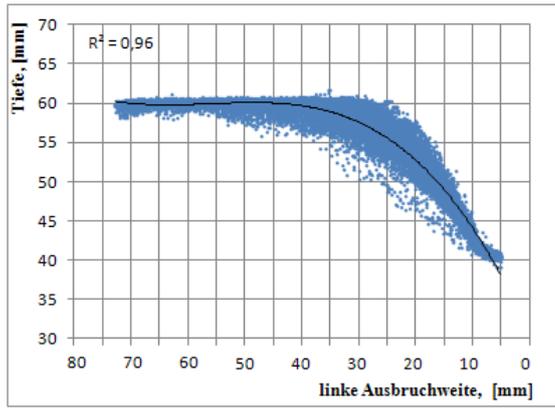
Anhang 7: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V40 für den Block B24/FS



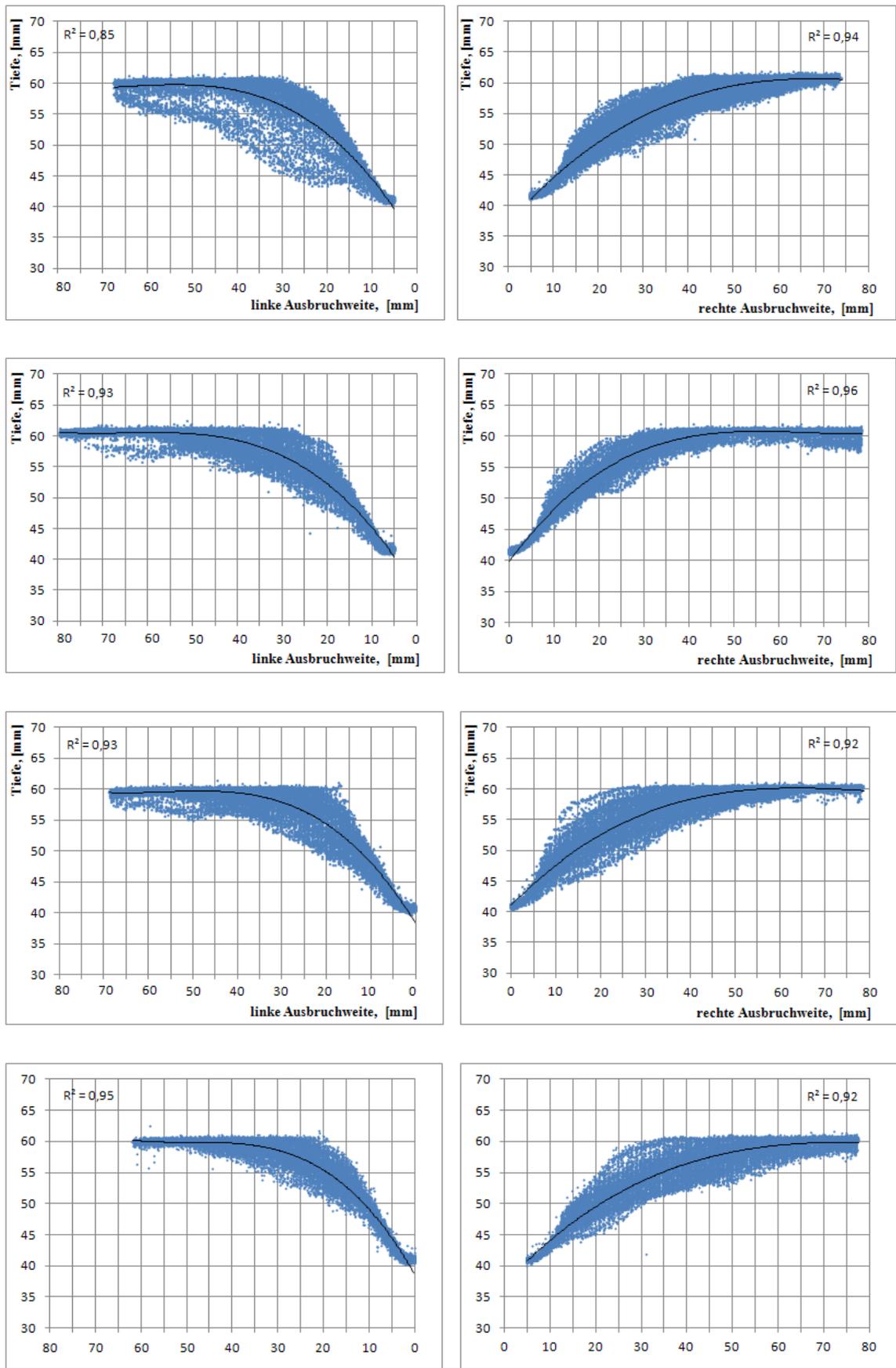


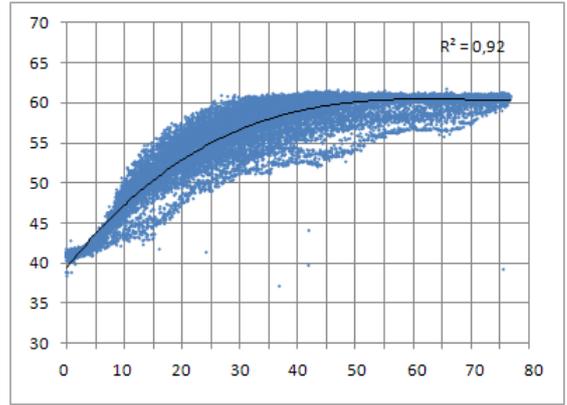
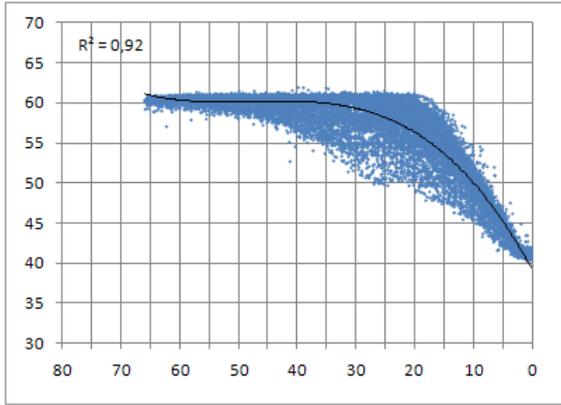
Anhang 8: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem neuen Meißel für den Block B34/FS



