



Stand der Technik der Versatztechnologie im untertägigen Bergbau

Anja Moser

Dept. Mineral Resources Engineering, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Online publiziert 5. Juli 2016

Zusammenfassung: Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde ein Überblick der in der Literatur vorhandenen Grundlagen zur Versatztechnik geschaffen. Da mit zunehmender Teufe im untertägigen Bergbau Gebirgsdruckprobleme zunehmen, kann die maximale Abbaumenge einer Lagerstätte stark begrenzt sein, was sehr oft den Grund für die Anwendung von Versatz darstellt. Aufgrund der steigenden Bedeutung der Versatzeinbringung wurden im Rahmen der Diplomarbeit die Grundlagen der Versatztechnik wie beispielsweise die Art der Versatzeinbringung, die Versatzanwendung im Untertagebergbau sowie die Bedeutung verschiedener Versatzeigenschaften für die Versatzwirkung und die Messung dieser Parameter überblicksmäßig dargestellt. Zusätzlich wurden Informationen zu wenig bearbeiteten Fragestellungen wie Versatzsystemversagen zusammengetragen. In der vorliegenden Arbeit wird versucht, durch Teilbereiche der betroffenen Diplomarbeit einen möglichst stimmigen Überblick über die Versatztechnologie zu geben.

Schlüsselwörter: Versatz, Versatzwirkung, Untertagebergbau, Versuchstechnik, Gebirgsstabilität, Versatzsystemversagen

State of the Art of Backfill Technology in Underground Mining Excavations

Abstract: In the framework of a diploma thesis an overview of the basics of backfill technology was given as can be found in literature. As rock pressure problems increase with increasing mining depth, the maximum possible extraction from a deposit may be unacceptably low, being very often the reason for backfill application. As a result of the rising importance of backfill application, basics of back-

fill technology like backfill placement, backfill application in underground mining as well as the importance of certain backfill properties for backfill performance and the measurement of these properties are discussed in the present paper. Additionally, information concerning questions like backfill system failure was assembled. In this article the author tries to give a coherent overview of backfill technology by presenting portions of the diploma thesis concerned.

Keywords: Backfill, Backfill performance, Underground mining, Measurement technology, Rock Mass stability, Backfill system failure

1. Einleitung

Damit eine Lagerstätte sicher, wirtschaftlich und ökonomisch abgebaut werden kann, ist der Einsatz von Versatz häufig erforderlich. Laut der BVÖ-Versatzrichtlinie werden als Versetzen alle Aktivitäten bezeichnet, die das teilweise oder vollständige Verfüllen von Hohlräumen im Rahmen von Bergbauaktivitäten betreffen [1]. In Österreich stellt die Versatztechnologie in vielen untertägigen Bergwerken einen wichtigen Teil der Abbautätigkeiten dar, wobei der Hauptgrund für das Versatzeinbringen in diesen Bergwerken meist die Stabilisierung der Abbauhohlräume ist. Im Rahmen einer Diplomarbeit [2] wurde die Rolle des Versatzes als essentieller Teil der Bergbautätigkeiten beschrieben und ein Überblick über den in der Literatur vorhandenen Wissensstand über die gesamte Versatztechnologie erstellt. Insbesondere werden die unterschiedlichen Einsatzbereiche und Gründe für die Verwendung von Versatz erarbeitet, eine Herangehensweise an eine Einteilung von Versatzarten diskutiert, die häufigsten Versatzsystemversagen und deren Bewältigung aufgezeigt sowie die wichtigsten Versatzeigenschaften und ihre Messtechnik besprochen. Da einige Autoren die Bedeutung von Bindemittelzugabe zu Versatzmischungen hervorheben, wird in jedem Abschnitt auf die Besonderheiten von bindemittelverfestigtem Versatz hingewiesen.

Dipl.-Ing. A. Moser, MSc (✉)
 Dept. Mineral Resources Engineering,
 Montanuniversität Leoben,
 Franz-Josef-Str. 18,
 8700 Leoben, Österreich
 E-Mail: anja.moser@unileoben.ac.at

2. Gründe für den Einsatz von Versatz

Einige Lagerstätten könnten ohne den Einsatz von Versatz nicht abgebaut werden. Es ist jedoch zu beachten, dass Versatz nicht, wie weit verbreitet, rein zum Zwecke der Hohlraumstabilisierung eingesetzt wird, sondern es durchaus unterschiedlichste Gründe für die Versatzeinbringung gibt, wobei die Sicherstellung der Langzeit-Stabilität des gesamten Bergbaus eine der Hauptaufgaben von Versatz ist. Versatz bewirkt Einspannungseffekte im Gebirge, die die Festigkeit erhöhen, limitiert Konvergenzen in Hohlräumen und erhält die Integrität des Gebirges um Hohlräume. Zusätzlich kann die Oberflächenbeeinträchtigung durch das Verfüllen oberflächennaher untertägiger Hohlräume erheblich reduziert werden [3].

Ein weiterer Einsatzgrund von Versatz betrifft die direkte Rohstoffgewinnung. Bei Abbaumethoden wie zum Beispiel dem Firstenstoßbau ist das Einbringen von Versatz erforderlich, um eine Arbeitsplattform zu schaffen [4]. Weniger eng verknüpft mit den Abbautätigkeiten ist der Einsatz von Versatz zur Rückgewinnung von Bergfesten. Das Zurücklassen von Bergfesten als Stabilisierungselemente stellt einen erheblichen wirtschaftlichen Verlust dar. Obwohl die mechanischen Eigenschaften wie z.B. Festigkeit und Steifigkeit von Versatzprodukten im Vergleich zum anstehenden Gebirge sehr gering sind, zeigen einige Beispiele, dass durch das Verfüllen der Hohlräume Bergfesten teilweise rückgewonnen werden können [5].

Im tiefen Bergbau dient der Versatz zusätzlich der Verbesserung der Wetterführung und Klimatisierung. Durch die Verfüllung wird der Wärmezutritt aus dem Gebirge aufgrund der reduzierten exponierten Fläche vermindert, das Eintreten von gefährlichen Grubengasen durch die Hohlraumversiegelung gehemmt und das nötige Frischwettervolumen kann reduziert werden. Der Temperaturanstieg in tiefen Bergwerken ist hierbei eng mit der Gesamtlänge der Abbaufont verknüpft. Durch die Verkürzung der Abbaufontlänge durch Verfüllung der Hohlräume kann das Grubenklima somit enorm verbessert werden [6].

Ein weiterer nicht unerheblicher Grund ist die Verfüllung der Hohlräume zum Zwecke der Abfallstoffablagerung. Dies betrifft im Speziellen Bergbauabfälle, wie Abraum oder Aufbereitungsabgänge, deren Lagerung an der Oberfläche sowohl teuer als auch aus umweltrelevanten Gründen sehr oft nicht möglich ist. Bezugnehmend auf die Ablagerung von Müll in untertägigen Hohlräumen müssen in Österreich das Abfallwirtschaftsgesetz und das Altlastensanierungsgesetz herangezogen werden. Grundsätzlich gilt, dass als „Abfall“ deklariertes Material zur Verfüllung von Hohlräumen genutzt werden darf, wenn dies aus bergtechnischer und sicherheitstechnischer Sicht erforderlich ist und zu keinen Umweltbelastungen führt [7–9].

3. Klassifikation von Versatzarten

So vielfältig die Gründe für den Einsatz von Versatz sind, sind auch die in der Literatur vorhandenen möglichen Herangehensweisen an die Klassifikation von Versatzarten. Bevor an eine Einteilung von Versatztypen herangetreten wer-

den kann, müssen jedoch einige Grundbegriffe geklärt werden:

Wenn von *Versatzmaterial* gesprochen wird, handelt es sich um die „Zutaten“ für den Versatz, wie Wasser, Bindemittel oder Aufbereitungsberge, die, nachdem sie zusammengemischt wurden, das *Versatzprodukt* ergeben, das zur Erfüllung seines Zweckes untertage transportiert werden kann.

Beim *Versatzkörper* handelt es sich um den bereits eingebrachten Versatz, der konsolidiert und verfestigt ist (im Falle der Bindemittelzugabe) und eine homogene Masse formt (mit Ausnahme von Sturzversatz).