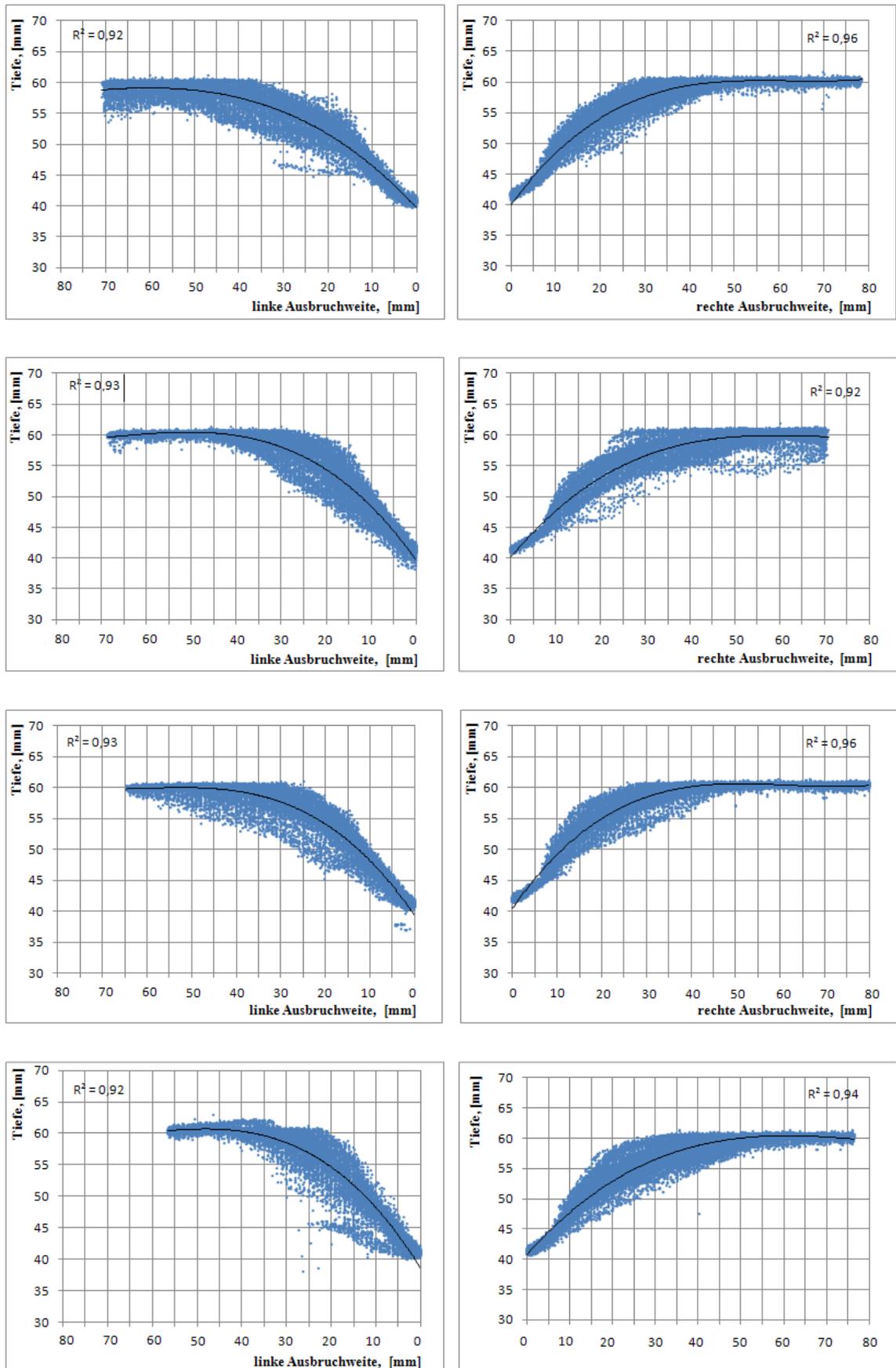


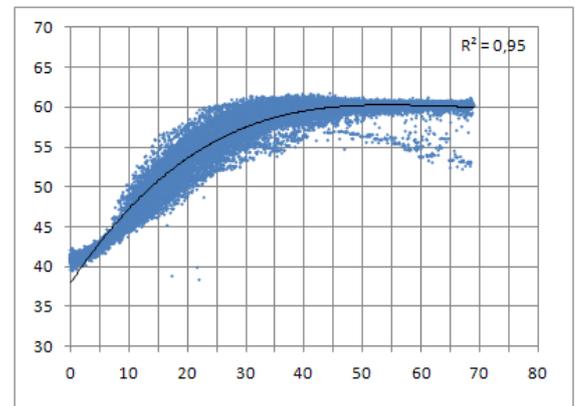
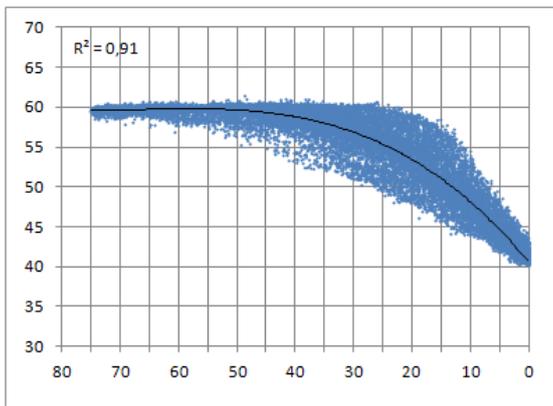
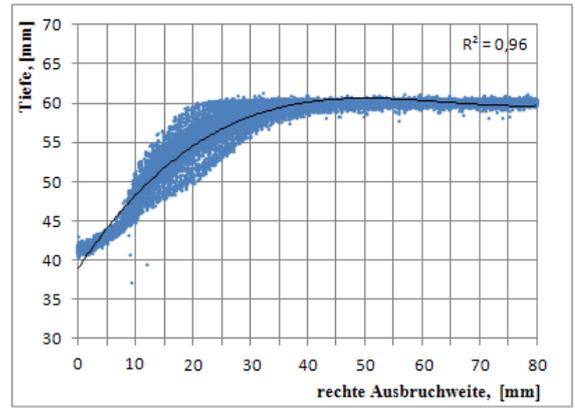
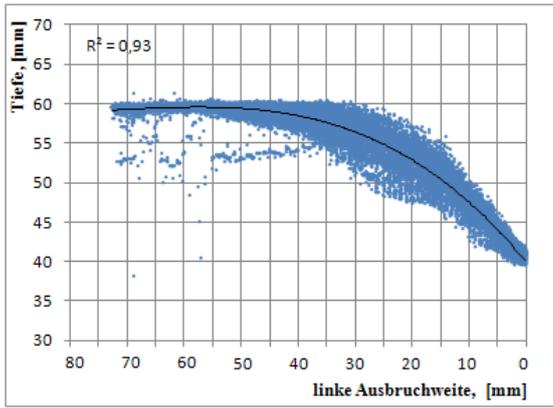
Anhang 9: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V40 für den Block B34/FS



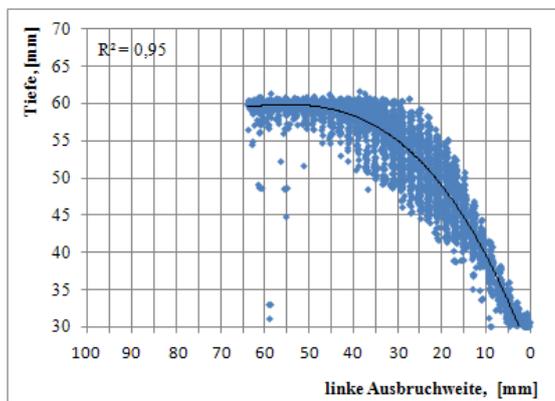
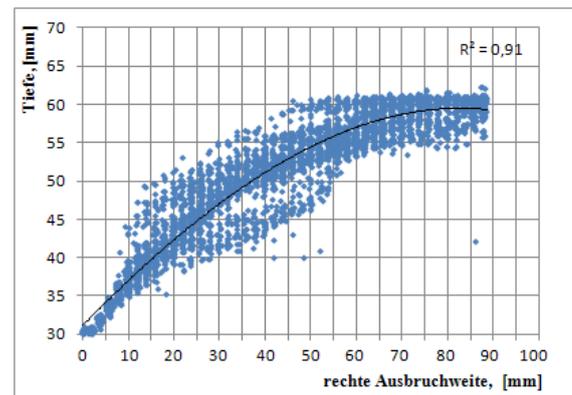
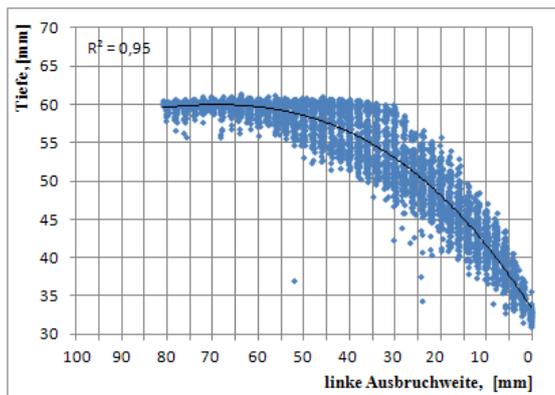
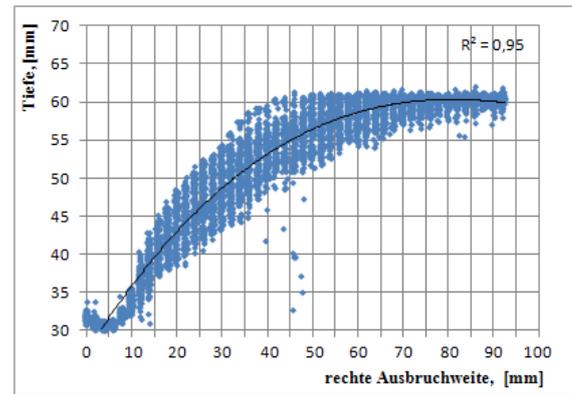
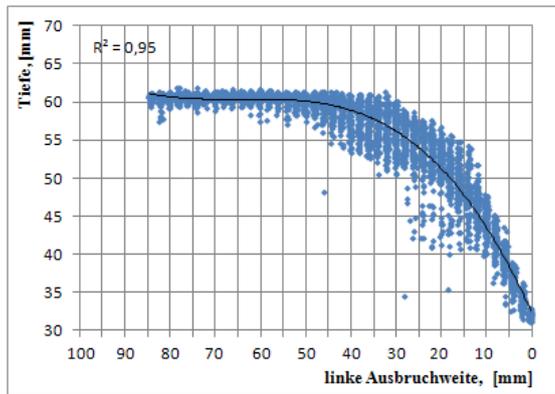


Anhang 10: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V73 für den Block B34/FS

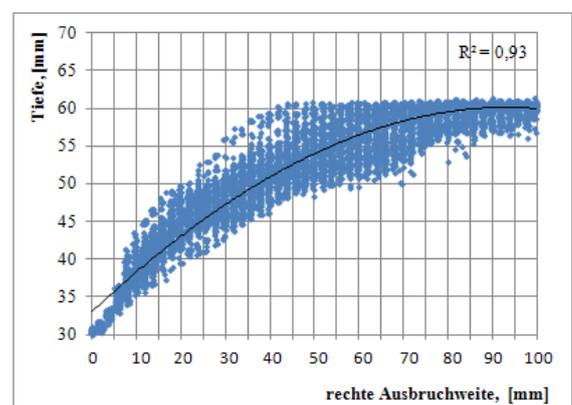
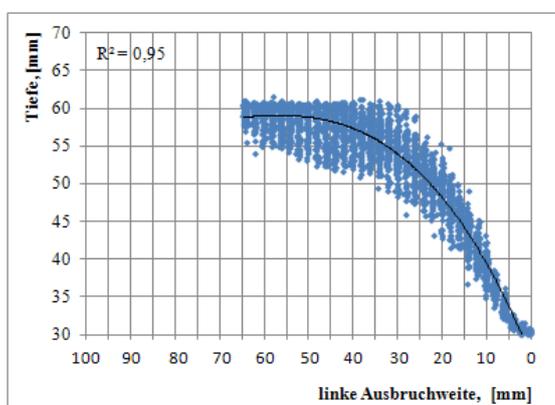


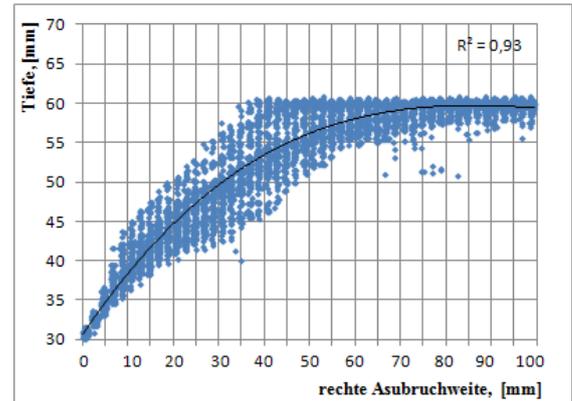
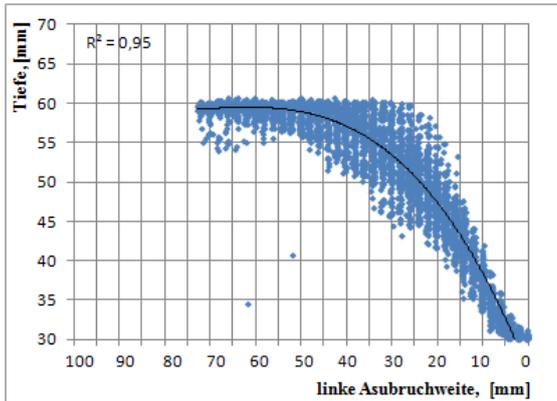
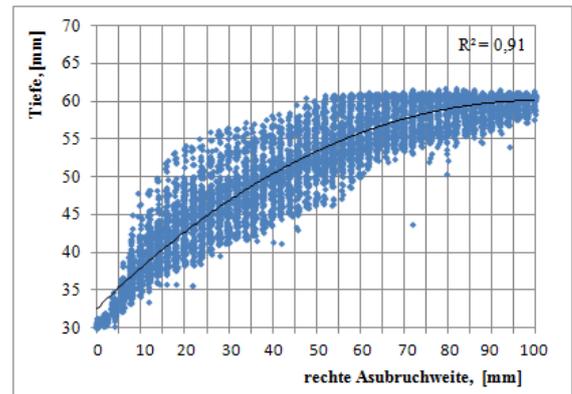
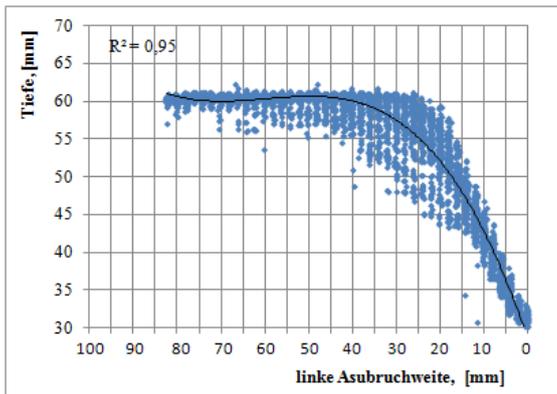
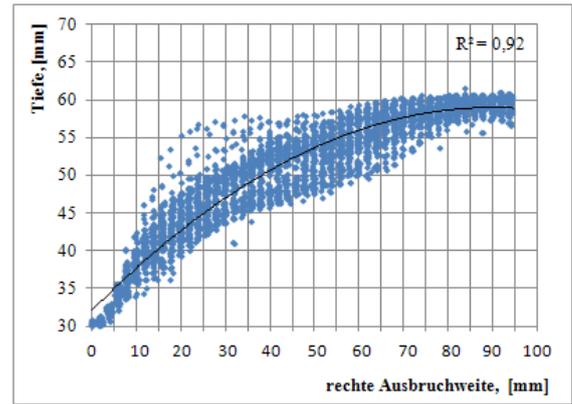
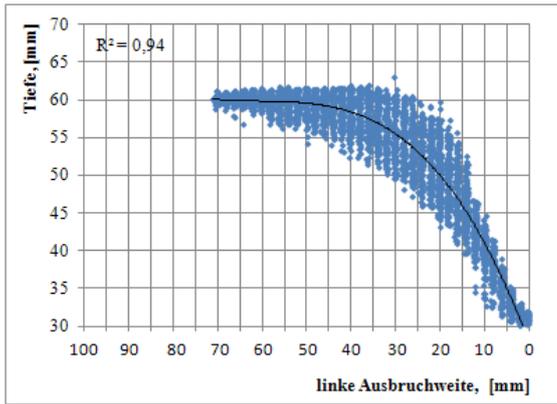