Im Zuge dieser Arbeit wurden verschiedene Versatz-Klassifikationsschemen betrachtet, welche sich üblicherweise auf das Material, die Produktion und den Transport von Versatz beziehen. Einen weiteren Punkt für die Einteilung von Versatzarten stellt die Bindemittelzugabe dar. Im Rahmen der gegenständlichen Arbeit wurde versucht, eine Herangehensweise zur Versatztypeinteilung zu erarbeiten.

Wenn die üblichen Grundlagen zur Versatzsystemeinteilung herangezogen werden, kann festgestellt werden, dass Bindemittelzugabe zu jeder Art von Versatzmaterial möglich ist. Daher ist der erste Schritt in der Herangehensweise zur Versatzartklassifikation eine Unterscheidung zwischen bindemittelverfestigtem und nicht bindemittelverfestigtem Versatz. Das Versatzmaterial ist für sämtliche Versatzarten sehr ähnlich; hierbei handelt es sich meist um Berge aus der Aufbereitung, Taubmaterial aus der Rohstoffgewinnung und Sande. Die Unterschiede zwischen diesen Materialien sind deren unterschiedliche Korngröße und Mineralogie, wobei jedem dieser Versatzmaterialien Bindemittel zugegeben werden können. Daher ist eine Unterscheidung auf Basis von unterschiedlichen Ausgangsmaterialien nicht zielführend. Weitere wichtige Faktoren in der Versatztechnik stellen der Versatzprodukttransport und die Versatzeinbringung in die Hohlräume dar. Diese Methoden können für jedes Material, ob bindemittelverfestigt oder nicht, verwendet werden. Daher stellt die Einteilung von Versatzsystemen auf Basis von unterschiedlichen Versatztransport- und -einbringarten nach Ansicht der Autorin eine angemessene Herangehensweise dar:

- Transport mittels Schwerkraft
 - Sturzversatz
 - Spülversatz
 - Transport mittels Pumpen
 - Einblasen von Versatz
 - Einschleudern von Versatz

Hier sollte erwähnt werden, dass in den meisten Fällen der Transport mittels Schwerkraft oder mittels Pumpen eingesetzt wird, da sowohl das Einblasen als auch das Einschleudern von Versatz geringe Produktivitäten und erhebliche Energieaufwendungen aufweisen. Einschleudern und Einblasen wird nur in vereinzelt Fällen eingesetzt, wo es sich um kleine Hohlraumgrößen und eine notwendige firstbündige Verfüllung der Hohlräume handelt.

Grundsätzlich werden in verschiedenen Literaturquellen „rock fill“ „hydraulic fill“ und „paste fill“ als die gängigsten

ten Versatztypen unterschieden, weswegen die folgenden Betrachtungen auf die übliche, wenn auch nicht ganz systematische Einteilungsart von Versatztypen bezogen sind.

„Rock fill“ bezeichnet eine Methode, bei welcher Versatzmaterial wie Taubmaterial, Kies, Boden oder feste Industrieabfälle händisch, durch Schwerkraft oder durch Maschinen eingebracht werden, um einen verdichtbaren Versatzkörper zu bilden [10].

Typischerweise besteht „Rock fill“ aus Taubmaterial aus der Aus- und Vorrichtung im Untertagebergbau oder aus Abraum aus dem Tagebau. Um eine dichtere Lagerung des Materials zu erhalten und größere Versatzkörperfestigkeiten zu erzielen (obwohl in diesem Fall nur bedingt von Versatzkörper gesprochen werden kann), können verschiedene Gesteinsfraktionen gemischt bzw. etwas Wasser und Bindemittel zugegeben werden. In seiner einfachsten Form jedoch wird das Material ohne weitere Aufbereitung in Hohlräume gestürzt, woher auch die deutsche Bezeichnung „Sturzversatz“ kommt. Diese Bezeichnung bezieht sich zwar auf das Einbringen durch Schwerkraft, ist in diesem Fall aber zulässig, da „Rock fill“ grundsätzlich nur durch Abstürzen eingebracht wird [3].

„Hydraulic fill“ bezeichnet eine Methode, welche Wasser als Transportmedium heranzieht, um Versatzmaterialien wie Sand, Schlacke oder Aufbereitungsabgänge als Versatzprodukt zu transportieren und einzubringen [10].

„Hydraulic fill“ stellt die vermutlich am häufigsten verwendete Versatzart dar, insbesondere aufgrund seiner niedrigen Herstellungs- und Transportkosten, wobei die Kosten maßgeblich durch den Bindemittelanteil beeinflusst werden. „Hydraulic fill“ bzw. im Deutschen „Hydraulischer Versatz“ besteht aus feinkörnigeren Fraktionen als „Rock fill“, welche durch die Zugabe von Wasser als Transportmedium in eine Suspension übergeführt werden. Bei hydraulischem Versatz kommt daher der Entwässerung des Versatzkörpers große Bedeutung zu, da es bei unzureichender Entwässerung zu erheblichen Sicherheitsrisiken kommen kann, wie beispielsweise Wasserzutritt in das Grubengebäude oder Verflüssigung des Versatzkörpers. Aufgrund der notwendigen Entwässerung des Versatzkörpers ist auch der erlaubte Feinstkornanteil im Zuschlagstoff begrenzt, da dieser die Drainage des Versatzkörpers erheblich erschwert. Zur Versiegelung der Hohlräume sind im Falle von hydraulischem Versatz auch massive Versatzbarikaden unbedingt erforderlich. Hydraulischer Versatz wird mittels Schwerkraft oder Pumpen eingebracht [3].

„Paste fill“ beschreibt einen (bindemittelverfestigten) Schlamm, der durch das Mischen von Wasser und Zuschlagstoffen entsteht [10].

Um das Ausbringen in der Aufbereitung zu erhöhen, wird der Feinstkornanteil in den Aufbereitungsbergen immer größer. Da der Feinstkornanteil aufgrund der Entwässerungseigenschaften des Versatzkörpers die Verwendung von hydraulischem Versatz nicht erlaubt, wurde „Paste fill“ oder im Deutschen „pastöser Versatz“ entwickelt. „Paste fill“ stellt einen festen, dichten und kompaktierten Versatz dar, der meist aus sehr feinkörnigen Aufbereitungsabgän-

gen, Bindemittel und Wasser besteht, um eine hochviskose Paste zu formen. Bei diesem Versatzprodukt ist die Bindemittelzugabe unbedingt erforderlich, um sowohl das Wasser durch die Hydratationsreaktion zu binden, als auch eine geeignete Konsistenz zur Pumpbarkeit über teils mehrere Kilometer zu gewährleisten. Bei pastösem Versatz sind Feinstkornanteile erwünscht, da sie mit dem Wasser und Bindemittel das Transportmedium für die größeren Fraktionen darstellen. Je nach Bindemittelart und -anteil können Endfestigkeiten des Versatzkörpers von mehreren MPa erreicht werden. Der Transport und das Einbringen von pastösem Versatz erfolgen üblicherweise mit Pumpen [3].

3.1 Vergleich der Versatzarten

Beim Vergleich dieser drei Haupt-Versatzarten können einige Vor- und Nachteile identifiziert bzw. Einsatzbereiche erkannt werden. Beim Vergleich von hydraulischem Versatz und pastösem Versatz müssen die Faktoren Kosten, Transport, Entwässerung und Festigkeit berücksichtigt werden. Die Kosten für pastösen Versatz sind aufgrund von unbedingt notwendiger Bindemittelzugabe höher, und auch die Kosten für Transport steigen durch die hochviskose Versatzkonsistenz. Die Entwässerung des Versatzkörpers ist bei pastösem Versatz jedoch nicht erforderlich, da das Wasser durch ausreichende Bindemittelzugabe gebunden wird. Zusätzlich können aufgrund der Bindemittelzugabe Versatzkörper erhalten werden, die Festigkeiten von mehreren MPa aufweisen können. Die Bindemittelzugabe kann sich aufgrund der bei der Hydratationsreaktion entstehenden Wärme jedoch negativ auf das Grubenklima auswirken, was bei Grubenbewetterung und Klimatisierung berücksichtigt werden muss. Generell ist zu beachten, dass die Auswahl der geeigneten Versatzart vom jeweiligen Anwendungszweck abhängt. Sollte Versatz beispielsweise zur reinen Ablagerung von Taubmaterial eingebracht werden, liegt die Priorität in geringen Kosten und nicht in einer hohen Versatzkörperfestigkeit.