Anhang 11: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem neuen Meißel für den Block B22/GS

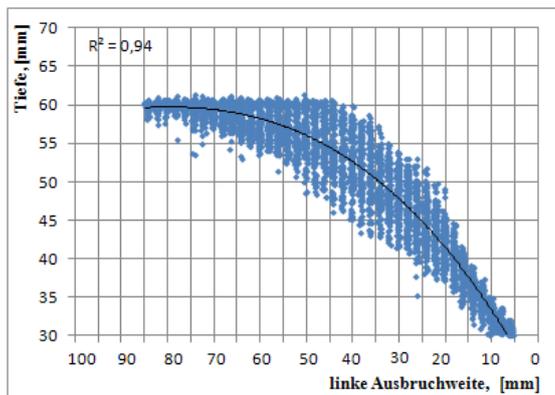
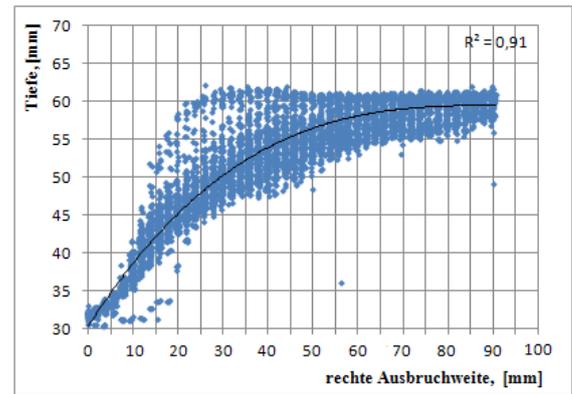
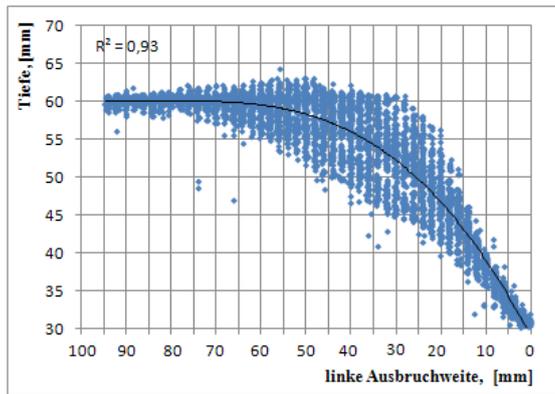


**keine Abbildung
(nicht gescannt)**

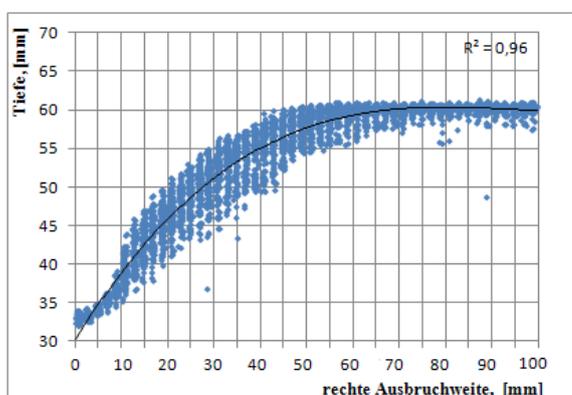
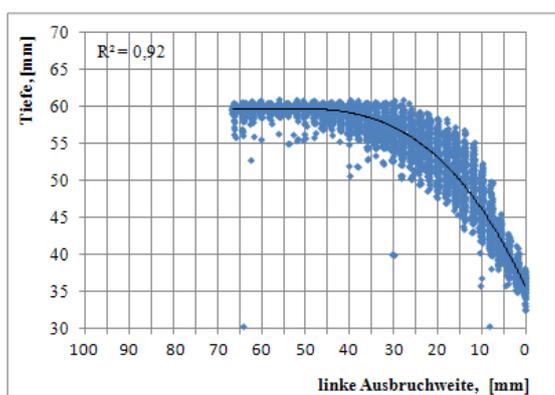
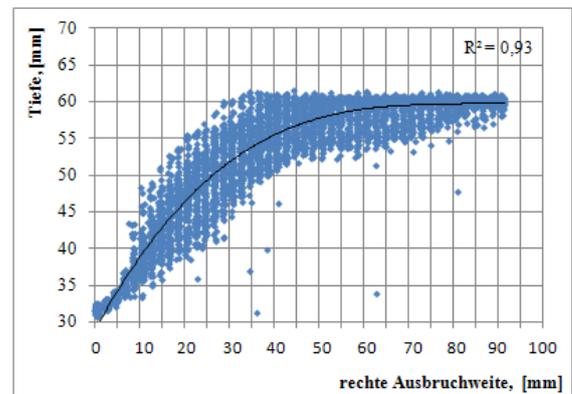
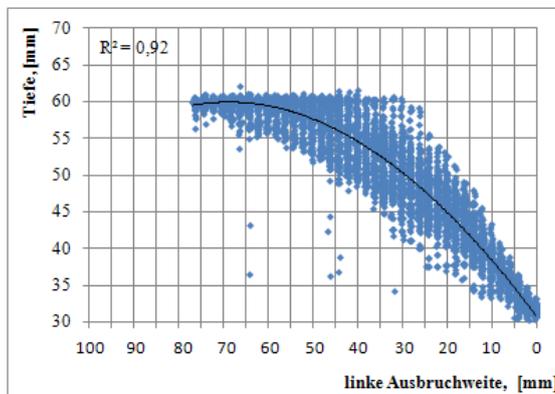


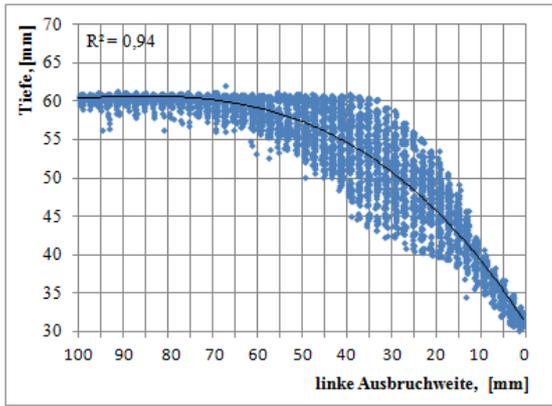


Anhang 12: Linke und rechte Ausbruchweite der vollblockierten Schnitte mit dem Meißel V73 für den Block B22/GS



**keine Abbildung
(nicht gescannt)**





**keine Abbildung
(nicht gescannt)**

Anhang 13: Ausbruchweite der Schnitte und Rippenbruchfaktor in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß beim Block B24/FS

| Verschleißzustand des Meißels | Ausbruchweite (links), [mm] | Mittelwert der linken Ausbruchweite, [mm] | Ausbruchweite (rechts), [mm] | Mittelwert der rechten Ausbruchweite, [mm] | Mittelwert des Rippenbruchfaktors |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|---|--|
| Meißel V0 | 40 | 40,0 | 45 | 48,3 | 4,42 |
| | 40 | | 45 | | |
| | 35 | | 55 | | |
| | 45 | | 50 | | |
| | 45 | | 50 | | |
| | 35 | | 45 | | |
| Meißel V40 | 35 | 43,3 | 45 | 51,7 | 4,75 |
| | 45 | | 55 | | |
| | 45 | | 55 | | |
| | 45 | | 50 | | |
| | 50 | | 55 | | |
| | 40 | | 50 | | |

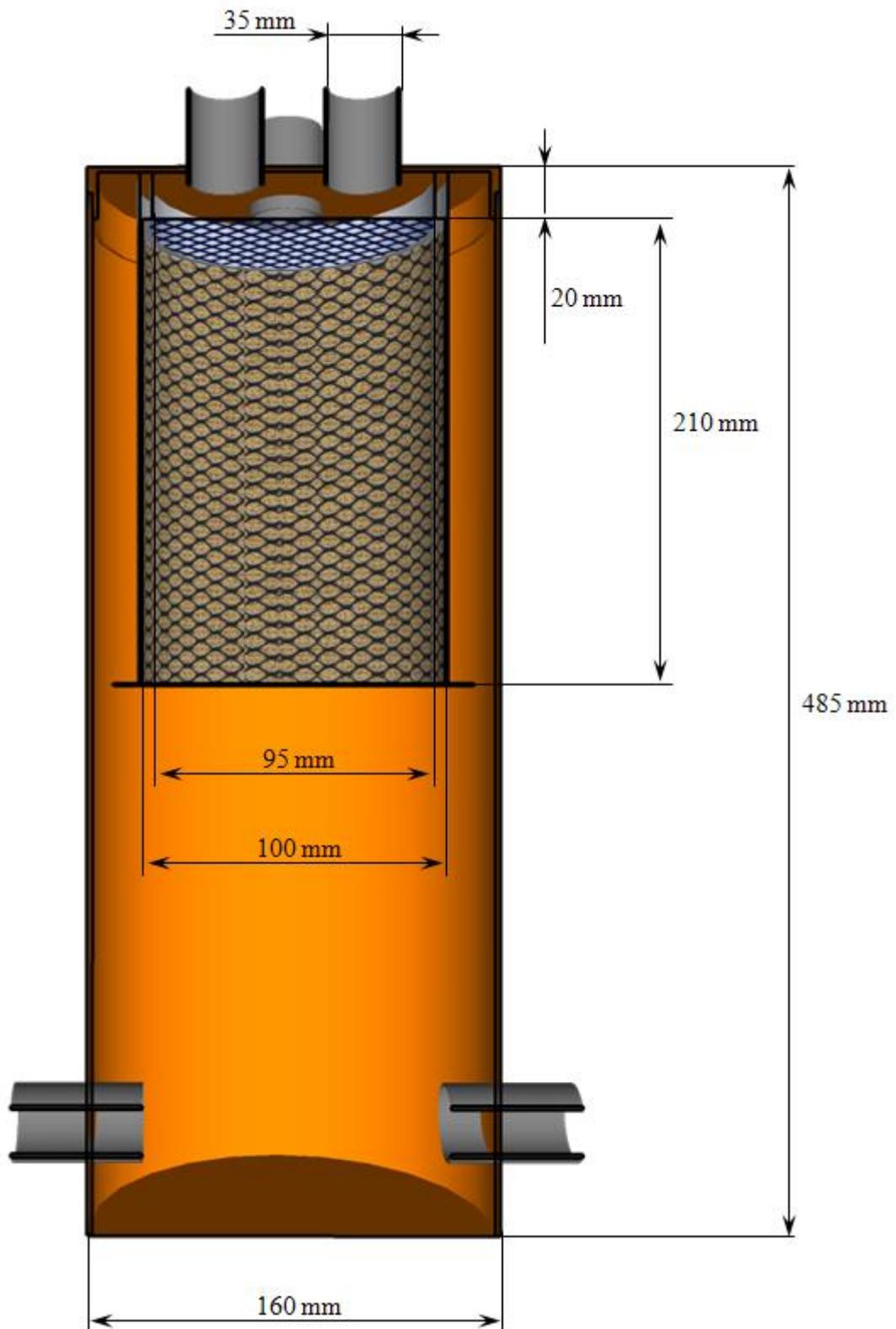
Anhang 14: Ausbruchweite der Schnitte und Rippenbruchfaktor in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß beim Block B34/FS