4. Versatzsystemversagen

Versatzsystemversagen können als Folge der Zubereitung des Versatzproduktes aufgrund von ungeeigneten Materialien oder Mischungsverhältnissen, beim Transport durch Rohrleitungen und Bohrlöcher oder nach der Einbringung aufgrund unzureichender Verfestigung bzw. Überschusswasser auftreten. De Souza et al. (2004) beschreiben die Häufigkeit der Zwischenfälle in der Versatztechnik anhand des kanadischen Bergbaus (Abb. 1), wobei ähnliche Zusammenhänge auch in österreichischen Betrieben vorgefunden werden können. Insbesondere beim Transport durch Rohrleitungen und Bohrlöcher treten Zwischenfälle wie verstopfte Rohrleitungen auf, was eines der häufigsten Versatzsystemversagen darstellt [11]. Bei blockierten Rohrleitungen liegt der Grund häufig in der Ablagerung von feinkörnigen Versatzproduktanteilen, welchen auch das Bindemittel angehört, in horizontalen Rohrabschnitten. Im Falle von bindemittelverfestigtem Versatz kommt es in die-

Abb. 1: Als Beispiel: Versatzsystemversagen im kanadischen Bergbau [11]

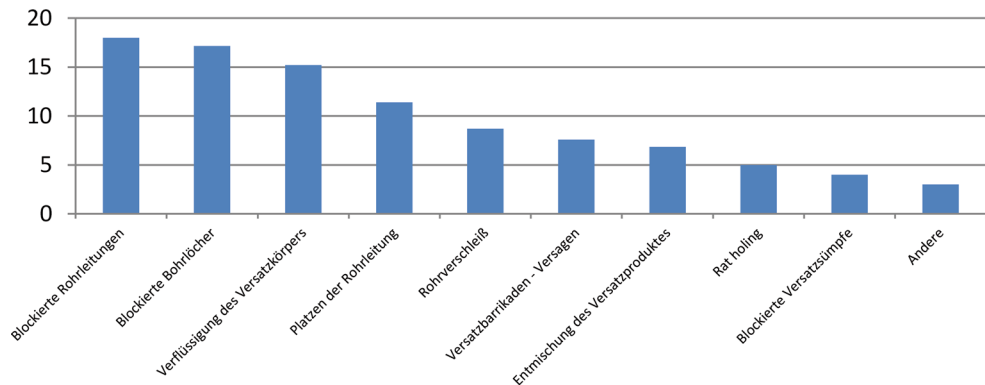


Abb. 2: „Opfer“-Rohrteil eines Versatzsystems [12]

sen Bereichen folglich zur Verfestigung dieser Materialansammlungen, was in weiterer Folge zur Verstopfung der Rohrleitungen führen kann. Weitere Probleme treten sowohl in Zusammenhang mit dem Platzen von Rohrleitungen aufgrund von Verschleiß als auch mit versagenden Versatzbarrikaden auf [11].

Um verstopfte Rohrleitungen zu vermeiden, sollten die Fließeigenschaften des Versatzproduktes regelmäßig überwacht sowie eventuell Verzögerer zugegeben werden, um eine verfrühte Hydratationsreaktion des Bindemittels in den Rohrleitungen zu verhindern. Sollte der Fließvorgang in den Rohrleitungen zum Stillstand kommen und kein Wiederinitiiieren des Flusses möglich sein, ist der erste Ansatz, eine vorhandene redundante Pumpe einzusetzen, um mehr Pumpendruck zur Verfügung zu haben. Wenn dies nicht funktionieren sollte, muss eine Notfall-Hochdruckpumpe verwendet werden, um den Fluss wieder voranzutreiben [12].

Auch Hochdruckluft kann eingesetzt werden, um Bohrloch- bzw. Rohrblockaden aufzulösen. Diese Methode ist jedoch höchst kritisch einzuschätzen, da es zu enormen Drücken in den Rohrleitungen kommen und schlussendlich zu fatalem Platzen der Rohre führen kann. Diese Methode sollte daher nur bei verstopften Bohrlöchern verwendet werden, da dieses Risiko hier nicht besteht [12].

Eine weitere Möglichkeit zur Bewältigung von verstopften Rohrleitungen ist die Konstruktion von „Opfer-Rohrteilen“ am Ende einer vertikalen Rohrleitung oder eines vertikalen Bohrloches (Abb. 2). Diese Abschnitte stellen höchst kritische Stellen bezüglich Rohrverstopfungen dar und können dergestalt konstruiert werden, dass durch Anbringen kleiner Sprengladungen das Rohrteil inklusive der Blockade aufgesprengt werden kann. Zusätzlich verursacht die Detonation eine Schockwelle, die sich durch das gesamte Rohr- bzw. Bohrlochsystem ausbreitet, durch diese plötzliche Einwirkung das Versatzprodukt von der Leitungswand löst und somit den Fluss des Produktes wiederherstellt. Diese Methode ist jedoch als drastisch, wenn auch effektiv einzustufen und sollte nur in Ausnahmefällen verwendet werden [12].

Die durch blockierte Rohrleitungen verursachte verzögerte Einbringung des Versatzproduktes in den Hohlraum kann als weiteres Versatzsystemversagen angesehen werden. Für die Wirkung von Versatz zur Stabilisierung der Hohlräume ist eine nach Auffahrung der Hohlräume möglichst zeitnahe Verfüllung erforderlich. Untersuchungen haben gezeigt, dass die laterale Verformung von Bergfesten zwischen Abbaukammern zum Stillstand kommt, sobald die Hohlräume verfüllt sind. Jede Verzögerung in der Verfüllung führt zu rasch ansteigenden Verformungen, die die Stabilität des Gesamtsystems beeinträchtigen können.

5. Versatzeigenschaften

Um ein Versatzsystem effizient und wirtschaftlich auslegen zu können, ist die Kenntnis der zu berücksichtigenden Versatzeigenschaften erforderlich. Bezogen auf die Versatzeigenschaften muss eine Unterscheidung zwischen Eigenschaften getroffen werden, die Einfluss auf die Stabilität des Versatzkörpers sowie auf das Transportverhalten des Versatzproduktes haben.

Laut Helms (1988) müssen die folgenden Versatzeigenschaften bei der Versatzsystemauslegung berücksichtigt werden [13]:

- Mineralogie und Petrographie der Ausgangsmaterialien,
- Korngrößenverteilung,
- Feinstkornanteil und maximale Korngröße,
- Art und Menge des Bindemittels,

TABELLE 1

Versatzeigenschaften und Prüfmethode [13, 14]

Eigenschaft	Prüfmethode
Chemie und Mineralogie	Übliche Methoden: Mikroskopie, Röntgendiffraktometrie, Elektronenmikroskopie
Korngrößenverteilung	Übliche Methoden: Siebanalysen, Sedimentationsanalysen
Feinkornanteil	Übliche Methoden: Siebanalysen, Sedimentationsanalysen
Wassergehalt	Trocknen und Wiegen
Dichte	Übliche Methoden: Gravimetrie, Volumetrie, Radiometrie
Verdichtungsfähigkeit	Ödometertest, Kompaktionstest
Permeabilität und Drainageeigenschaften	Perkolations-Rohr-Versuch
Konsistenz und Viskosität (Fließeigenschaften)	Setzversuch, Vane Scher-Viskosimeter, Pipe loop test, L-Typ Rohr-Widerstandstest
Einaxiale Druckfestigkeit	Einaxialer Druckversuch
Scherparameter	Mittels c' und ϕ' in einem Standard-Dreiaxialen Druckversuch

- Art der Zusätze,
- Wassergehalt,
- Wasser:Bindemittel Verhältnis,
- Porosität und Dichte,
- Innere Reibung und Kohäsion,
- Permeabilität,
- Konsistenz und Viskosität,
- Festigkeit,
- Gewicht-Volumen Verhältnis.