| Verschleißzustand | Ausbruchweite (links), [mm] | Mittelwert der linken Ausbruchweite, [mm] | Ausbruchweite (rechts), [mm] | Mittelwert der rechten Ausbruchweite, [mm] | Mittelwert des Rippenbruchfaktors |
|-------------------|-----------------------------|---|------------------------------|--|-----------------------------------|
| Meißel V0 | --- | 40,0 | 55 | 46,0 | 4,30 |
| | 40 | | 45 | | |
| | 45 | | 45 | | |
| | 35 | | 40 | | |
| | 40 | | 45 | | |
| Meißel V40 | --- | 41,3 | 55 | 51,0 | 4,62 |
| | 45 | | 45 | | |
| | 40 | | 50 | | |
| | 40 | | 55 | | |
| | 40 | | 50 | | |
| Meißel V73 | 50 | 46,7 | 50 | 48,3 | 4,75 |
| | 45 | | 50 | | |
| | 45 | | 45 | | |
| | 40 | | 55 | | |
| | 50 | | 45 | | |
| | 50 | | 45 | | |

Anhang 15: Ausbruchweite der Schnitte und Rippenbruchfaktor in Abhängigkeit vom Meißelverschleiß beim Block B22/GS

| Verschleißzustand | Ausbruchweite (links), [mm] | Mittelwert der linken Ausbruchweite, [mm] | Ausbruchweite (rechts), [mm] | Mittelwert der rechten Ausbruchweite, [mm] | Mittelwert des Rippenbruchfaktors |
|-------------------|-----------------------------|---|------------------------------|--|-----------------------------------|
| Meißel V0 | 55 | 52,9 | 70 | 76,7 | 4,32 |
| | 65 | | 75 | | |
| | 50 | | --- | | |
| | 50 | | 80 | | |
| | 50 | | 80 | | |
| | 45 | | 85 | | |
| | 55 | | 70 | | |
| Meißel V73 | 65 | 64,0 | 75 | 71,7 | 4,52 |
| | 70 | | --- | | |
| | 65 | | 70 | | |
| | 50 | | 70 | | |
| | 70 | | --- | | |

Anhang 16: Technische Angaben der Filtereinrichtung



Anhang 17: Prüfungen der Funktionalität der Filtereinrichtung

| Parameter | | Test 1 | Test 2 |
|---|-------------------------------|-------------|--------------|
| anfängliche Staubmenge von 0-90 µm, [g] | | 2,02 | 2,35 |
| anfängliche Masse des Feinkorns von 125-500 µm, [g] | | 6,00 | 12,26 |
| Masse vor dem Test, [g] | Schlauch 1 | 505,08 | 504,92 |
| | Schlauch 2 | 522,32 | 522,16 |
| | Schlauch 3 | 676,61 | 676,36 |
| | Schlauchverteiler | 530,22 | 530,18 |
| | Siebgewebe | 160,97 | 161,09 |
| | Vliesmaterial | 364,88 | 364,83 |
| Masse nach dem Test, [g] | Schlauch 1 | 505,09 | 504,95 |
| | Schlauch 2 | 522,32 | 522,26 |
| | Schlauch 3 | 676,61 | 676,42 |
| | Schlauchverteiler | 530,22 | 530,18 |
| | Siebgewebe | 167,26 | 173,11 |
| | Vliesmaterial | 366,45 | 366,44 |
| Massendifferenz / Massenverlust, [g] | Schlauch 1 | 0,00 | 0,03 |
| | Schlauch 2 | 0,01 | 0,10 |
| | Schlauch 3 | 0,00 | 0,06 |
| | Schlauchverteiler | 0,00 | 0,00 |
| | Siebgewebe | 6,29 | 12,56 |
| | Siebgewebe (nach Nachsiebung) | 5,94 | 12,02 |
| | Vliesmaterial | 1,67 | 1,77 |
| | Vliesmaterial (+ Nachsiebung) | 2,02 | 2,31 |
| aufgefangene Staubmenge von 0-90 µm, [g] | | 2,02 | 2,31 |
| aufgefangene Masse des Feinkorns von 125-500 µm, [g] | | 5,94 | 12,02 |
| Abscheidegrad, [%] | | 100 | 98 |

Anhang 18: Eingabemasken der Datenbank

Auftraggeber

Geben die Daten ein

Auftraggeber: Bucyrus GmbH

Arbeitsbereich: Bergbaumaschinen

Staat: Deutschland

PLZ: 44534

Ort: Lünen

Adresse: Industriesraße 1

Telefon: +4923067091384

a) Auftraggeber

Meißel

Geben die Daten ein

Code des Meißels: 1

Meißeltyp: Rundschaftmeißel

Hersteller: ---

Material: Hartmetall

Keilwinkel: 90,0

Stiftdurchmesser: 12,0 [mm]

Stiftlänge: 7,0 [mm]

Meißel-1.JPG

b) Meißel

Gesteinsblock

Geben die Daten ein

Code des Gesteins: 1

Gestein: Kalisalz

Komponenten: Halt, Sylin

Ort der Lagerstätte: WeiGrussland

Dichte: 2100 [kg/m³]

Druckfestigkeit: 30,1 [MPa]

Spaltzugfestigkeit: 1,5 [MPa]

Abrasivität: --- [N/cm]

Porosität: ---

Klüftigkeit: ---

Bemerkungen:

Kalisalz.jpg

c) Gesteinseigenschaften

Schneidparameter

Geben die Daten ein

Code des Versuches: 1

Komponente: Halt

Anfangstiefe: 10,0 [mm]

V.bewegung: 0,0 [mm]

H.bewegung: 0,0 [mm]

Geschwindigkeit: 0,1 [m/s]

Schnittabstand: --- [mm]

Art des Schnittes: vollblockierter

Anstellwinkel: 20

Spanwinkel: -26

Freiwinkel: 24

Drehwinkel: 0

Spanform: lineare

Schneidlänge: 573,7 [mm]

d) Schneidparameter

Haufwerkseigenschaften

Geben die Daten ein

Code des Versuches: 1

Dateiname (Laser): ---

Volumen (Laser): --- [cm³]

Gewicht (Wiegen): 190 [g]

Volumen (Wiegen): 90,5 [cm³]

| Korngrößen | Massenanteil [%] |
|---------------|------------------|
| 0 - 0,01 mm | 0,4 |
| 0,01 - 0,1 mm | 0,6 |
| 0,1 - 0,25 mm | 2 |
| 0,1 - 0,5 mm | 2,6 |
| 0,5 - 1 mm | 3,5 |
| 1 - 2 mm | 4,0 |
| 2 - 4 mm | 6,0 |
| 4 - 8 mm | 7,0 |
| 8 - 12,5 mm | 4,0 |
| 12,5 - 16 mm | 6,0 |
| 16 - 22,4 mm | 14,0 |
| 22,4 - 32 mm | 20,0 |
| 32 - 45 mm | 19,0 |
| 45 - 65 mm | 11,0 |
| 65 - 128 mm | --- |

e) Haufwerkseigenschaften

Ergebniserfassung

Geben die Daten ein

Code des Versuches: 1

Dateiname: 162651

Datum der Schnitt: 09.09.2009

Auftraggeber: Bucyrus GmbH

Code des Gesteins: 1

Code des Meißels: 1

mittl. Schnittkraft: 2,141 [kN]

mittl. Andruckkraft: 2,511 [kN]

mittl. Seitenkraft: -0,122 [kN]

Gesamtkraft: 3,300 [kN]

Energie: 1,228 [kJ]

Spezifische Energie: 13,569 [J/cm³]

f) Ergebniserfassung

Anhang 19: Voruntersuchungen mit den Aluminiummeißeln

| Nr. des Schnittes | Schneidlänge, [m] | Vorversuch – Block B24/FS | | Vorversuch – Block B34/FS | |
|-------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| | | Längenverlust, [mm] | Gewichtsverlust, [g] | Längenverlust, [mm] | Gewichtsverlust, [g] |
| 1 | 0,4 | 0,98 | 0,40 | --- | --- |
| 2 | 0,8 | 1,11 | 0,80 | 1,74 | 0,13 |
| 3 | 1,2 | 1,28 | 0,13 | 1,83 | 0,18 |
| 4 | 1,6 | 1,61 | 0,19 | --- | --- |
| 5 | 2,0 | 1,73 | 0,24 | 2,18 | 0,34 |
| 6 | 2,4 | 2,02 | 0,31 | --- | --- |
| 7 | 2,8 | 2,11 | 0,38 | 2,56 | 0,50 |
| 8 | 3,2 | 2,37 | 0,49 | --- | --- |
| 9 | 3,6 | 2,66 | 0,57 | --- | --- |
| 10 | 4,0 | 2,85 | 0,67 | 3,02 | 0,72 |
| 11 | 4,4 | 2,89 | 0,79 | --- | --- |
| 12 | 4,8 | 2,99 | 0,87 | --- | --- |
| 13 | 5,2 | 3,30 | 0,97 | 3,50 | 0,96 |
| 14 | 5,6 | 3,40 | 1,05 | --- | --- |
| 15 | 6,0 | 3,41 | 1,14 | --- | --- |
| 16 | 6,4 | --- | --- | --- | --- |
| 17 | 6,8 | --- | --- | 4,38 | 1,41 |
| 18 | 7,2 | --- | --- | --- | --- |
| 19 | 7,6 | --- | --- | 4,61 | 1,60 |
| 20 | 8,0 | --- | --- | --- | --- |
| 21 | 8,4 | --- | --- | 4,88 | 1,85 |
| 22 | 8,8 | --- | --- | --- | --- |
| 23 | 9,2 | --- | --- | --- | --- |
| 24 | 9,6 | --- | --- | 5,24 | 2,24 |
| 25 | 10,0 | --- | --- | --- | --- |
| 26 | 10,4 | --- | --- | 5,56 | 2,59 |

Anhang 20: Hauptuntersuchungen mit dem neuen Meißel und dem Block B24/FS

| Test-Nr. | Linienabstand <i>as</i> in [cm] | Rippenbruch- faktor <i>k</i> | Schnittwiderstand <i>F_s</i> in [kN] | Andruckkraft <i>F_{an}</i> in [kN] | Seitenkraft <i>F_{st}</i> in [kN] | Volumen <i>V_{hw}</i> in [cm ³] | Masse <i>M_{hw}</i> in [g] | spez. Energie <i>W_{sp}</i> in [kWh/m ³] | Staubmenge <i>m_{st}</i> in [g] | Staubmengenanteil <i>w_{st}</i> in [mg/kg] |
|----------|------------------------------------|---------------------------------|---|---|--|--|---------------------------------------|---|--|---|
| | | | | | | | | | | |
| 1.1.1 | --- | 4,42 | 7,038 | 4,249 | 1,158 | 306,450 | 619,030 | 2,552 | --- | --- |
| 1.1.2 | --- | 4,42 | 7,299 | 4,355 | 0,762 | 320,173 | 646,75 | 2,533 | --- | --- |
| 1.1.3 | --- | 4,42 | 7,766 | 4,526 | 0,588 | 285,693 | 577,100 | 3,020 | --- | --- |
| 1.1.4 | --- | 4,42 | 7,356 | 4,361 | 0,764 | 287,970 | 581,7 | 2,838 | --- | --- |
| 1.1.5 | --- | 4,42 | 6,947 | 4,228 | 1,056 | 304,673 | 615,440 | 2,533 | --- | --- |
| 1.1.6 | --- | 4,42 | 7,810 | 4,483 | 0,94 | 315,955 | 638,230 | 2,747 | --- | --- |
| 1.1.7 | 3,00 | 1,50 | 4,370 | 3,252 | 1,959 | 226,332 | 457,190 | 2,145 | 2,730 | 5,936 |
| 1.1.8 | 3,00 | 1,50 | 4,316 | 3,161 | 2,081 | 261,733 | 528,7 | 1,832 | 2,730 | 5,137 |
| 1.1.9 | 3,00 | 1,50 | 4,703 | --- | 2,45 | 229,955 | 464,51 | 2,272 | --- | --- |
| 1.1.10 | 3,00 | 1,50 | 4,141 | 3,022 | 1,945 | 189,871 | 383,54 | 2,423 | 2,04 | 5,291 |
| 1.1.11 | 3,00 | 1,50 | 4,907 | 3,554 | 2,252 | 203,371 | 410,81 | 2,681 | 3,06 | 7,394 |
| 1.1.12 | 3,00 | 1,50 | 5,203 | 3,684 | 2,39 | 215,441 | 435,19 | 2,683 | 3,02 | 6,892 |
| 1.1.13 | 3,00 | 1,50 | 5,157 | 3,73 | 2,567 | 190,842 | 385,5 | 3,002 | 2,8 | 7,211 |
| 1.1.14 | 4,00 | 2,00 | 5,165 | 3,574 | 1,693 | 302,144 | 610,330 | 1,899 | 2,490 | 4,063 |
| 1.1.15 | 4,00 | 2,00 | 4,847 | 3,418 | 1,903 | 244,208 | 493,300 | 2,205 | 2,570 | 5,183 |
| 1.1.16 | 4,00 | 2,00 | 5,057 | 3,497 | 2,023 | 291,847 | 589,530 | 1,925 | 2,510 | 4,240 |
| 1.1.17 | 4,00 | 2,00 | 5,004 | 3,54 | 2,102 | 267,837 | 541,03 | 2,076 | 3,2 | 5,880 |
| 1.1.18 | 4,00 | 2,00 | 5,219 | 3,583 | 1,727 | 244,426 | 493,74 | 2,372 | 3,05 | 6,139 |
| 1.1.19 | 4,00 | 2,00 | 4,92 | 3,549 | 1,965 | 279,545 | 564,68 | 1,956 | 3,07 | 5,407 |
| 1.1.20 | 5,00 | 2,50 | 4,829 | 3,788 | 1,818 | 322,817 | 652,090 | 1,662 | --- | --- |
| 1.1.21 | 5,00 | 2,50 | 5,062 | 3,272 | 1,733 | 323,827 | 654,130 | 1,737 | 2,830 | 4,308 |
| 1.1.22 | 5,00 | 2,50 | 5,002 | 3,847 | 2,438 | 318,559 | 643,490 | 1,745 | 3,160 | 4,887 |
| 1.1.23 | 6,00 | 3,00 | 5,927 | 3,871 | 0,807 | 296,564 | 599,060 | 2,221 | 2,730 | 4,536 |
| 1.1.24 | 6,00 | 3,00 | 6,094 | 3,863 | 1,606 | 326,738 | 660,010 | 2,072 | 3,610 | 5,440 |
| 1.1.25 | 6,00 | 3,00 | 7,110 | 4,358 | 0,982 | 333,941 | 674,560 | 2,366 | 3,120 | 4,604 |
| 1.1.26 | 6,00 | 3,00 | 6,057 | 3,616 | 1,03 | 312,213 | 630,670 | 2,156 | 3,190 | 5,033 |

Anhang 21: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel V40 und dem Block B24/FS

|  | Untersuchungen mit den Hartmetallmeißeln auf dem Schneidversuchsstand HXS 1000-50 | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------|---|---|--|--|---------------------------------------|---|--|---|
| | Versuchsgestein: Block B24/FS | | | | | | | | | |
| Test-Nr. | Linienabstand <i>a_s</i> in [cm] | Rippenbruch- faktor <i>k</i> | Schnittwiderstand <i>F_s</i> in [kN] | Andruckkraft <i>F_{an}</i> in [kN] | Seitenkraft <i>F_{st}</i> in [kN] | Volumen <i>V_{hw}</i> in [cm ³] | Masse <i>M_{hw}</i> in [g] | spez. Energie <i>W_{sp}</i> in [kWh/m ³] | Staubmenge <i>m_{st}</i> in [g] | Staubmengenanteil <i>w_{st}</i> in [mg/kg] |
| 1.2.1 | --- | 4,75 | 11,000 | 9,500 | 0,870 | 274,842 | 555,180 | 4,447 | --- | --- |
| 1.2.2 | --- | 4,75 | 13,362 | 12,705 | 1,670 | 290,025 | 585,850 | 5,119 | --- | --- |
| 1.2.3 | --- | 4,75 | 12,899 | 11,566 | 2,087 | 278,332 | 562,230 | 5,149 | --- | --- |
| 1.2.4 | --- | 4,75 | 11,660 | 10,803 | 1,131 | 267,792 | 540,940 | 4,838 | --- | --- |
| 1.2.5 | 3,00 | 1,50 | 8,600 | 8,451 | --- | 230,757 | 466,130 | 4,141 | 3,370 | 7,178 |
| 1.2.6 | 3,00 | 1,50 | 8,637 | 8,637 | 3,200 | 220,317 | 445,040 | 4,356 | 3,340 | 7,449 |
| 1.2.7 | 3,00 | 1,50 | 7,951 | 7,686 | 3,087 | 239,233 | 483,250 | 3,693 | 3,380 | 6,946 |
| 1.2.8 | 4,00 | 2,00 | 8,843 | 9,003 | 3,219 | 243,297 | 491,460 | 4,039 | --- | --- |
| 1.2.9 | 4,00 | 2,00 | 10,159 | 10,126 | 3,591 | 262,233 | 529,710 | 4,304 | 2,910 | 5,464 |
| 1.2.10 | 4,00 | 2,00 | 8,640 | 8,573 | 2,938 | 291,698 | 589,230 | 3,291 | 2,970 | 5,015 |
| 1.2.11 | 4,00 | 2,00 | 9,397 | 9,397 | 3,146 | 270,391 | 546,190 | 3,861 | 3,300 | 6,006 |
| 1.2.12 | 4,00 | 2,00 | 9,542 | 8,967 | 2,843 | 295,173 | 596,250 | 3,592 | 3,650 | 6,084 |
| 1.2.13 | 4,00 | 2,00 | 9,279 | 8,777 | 3,4573 | 247,554 | 500,060 | 4,165 | 3,490 | 6,931 |
| 1.2.14 | 4,00 | 2,00 | 9,550 | 8,831 | 3,177 | 325,926 | 658,370 | 3,256 | 4,040 | 6,099 |
| 1.2.15 | 5,00 | 2,50 | 9,330 | --- | --- | 327,980 | 662,520 | 3,161 | --- | --- |
| 1.2.16 | 5,00 | 2,50 | 9,894 | 9,678 | 3,772 | 330,777 | 668,170 | 3,323 | 3,570 | 5,315 |
| 1.2.17 | 5,00 | 2,50 | 9,181 | 9,086 | --- | 335,797 | 678,310 | 3,038 | 3,210 | 4,710 |
| 1.2.18 | 6,00 | 3,00 | 9,455 | 9,141 | 1,959 | 318,703 | 643,780 | 3,296 | 3,440 | 5,315 |
| 1.2.19 | 6,00 | 3,00 | 9,300 | 9,300 | --- | 352,045 | 711,130 | 2,935 | --- | --- |
| 1.2.20 | 6,00 | 3,00 | 8,776 | 8,214 | 2,463 | 312,941 | 632,140 | 3,116 | 3,850 | 6,054 |
| 1.2.21 | 6,00 | 3,00 | 9,338 | 8,725 | 1,667 | 322,020 | 650,480 | 3,222 | 3,920 | 5,990 |
| 1.2.22 | 6,00 | 3,00 | 10,403 | 10,095 | 2,371 | 316,020 | 638,360 | 3,658 | 3,890 | 6,057 |

Anhang 22: Fein- und Grobkornanteils bei den Hauptuntersuchungen mit dem Block B24/FS

| Nr. des Tests | Meißel V0 | | Meißel V40 | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Anteil des Feinkorns [%] | Anteil des Grobkorns [%] | Anteil des Feinkorns [%] | Anteil des Grobkorns [%] |
| 1 | 13,03 | 50,18 | 12,26 | 54,90 |
| 2 | 11,45 | 60,39 | 12,70 | 57,01 |
| 3 | 12,11 | 54,58 | 11,71 | 47,43 |
| 4 | 11,67 | 58,84 | 14,75 | 53,83 |
| 5 | 12,05 | 60,54 | 11,23 | 54,45 |
| 6 | 12,81 | 52,77 | 10,64 | 52,09 |
| 7 | 9,33 | 69,34 | 9,45 | 59,84 |
| 8 | 8,15 | 68,14 | 9,45 | 67,39 |
| 9 | 9,61 | 59,44 | 11,07 | 63,31 |
| 10 | 11,69 | 47,23 | 10,12 | 50,15 |
| 11 | 11,70 | 43,22 | 10,07 | 61,82 |
| 12 | 11,42 | 52,04 | 10,10 | 62,29 |
| 13 | 12,59 | 48,87 | 10,61 | 62,57 |
| 14 | 9,38 | 61,99 | 9,65 | 65,22 |
| 15 | 10,24 | 60,73 | 9,19 | 65,85 |
| 16 | 8,55 | 69,04 | 8,74 | 60,06 |
| 17 | 9,47 | 64,29 | 7,17 | 67,36 |
| 18 | 10,47 | 58,56 | 9,55 | 64,45 |
| 19 | 8,78 | 63,44 | 8,30 | 66,91 |
| 20 | 8,83 | 62,12 | 9,05 | 64,94 |
| 21 | 8,43 | 68,63 | 9,50 | 60,88 |
| 22 | 8,76 | 62,34 | 10,01 | 59,11 |
| 23 | 10,04 | 62,34 | --- | --- |
| 24 | 9,39 | 60,45 | --- | --- |
| 25 | 10,72 | 61,32 | --- | --- |
| 26 | 9,66 | 63,27 | --- | --- |