Es muss erwähnt werden, dass diese Parameter nur das Versatzmaterial selbst betreffen und sich nicht auf Versatzprodukt herstellung, Lagerung, Verwitterung und Prüfmethode beziehen.

Für die Auslegung eines geeigneten Versatzproduktes hängen die Anforderungen für die optimale Korngrößenverteilung sowie für den Feinstkornanteil vom jeweiligen Versatztyp ab. Diese Parameter beeinflussen in erster Linie das Transportverhalten des Versatzproduktes sowie die Lagerungsdichte im untertägigen Hohlraum. Auch der Wassergehalt hängt stark von den Ausgangsprodukten ab und wird je nach Versatzart angepasst. Das Wasser:Bindemittel Verhältnis spielt bei pastösem Versatz eine sehr große Rolle, da gewährleistet werden muss, dass das gesamte vorhandene Wasser in die Hydratationsreaktion mit eingeht. Sollte Überschusswasser vorliegen, muss dieses abgezogen werden, um die Bildung von Porenwasserdrücken zu vermeiden und somit das Risiko des Verflüssigens des Versatzkörpers zu unterbinden.

Die Bedeutung von Versatzeigenschaften wie die finale Festigkeit des Versatzkörpers hängt maßgeblich vom jeweiligen Verwendungszweck ab. Die Festigkeit als Einflussfaktor spielt bei Versatz als Stabilisierungselement eine Rolle, wenn der Versatz als Arbeitsplattform für Maschinen dient, sowie bei freistehenden Versatzkörpern. Einen wesentlich größeren Einfluss hat das Last-Verformungsverhalten des Versatzkörpers, da steifer Versatz wesentlich früher Last aufnehmen kann als weicher. Das Last-Verformungsverhalten kann durch Bindemittelzugabe und Optimierung der Korngrößenverteilung wesentlich beeinflusst werden.

6. Messtechnik von Versatzeigenschaften

Die kontinuierliche Prüfung des Versatzproduktes und seiner Eigenschaften stellt einen bedeutenden Teil der Versatztechnik dar und beeinflusst die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Abbauverfahrens. Da das Versatzsystem auf Basis von definierten Versatzeigenschaften ausgelegt wird, müssen diese regelmäßig überwacht werden. Die Hauptzuschlagstoffe für Versatzprodukte sind Taubmaterial bzw. Aufbereitungsabgänge, weshalb die konstante Qualität des Materials nicht garantiert werden kann, was in weiterer Folge eine Herausforderung für kontinuierliche Versatzeigenschaften und adäquate Prüfmethode darstellt. Die herangezogenen Prüfmethode kommen meist aus Regelwerken und Normen der Betontechnik, für Boden oder für Gestein, da nach wie vor kein Regelwerk für Versatzmaterial existiert [14].

In Tab. 1 sind die wichtigsten Versatzeigenschaften und die Prüfmethode für diese Eigenschaften dargestellt.

Hier muss erwähnt werden, dass generell nur die Eigenschaften überprüft bzw. überwacht werden müssen, die Einfluss auf den jeweiligen Einsatzzweck des Versatzproduktes haben.

Die Relevanz der Laborversuche für das In situ-Verhalten ist jedoch limitiert, da es sich um Tests zur Feststellung der Versatzprodukteigenschaften und nicht um Tests zur Feststellung des Einflusses der Eigenschaften auf die Versatzwirkung handelt. Beispielsweise werden dreiaxiale Druckversuche unter Labor-Bedingungen durchgeführt, bei welchen mit Hydrauliköl die Umschlingungsspannung simuliert wird. Dies führt zu einem ungleichförmigen Bruch, welcher nicht In situ-Bedingungen entspricht. Weiters werden die Versuche unter Normbedingungen bezüglich Lagerung und Versuchsablauf durchgeführt, was nicht die Realität widerspiegelt. Laborversuche sind jedoch sehr nützlich, um Versatzeigenschaften festzustellen und geben je nach individuellen Anforderungen an das Versatzprodukt einen Hinweis, welches Verhalten in situ erwartet werden kann. Wichtig ist es, die Ergebnisse der Laborversuche sorgfältig zu analysieren und sie auf Basis der In situ-Bedingungen zu interpretieren.