Anhang 23: Hauptuntersuchungen mit dem neuen Meißel und dem Block B34/FS

|  | Untersuchungen mit den Hartmetallmeißeln auf dem Schneidversuchsstand HXS 1000-50 | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------|---|---|--|--|---------------------------------------|---|--|---|
| | Versuchsgestein: Block B34/FS | | | | | | | | | |
| Test-Nr. | Linienabstand <i>as</i> in [cm] | Rippenbruch- faktor <i>k</i> | Schnittwiderstand <i>F_s</i> in [kN] | Andruckkraft <i>F_{an}</i> in [kN] | Seitenkraft <i>F_{st}</i> in [kN] | Volumen <i>V_{hw}</i> in [cm ³] | Masse <i>M_{hw}</i> in [g] | spez. Energie <i>W_{sp}</i> in [kWh/m ³] | Staubmenge <i>m_{st}</i> in [g] | Staubmengenanteil <i>w_{st}</i> in [mg/kg] |
| 2.1.1 | --- | 4,30 | 8,427 | 5,225 | 1,133 | 280,005 | 565,610 | 3,344 | --- | --- |
| 2.1.2 | --- | 4,30 | 7,710 | 4,865 | 1,074 | 294,495 | 594,880 | 2,909 | --- | --- |
| 2.1.3 | --- | 4,30 | 9,395 | 6,568 | 0,37 | 274,698 | 554,890 | 3,800 | --- | --- |
| 2.1.4 | --- | 4,30 | 8,468 | 5,36 | 1,364 | 273,619 | 552,710 | 3,439 | --- | --- |
| 2.1.5 | 3,00 | 1,50 | 4,723 | 3,764 | 2,537 | 200,163 | 404,330 | 2,622 | 2,850 | 6,999 |
| 2.1.6 | 3,00 | 1,50 | 5,165 | 4,007 | 2,708 | 234,554 | 473,800 | 2,447 | 2,800 | 5,875 |
| 2.1.7 | 3,00 | 1,50 | 4,799 | 3,815 | 2,648 | 217,054 | 438,450 | 2,457 | 2,710 | 6,143 |
| 2.1.8 | 4,00 | 2,00 | 4,790 | 3,662 | 1,671 | 282,510 | 570,670 | 1,884 | 2,710 | 4,726 |
| 2.1.9 | 4,00 | 2,00 | 5,483 | 2,274 | 1,903 | 297,312 | 600,570 | 2,049 | 2,790 | 4,624 |
| 2.1.10 | 4,00 | 2,00 | 4,627 | 3,559 | 1,94 | 315,252 | 636,810 | 1,631 | 2,540 | 3,973 |
| 2.1.11 | 5,00 | 2,50 | 5,893 | 4,296 | 1,932 | 263,421 | 532,110 | 2,486 | 3,040 | 5,681 |
| 2.1.12 | 5,00 | 2,50 | 5,305 | 3,848 | 1,859 | 308,277 | 622,720 | 1,912 | 2,990 | 4,779 |
| 2.1.13 | 5,00 | 2,50 | 6,690 | 4,706 | 2,342 | 315,426 | 637,160 | 2,357 | 3,390 | 5,292 |
| 2.1.14 | 5,00 | 2,50 | 6,261 | 4,42 | 1,723 | 296,332 | 598,590 | 2,348 | 3,040 | 5,053 |
| 2.1.15 | 5,00 | 2,50 | 5,822 | 4,16 | --- | 341,054 | 688,930 | 1,897 | 3,000 | 4,336 |
| 2.1.16 | 5,00 | 2,50 | 5,534 | 4,025 | 1,476 | 283,515 | 572,700 | 2,169 | 3,140 | 5,453 |
| 2.1.17 | 5,00 | 2,50 | 5,584 | 4,155 | 2,481 | 321,837 | 650,110 | 1,928 | 3,530 | 5,401 |
| 2.1.18 | 6,00 | 3,00 | 6,904 | 4,729 | 1,652 | 312,376 | 631,000 | 2,456 | 3,510 | 5,532 |
| 2.1.19 | 6,00 | 3,00 | 6,871 | 4,723 | 1,765 | 329,470 | 665,530 | 2,317 | 3,470 | 5,187 |
| 2.1.20 | 6,00 | 3,00 | 6,595 | 4,497 | 1,605 | 314,421 | 635,130 | 2,331 | 2,880 | 4,514 |
| 2.1.21 | 6,00 | 3,00 | 6,171 | 3,784 | 1,838 | 318,059 | 642,480 | 2,156 | 3,190 | 4,941 |

Anhang 24: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel V40 und dem Block B34/FS

| Test-Nr. | Linienabstand <i>as</i> in [cm] | Rippenbruch- faktor <i>k</i> | Schnittwiderstand <i>F_s</i> in [KN] | Andruckkraft <i>F_{an}</i> in [KN] | Seitenkraft <i>F_{st}</i> in [kN] | Volumen <i>V_{hw}</i> in [cm ³] | Masse <i>M_{hw}</i> in [g] | spez. Energie <i>W_{sp}</i> in [kWh/m ³] | Staubmenge <i>m_{st}</i> in [g] | Staubmengenanteil <i>w_{st}</i> in [mg/kg] |
|----------|------------------------------------|---------------------------------|---|---|--|--|---------------------------------------|---|--|---|
| | | | | | | | | | | |
| 2.2.1 | --- | 4,62 | 12,756 | 12,977 | 2,019 | 282,760 | 583,900 | 5,012 | --- | --- |
| 2.2.2 | --- | 4,62 | 12,727 | 13,784 | 0,964 | 304,988 | 629,800 | 4,636 | --- | --- |
| 2.2.3 | --- | 4,62 | 10,891 | 11,336 | --- | 301,598 | 622,800 | 4,012 | --- | --- |
| 2.2.4 | --- | 4,62 | 14,258 | 15,527 | 2,243 | 284,373 | 587,230 | 5,571 | --- | --- |
| 2.2.5 | 3,00 | 1,50 | 9,207 | 9,680 | 4,153 | 195,511 | 403,730 | 5,232 | 3,650 | 8,960 |
| 2.2.6 | 3,00 | 1,50 | 9,199 | 9,895 | 4,993 | 211,138 | 436,000 | 4,841 | 3,760 | 8,550 |
| 2.2.7 | 3,00 | 1,50 | 9,107 | 9,140 | --- | 200,063 | 413,130 | 5,058 | 3,730 | 8,948 |
| 2.2.8 | 3,00 | 1,50 | 9,882 | 11,397 | 5,255 | 203,027 | 419,250 | 5,408 | 3,460 | 8,185 |
| 2.2.9 | 3,00 | 1,50 | 10,492 | 12,177 | 5,245 | 200,027 | 414,190 | 5,812 | 3,540 | 8,474 |
| 2.2.10 | 3,00 | 1,50 | 10,000 | 11,866 | 5,496 | 214,203 | 442,330 | 5,187 | 3,840 | 8,607 |
| 2.2.11 | 4,00 | 2,00 | 9,896 | 10,568 | 3,579 | 297,995 | 615,360 | 3,690 | 3,670 | 5,929 |
| 2.2.12 | 4,00 | 2,00 | 9,005 | 10,302 | 3,916 | 291,230 | 601,390 | 3,436 | 3,610 | 5,967 |
| 2.2.13 | 4,00 | 2,00 | 9,836 | 11,075 | 4,447 | 277,831 | 573,720 | 3,934 | 3,680 | 6,373 |
| 2.2.14 | 5,00 | 2,50 | 9,807 | 10,789 | 2,697 | 280,615 | 579,470 | 3,883 | 3,780 | 6,481 |
| 2.2.15 | 5,00 | 2,50 | 11,645 | 12,801 | 3,500 | 336,252 | 694,360 | 3,848 | 3,670 | 5,258 |
| 2.2.16 | 5,00 | 2,50 | 11,440 | 11,928 | 4,262 | 343,908 | 710,170 | 3,696 | 3,540 | 4,960 |
| 2.2.17 | 6,00 | 3,00 | 10,008 | 10,866 | 3,235 | 300,683 | 620,910 | 3,698 | 3,670 | 5,876 |
| 2.2.18 | 6,00 | 3,00 | 10,533 | 11,367 | 2,048 | 290,630 | 600,150 | 4,027 | 3,660 | 6,062 |
| 2.2.19 | 6,00 | 3,00 | 11,257 | 13,217 | 3,371 | 363,840 | 751,330 | 3,438 | 3,720 | 4,927 |

Anhang 25: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel B73 und dem Block B34/FS

|  | Untersuchungen mit den Hartmetallmeißeln auf dem Schneidversuchsstand HXS 1000-50 | | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--|-----------------------|---|----------------------------|---------------------------------------|
| | Versuchsgestein: Block B34/FS | | | | | | | | | |
| Test-Nr. | Linienabstand a_s in [cm] | Rippenbruchfaktor k | Schnittwiderstand F_s in [kN] | Andruckkraft F_{an} in [kN] | Seitenkraft F_{st} in [kN] | Volumen V_{hw} in [cm ³] | Masse M_{hw} in [g] | spez. Energie W_{sp} in [kWh/m ³] | Staubmenge m_{st} in [g] | Staubmengenanteil w_{st} in [mg/kg] |
| 2.3.1 | --- | 4,75 | 15,009 | 19,841 | 4,512 | 314,736 | 649,930 | 5,299 | --- | --- |
| 2.3.2 | --- | 4,75 | 16,379 | 21,265 | 6,386 | 254,847 | 526,260 | 7,141 | --- | --- |
| 2.3.3 | --- | 4,75 | 15,806 | 21,855 | 2,796 | 358,600 | 740,510 | 4,897 | --- | --- |
| 2.3.4 | --- | 4,75 | 16,318 | 22,818 | 3,462 | 289,424 | 597,660 | 6,265 | --- | --- |
| 2.3.5 | 3,00 | 1,50 | 11,552 | 14,694 | 7,386 | 181,835 | 375,490 | 7,059 | 3,410 | 9,000 |
| 2.3.6 | 3,00 | 1,50 | 10,777 | 13,663 | 5,269 | 222,741 | 459,960 | 5,376 | 3,620 | 7,809 |
| 2.3.7 | 3,00 | 1,50 | 10,897 | 13,886 | 5,988 | 189,521 | 391,360 | 6,389 | 3,760 | 9,516 |
| 2.3.8 | 4,00 | 2,00 | 12,202 | 15,782 | 4,796 | 273,201 | 564,160 | 4,963 | 2,750 | 4,851 |
| 2.3.9 | 4,00 | 2,00 | 13,737 | 18,548 | 5,127 | 238,044 | 491,560 | 6,412 | 3,510 | 7,090 |
| 2.3.10 | 4,00 | 2,00 | 13,579 | 19,348 | 6,481 | 286,082 | 590,760 | 5,274 | 3,710 | 6,241 |
| 2.3.11 | 4,00 | 2,00 | 13,244 | 17,379 | 5,864 | 232,615 | 480,350 | 6,326 | 3,970 | 8,197 |
| 2.3.12 | 4,00 | 2,00 | 13,312 | 18,246 | 7,937 | 300,140 | 619,790 | 4,928 | 3,320 | 5,328 |
| 2.3.13 | 4,00 | 2,00 | 13,057 | 18,820 | 6,819 | 227,501 | 469,790 | 6,377 | 3,650 | 7,710 |
| 2.3.14 | 4,00 | 2,00 | 14,212 | 20,286 | 7,819 | 287,385 | 593,450 | 5,495 | 3,630 | 6,080 |
| 2.3.15 | 5,00 | 2,50 | 13,957 | 19,242 | 4,106 | 309,429 | 638,970 | 5,012 | 3,820 | 5,943 |
| 2.3.16 | 5,00 | 2,50 | 11,959 | 15,496 | 4,203 | 334,407 | 690,550 | 3,974 | 3,610 | 5,201 |
| 2.3.17 | 5,00 | 2,50 | 11,133 | 14,766 | --- | 325,036 | 671,200 | 3,806 | 3,450 | 5,114 |
| 2.3.18 | 6,00 | 3,00 | 12,931 | 17,314 | 3,051 | 370,741 | 765,580 | 3,875 | 3,440 | 4,473 |
| 2.3.19 | 6,00 | 3,00 | 12,838 | 17,240 | 5,565 | 312,034 | 644,350 | 4,571 | 3,580 | 5,525 |
| 2.3.20 | 6,00 | 3,00 | 14,304 | 18,391 | 6,100 | 322,823 | 666,630 | 4,923 | 3,850 | 5,742 |
| 2.3.21 | 6,00 | 3,00 | 15,203 | 21,345 | 5,479 | 320,189 | 661,190 | 5,276 | 3,810 | 5,729 |
| 2.3.22 | 6,00 | 3,00 | 12,917 | 18,096 | 5,011 | 321,211 | 663,300 | 4,468 | 3,530 | 5,294 |
| 2.3.23 | 6,00 | 3,00 | 11,651 | 16,883 | 3,605 | 339,724 | 701,530 | 3,811 | 3,300 | 4,682 |
| 2.3.24 | 6,00 | 3,00 | 12,682 | 18,642 | 5,722 | 326,010 | 673,210 | 4,322 | 3,750 | 5,539 |