7. Schlussfolgerungen

Das Ziel der Arbeit war es, die Rolle von Versatz als essentiellen Teil der Bergbauaktivitäten zu beschreiben. Die Arbeit gibt einen Überblick über die Versatztechnologie, wobei sich einige wichtige Fragestellungen gezeigt haben, die in weiterer Folge zusätzliche Untersuchungen verlangen. Als kritisch muss angesehen werden, dass die Erstellung eines allgemeingültigen Regelwerks für die Versatztechnik nicht möglich ist, da jedes Versatzsystem sowie auch jede Lagerstätte ein Unikat darstellt. Aufgrund der vielfältigen Gründe für die Verfüllung von Hohlräumen gibt es je nach Einsatzzweck und örtlichen Gegebenheiten unterschiedliche Anforderungen an das Versatzmaterial, das Versatzprodukt und den Versatzkörper. Es ist beispielsweise nicht sinnvoll, eine grundsätzlich notwendige Festigkeit eines Versatzkörpers vorzuschreiben, wenn diese aus gebirgsmechanischer Sicht nicht erforderlich ist, oder einen Bindemittelgehalt festzulegen, wenn mit einem anderen Bindemittel in kleineren Mengen gleichwertige oder bessere Versatzeigenschaften erzielt werden können. Zusätzlich zu gewissen gebirgsmechanischen Fragestellungen bezüglich der Wechselwirkungen zwischen Bruchvorgängen im Gebirge und der Versatzeinbringung stellt die Individualität jedes Versatzsystems eine große Herausforderung der Versatztechnologie dar.

Open access funding provided by Montanuniversität Leoben

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

1. Hohl, W.; Frömmer, T.: Die Versatzrichtlinie des BVÖ: Ein Leitfaden für die zeitgemäße Planung eines Versatzsystems, BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 158 (2013), S. 410–423
2. Moser, A.: State of the Art of Backfill Technology in Underground Mining Excavations. Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, 2014
3. Potvin, Y.; Thomas, E.; Fourie, A. (Eds.): Handbook on Mine Fill, Netherlands: Australian Centre of Geomechanics, 2005
4. Hartman, H. L. et al (Eds.): SME Mining Engineering Handbook, 3rd edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1992
5. Brady, B. H. G.; Brown, E. T.: Rock mechanics for underground mining, 3rd edition, Springer Science, 2005
6. Wagner, H.: The challenge of deep-level mining in South Africa, Journal of the South African Institute for Mining and Metallurgy, 86 (1986), no 9, pp. 377–392
7. Österreichisches Bundesgesetz, Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 - AWG 2002)
8. Österreichisches Bundesgesetz, Bundesgesetz über mineralische Rohstoffe (Mineralrohstoffgesetz - MinroG): MinroG
9. Österreichisches Bundesgesetz, Bundesgesetz vom 7. Juni 1989 zur Finanzierung und Durchführung der Altlastensanierung (Altlastensanierungsgesetz): ALSAG, 1989
10. Y. Yao; Cui, Z.; Wu, R.: Development and Challenges on Mining Backfill Technology, Journal of Materials Science Research, 1 (2012), no 4
11. De Souza, E.; Archibald, J. F.; Dirige, A. P.: Underground backfill practices in Canadian Mines, American Rock Mechanics Association: Gulf Rocks 2004, the 6th North America Rock Mechanics Symposium (NARMS), 5-9 June, Houston, Texas, 2004
12. Jewell, R. J.; Fourie, A. B. (Eds.): Paste and Thickened Tailings - A Guide, Australian Centre of Geomechanics, 2nd edition, 2006
13. Helms, W.: Eigenschaften, Anwendung und gebirgsmechanische Auswirkungen des bindemittelverfestigten Versatzes, Habil.-Schrift, Clausthal, TU Bergakademie, 1988
14. Hohl, W.: Stand der Prüf- und Untersuchungsverfahren für Versatz, BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 154 (2009), S. 74–79