Anhang 26: Fein- und Grobkornanteils bei den Hauptuntersuchungen mit dem Block B34/FS

| Nr. des Tests | Meißel V0 | | Meißel V40 | | Meißel V73 | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Anteil des Feinkorns [%] | Anteil des Grobkorns [%] | Anteil des Feinkorns [%] | Anteil des Grobkorns [%] | Anteil des Feinkorns [%] | Anteil des Grobkorns [%] |
| 1 | 12,73 | 48,30 | 13,26 | 50,14 | 10,64 | 51,45 |
| 2 | 14,50 | 47,57 | 12,46 | 49,19 | 13,60 | 44,17 |
| 3 | 13,71 | 53,07 | 12,18 | 52,46 | 10,57 | 63,89 |
| 4 | 13,34 | 46,56 | 13,88 | 43,99 | 13,45 | 49,67 |
| 5 | 10,96 | 58,15 | 12,13 | 40,72 | 12,54 | 51,89 |
| 6 | 9,99 | 61,07 | 11,37 | 38,02 | 10,22 | 52,59 |
| 7 | 9,77 | 57,27 | 11,76 | 45,79 | 12,34 | 40,41 |
| 8 | 9,45 | 64,08 | 12,77 | 41,07 | 8,94 | 71,57 |
| 9 | 9,04 | 60,50 | 12,27 | 46,91 | 10,80 | 62,86 |
| 10 | 7,69 | 67,04 | 11,59 | 44,23 | 9,36 | 66,32 |
| 11 | 10,23 | 59,65 | 9,93 | 59,51 | 9,72 | 56,99 |
| 12 | 8,49 | 66,35 | 8,57 | 67,55 | 10,26 | 57,20 |
| 13 | 9,71 | 58,06 | 9,02 | 63,91 | 10,49 | 53,36 |
| 14 | 9,90 | 51,72 | 9,86 | 68,97 | 9,85 | 65,14 |
| 15 | 9,07 | 64,12 | 9,71 | 58,19 | 9,40 | 55,59 |
| 16 | 10,09 | 56,27 | 8,48 | 63,88 | 8,72 | 68,10 |
| 17 | 8,96 | 67,29 | 9,87 | 59,73 | 7,75 | 70,51 |
| 18 | 10,25 | 61,19 | 10,45 | 54,38 | 9,16 | 62,19 |
| 19 | 10,09 | 62,18 | 8,04 | 69,52 | 8,34 | 70,69 |
| 20 | 11,19 | 56,97 | --- | --- | 9,98 | 57,26 |
| 21 | 9,76 | 66,06 | --- | --- | 10,00 | 62,34 |
| 22 | --- | --- | --- | --- | 9,81 | 60,38 |
| 23 | --- | --- | --- | --- | 8,76 | 70,85 |
| 24 | --- | --- | --- | --- | 8,97 | 64,43 |

Anhang 27: Hauptuntersuchungen mit dem neuem Meißel und dem Block B22/GS

|  | Untersuchungen mit den Hartmetallmeißeln auf dem Schneidversuchsstand HXS 1000-50 | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------|---|---|--|--|---------------------------------------|---|--|---|
| | Versuchsgestein: Block B22/GS | | | | | | | | | |
| Test-Nr. | Linienabstand <i>a</i> in [cm] | Rippenbruch- faktor <i>k</i> | Schnittwiderstand <i>F_s</i> in [kN] | Andruckkraft <i>F_{an}</i> in [kN] | Seitenkraft <i>F_{st}</i> in [kN] | Volumen <i>V_{hw}</i> in [cm ³] | Masse <i>M_{hw}</i> in [g] | spez. Energie <i>W_{sp}</i> in [kWh/m ³] | Staubmenge <i>m_{st}</i> in [g] | Staubmengenanteil <i>w_{st}</i> in [mg/kg] |
| 3.1.1 | --- | 4,32 | 13,296 | 7,148 | 1,845 | 526,716 | 1111,370 | 2,805 | --- | --- |
| 3.1.2 | --- | 4,32 | 14,000 | 7,393 | 1,827 | 665,877 | 1405,000 | 2,336 | --- | --- |
| 3.1.3 | --- | 4,32 | 14,700 | 9,597 | 2,197 | 708,232 | 1494,370 | 2,306 | --- | --- |
| 3.1.4 | 4,50 | 1,50 | 7,834 | 5,060 | --- | 398,190 | 840,180 | 2,186 | 3,240 | 3,842 |
| 3.1.5 | 4,50 | 1,50 | 9,737 | 6,863 | --- | 524,664 | 1107,040 | 2,062 | 4,750 | 4,272 |
| 3.1.6 | 4,50 | 1,50 | 10,578 | 7,811 | --- | 443,227 | 935,210 | 2,652 | 4,510 | 4,799 |
| 3.1.7 | 4,50 | 1,50 | 9,555 | 7,242 | --- | 345,237 | 728,450 | 3,075 | 3,500 | 4,782 |
| 3.1.8 | 6,00 | 2,00 | 8,996 | 6,203 | 4,223 | 489,967 | 1033,830 | 2,040 | 4,560 | 4,391 |
| 3.1.9 | 6,00 | 2,00 | 11,729 | 7,184 | 5,126 | 545,910 | 1151,870 | 2,387 | 4,850 | 4,193 |
| 3.1.10 | 6,00 | 2,00 | 12,578 | 9,589 | 5,388 | 546,294 | 1152,68 | 2,558 | 4,96 | 4,285 |
| 3.1.11 | 7,50 | 2,50 | 11,012 | 6,756 | 2,547 | 565,313 | 1192,810 | 2,164 | 4,480 | 3,742 |
| 3.1.12 | 7,50 | 2,50 | 9,990 | 6,880 | 2,903 | 672,483 | 1418,940 | 1,615 | 4,910 | 3,448 |
| 3.1.13 | 7,50 | 2,50 | 10,038 | 6,217 | 2,182 | 639,114 | 1348,530 | 1,745 | 4,970 | 3,672 |
| 3.1.14 | 9,00 | 3,00 | 12,927 | 7,962 | 3,069 | 614,531 | 1296,660 | 2,337 | 5,310 | 4,078 |
| 3.1.15 | 9,00 | 3,00 | 10,375 | 6,000 | 2,140 | 665,246 | 1403,670 | 1,733 | 5,300 | 3,762 |
| 3.1.16 | 9,00 | 3,00 | 11,941 | 8,014 | 3,217 | 803,076 | 1694,490 | 1,652 | 5,730 | 3,370 |
| 3.1.17 | 9,00 | 3,00 | 14,841 | 9,154 | 2,857 | 668,057 | 1409,600 | 2,468 | 5,150 | 3,640 |

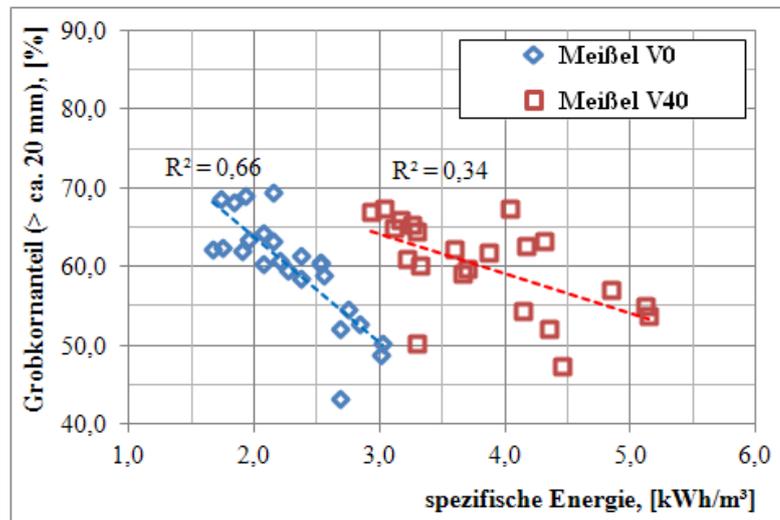
Anhang 28: Hauptuntersuchungen mit dem Meißel V73 und dem Block B22/GS

|  | Untersuchungen mit den Hartmetallmeißeln auf dem Schneidversuchsstand HXS 1000-50 | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------|---|---|--|--|---------------------------------------|---|--|---|
| | Versuchsgestein: Block B22/GS | | | | | | | | | |
| Test-Nr. | Linienabstand <i>as</i> in [cm] | Rippenbruch- faktor <i>k</i> | Schnittwiderstand <i>F_s</i> in [kN] | Andruckkraft <i>F_{an}</i> in [kN] | Seitenkraft <i>F_{st}</i> in [kN] | Volumen <i>V_{hw}</i> in [cm ³] | Masse <i>M_{hw}</i> in [g] | spez. Energie <i>W_{sp}</i> in [kWh/m ³] | Staubmenge <i>m_{st}</i> in [g] | Staubmengenanteil <i>w_{st}</i> in [mg/kg] |
| 3.2.1 | --- | 4,52 | 21,936 | 24,890 | 9,155 | 598,934 | 1263,750 | 4,069 | --- | --- |
| 3.2.2 | --- | 4,52 | 23,559 | 34,405 | 11,299 | 674,844 | 1423,920 | 3,879 | --- | --- |
| 3.2.3 | --- | 4,52 | 20,647 | 27,247 | 8,003 | 673,943 | 1422,020 | 3,404 | --- | --- |
| 3.2.4 | 4,50 | 1,50 | 12,155 | 13,595 | --- | 355,265 | 749,610 | 3,802 | 4,640 | 6,152 |
| 3.2.5 | 4,50 | 1,50 | 13,382 | 14,536 | --- | 373,303 | 787,670 | 3,983 | 4,790 | 6,044 |
| 3.2.6 | 6,00 | 2,00 | 15,952 | 19,048 | 7,879 | 540,204 | 1139,830 | 3,281 | 5,510 | 4,811 |
| 3.2.7 | 6,00 | 2,00 | 17,754 | 23,152 | 8,442 | 600,365 | 1266,770 | 3,286 | 5,120 | 4,026 |
| 3.2.8 | 6,00 | 2,00 | 18,797 | 27,307 | 11,311 | 475,910 | 1004,170 | 4,389 | 5,230 | 5,181 |
| 3.2.9 | 6,00 | 2,00 | 16,817 | 21,511 | 8,332 | 507,559 | 1070,950 | 3,681 | 5,120 | 4,758 |
| 3.2.10 | 7,50 | 2,50 | 22,839 | 27,091 | 11,852 | 614,730 | 1297,080 | 4,128 | 5,690 | 4,368 |
| 3.2.11 | 7,50 | 2,50 | 20,079 | 25,580 | 10,394 | 785,223 | 1656,820 | 2,841 | 4,640 | 2,793 |
| 3.2.12 | 7,50 | 2,50 | 21,458 | 27,739 | 9,197 | 606,166 | 1279,010 | 3,933 | 5,560 | 4,328 |
| 3.2.13 | 7,50 | 2,50 | 18,359 | 24,582 | 8,181 | 669,355 | 1412,340 | 3,048 | 5,820 | 4,104 |
| 3.2.14 | 9,00 | 3,00 | 21,199 | 26,290 | 8,357 | 586,668 | 1237,870 | 4,015 | 4,800 | 3,863 |
| 3.2.15 | 9,00 | 3,00 | 17,307 | 20,942 | 7,061 | 673,919 | 1421,970 | 2,853 | 5,180 | 3,630 |
| 3.2.16 | 9,00 | 3,00 | 19,226 | 20,512 | 8,083 | 716,654 | 1512,140 | 2,981 | 5,260 | 3,466 |

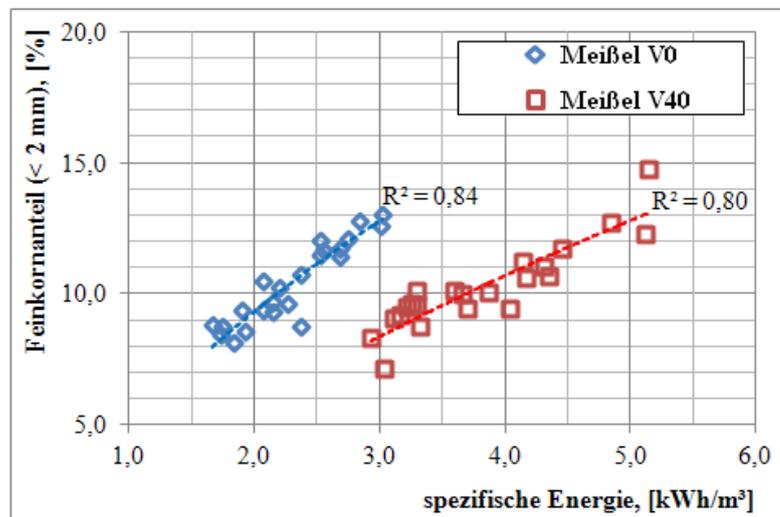
Anhang 29: Fein- und Grobkornanteils bei den Hauptuntersuchungen mit dem Block B22/GS

| Nr. des Tests | Meißel V0 | | Meißel V40 | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Anteil des Feinkorns [%] | Anteil des Grobkorns [%] | Anteil des Feinkorns [%] | Anteil des Grobkorns [%] |
| 1 | 13,04 | 55,02 | 11,34 | 54,90 |
| 2 | 10,32 | 56,50 | 10,29 | 59,89 |
| 3 | 9,96 | 59,82 | 9,06 | 57,54 |
| 4 | 9,06 | 51,59 | 9,26 | 50,46 |
| 5 | 8,53 | 52,17 | 11,36 | 36,10 |
| 6 | 9,64 | 50,33 | 8,30 | 57,75 |
| 7 | 10,14 | 54,50 | 6,95 | 72,52 |
| 8 | 9,21 | 57,78 | 8,54 | 63,52 |
| 9 | 9,51 | 52,83 | 8,41 | 66,83 |
| 10 | 7,85 | 64,33 | 10,08 | 54,99 |
| 11 | 9,23 | 49,13 | 8,01 | 62,91 |
| 12 | 7,17 | 68,50 | 8,97 | 58,63 |
| 13 | 7,64 | 64,76 | 7,56 | 62,02 |
| 14 | 9,45 | 52,74 | 9,53 | 64,35 |
| 15 | 10,60 | 61,53 | 7,75 | 72,92 |
| 16 | 6,67 | 68,04 | 7,57 | 66,04 |
| 17 | 6,91 | 51,74 | --- | --- |

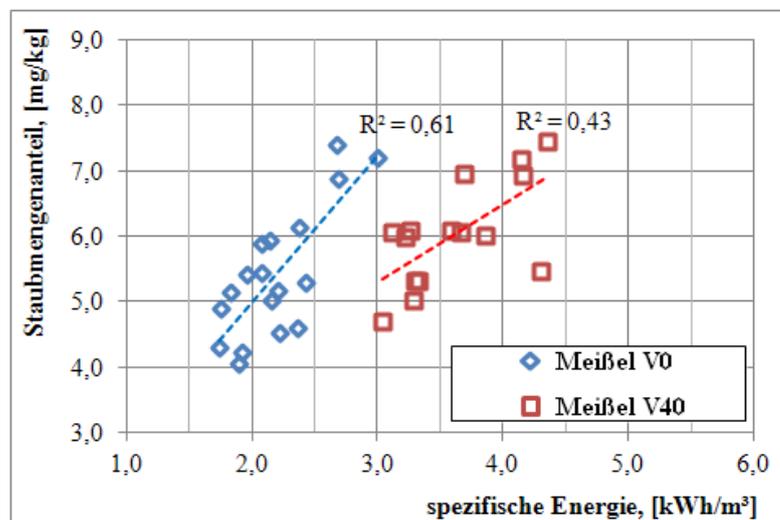
Anhang 30: Relevante Arbeitsgrößen in Abhängigkeit von der spezifischen Energie bei verschiedenen Verschleißzuständen für den Block B24/FS



a) Grobkornanteil

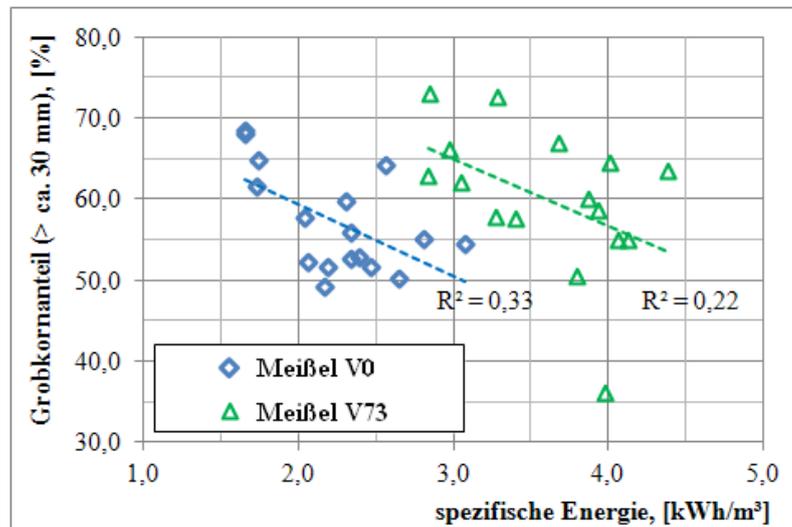


b) Feinkornanteil

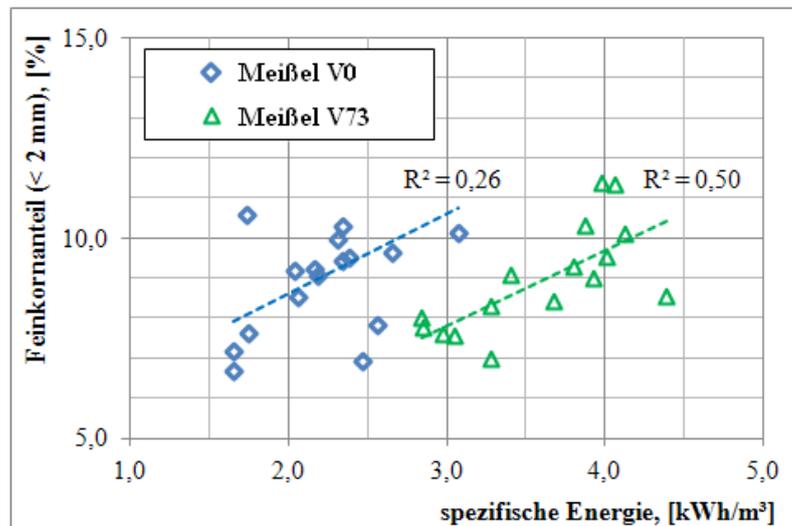


c) Staubmengenanteil

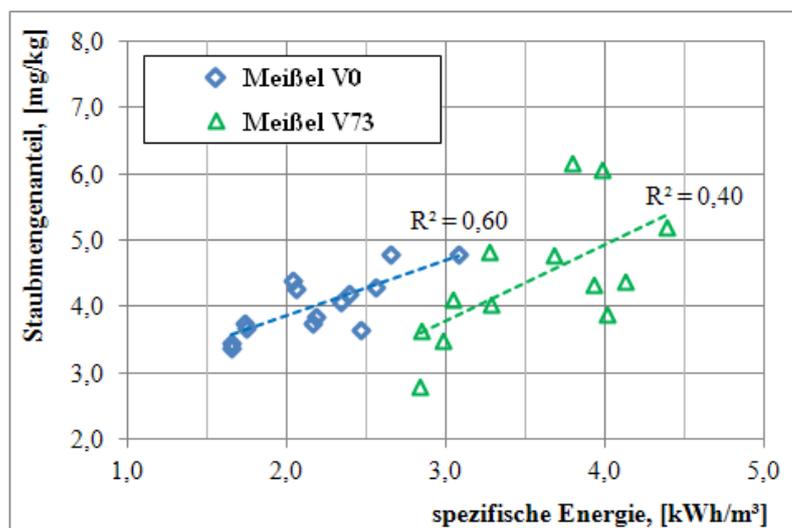
Anhang 31: Relevante Arbeitsgrößen in Abhängigkeit von der spezifischen Energie bei verschiedenen Verschleißzuständen für den Block B22/GS



a) Grobkornanteil



b) Feinkornanteil



c) Staubmengenanteil