

Optimisation of Salt Extraction at Heilbronn Mine by a Combination of Conventional and Cutting Mining Technology

Heilbronn mine, which is owned by Südwestdeutsche Salzwerte AG, Heilbronn/Germany, has for many years been producing rock salt by both conventional mining and mechanical cutting, the two methods being operated separately. With the rearrangement of the mining sections the mine has now recently managed to combine the two techniques in such a way that staff productivity has been increased, average production costs reduced and the mine's

delivery capability improved, even when customer demand is at a very high level. In these "combination sections" the bottom bench of the mining panel is excavated by continuous miner machines while the upper bench is subsequently excavated by drilling and blasting. This paper describes the background to this new production method together with the challenges to be faced and the objectives that have been set.

Optimierung der Steinsalzgewinnung im Bergwerk Heilbronn durch Kombination von konventioneller und schneidender Abbautechnik

Über viele Jahre wurde im Bergwerk Heilbronn der Südwestdeutschen Salzwerte AG die Gewinnung von Steinsalz durch Verfahren der konventionellen und schneidenden Gewinnung getrennt voneinander betrieben. Durch Neuzulage der Abbaureviere ist es jüngst gelungen, beide Verfahren erfolgreich miteinander so zu kombinieren, dass die Personalproduktivität erhöht, die Stückkosten der Produktion gesenkt und die Lieferfähigkeit des Berg-

werks auch bei stark erhöhtem Mengenbedarf verbessert werden kann. Im sogenannten Kombinationsrevier wird die untere Ebene der Salzlagerstätte mit Continuous Minern aufgefahren, während die obere Ebene sprengtechnisch hereingewonnen wird. Der Artikel diskutiert die Hintergründe, Herausforderungen und Ziele des neuen Abbauverfahrens.

1 Introduction

Heilbronn mine, which is owned by Südwestdeutsche Salzwerte, has been extracting rock salt from depths of around 200 m since 1885. The deposit is flat-lying with excavation heights of at least 10 m in thickness. The deposit is being excavated in room-and-pillar fashion with long pillars.

In 2006 the mine decided to introduce mechanical cutting technology with continuous miner machines to support the conventional drilling and blasting method that had long been used. The initial intention here was to be able to extract deposits lying below densely populated parts of the town without causing undue noise and vibration interference for the local inhabitants.

Up until quite recently the conventional and mechanical cutting sections were operated separately and in parallel. Operating experience soon indicated, however, that the procedures used for mechanical cutting had further advantages to offer – and indeed some drawbacks too – and that these had to be weighed up against the conventional drill and blast system. An analysis of the

1 Einleitung

Seit dem Jahr 1885 wird im Bergwerk Heilbronn der Südwestdeutschen Salzwerte AG Steinsalz in ca. 200 m Teufe abgebaut. Die Lagerstätte ist flach-liegend und massiv mit gewinnbaren Mächtigkeiten von minimal 10 m ausgeprägt und wird im Kammerbau mit Langpfeilern bewirtschaftet.

Im Jahr 2006 wurde im Bergwerk Heilbronn neben dem konventionellen Bohr- und Sprengverfahren auch die schneidende Gewinnung von Steinsalz mit Continuous Minern eingeführt. Damit wurde zunächst das Ziel verbunden, Abbaureviere auch unterhalb dichtbesiedelter Gebiete in Betrieb nehmen zu können, ohne dass es zu lärm- oder erschütterungsbedingten Beeinträchtigungen an der Tagesoberfläche kommt.

Bis in die jüngste Vergangenheit wurden konventionelle und schneidende Abbaureviere parallel und unabhängig zueinander betrieben. Die Betriebserfahrung zeigte aber auch früh, dass die Prozessgestaltung mit schneidender Gewinnung weitere Vorteile – wie auch Nachteile – mit sich bringt, die es im Vergleich zum

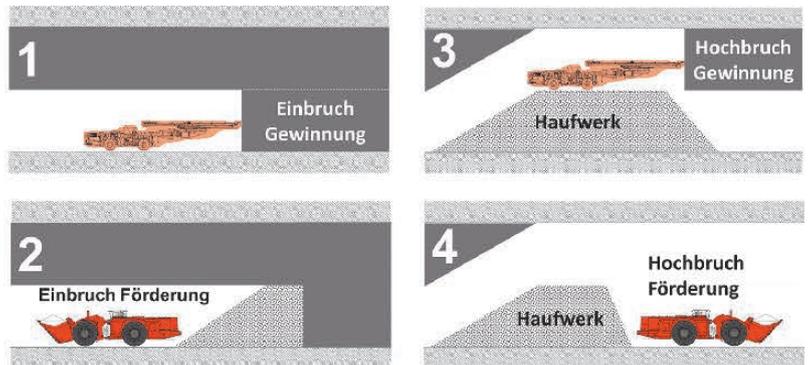


Fig. 1. Schematic representation of conventional winning and conveying in the bottom cut and top cut of the deposits.

Bild 1. Schematische Darstellung der konventionellen Gewinnung und Förderung im Einbruch und Hochbruch der Lagerstätte. Source/Quelle: SSW

different outlays associated with both systems then concluded that there was a huge potential for improvement in combining the two methods to create a completely new working process.

This has now been put into practice with a dedicated section reef and the new system has already been tested within the framework of a pilot project. The long-term objective is to convert all the underground salt extraction and transport operations to this new system. The background to the project, the aims of the new combination system and the challenges it will have to face along the way are all discussed in the following pages, beginning with a detailed analysis of the mechanical cutting and conventional mining systems that had previously been in common use at the mine.

2 Conventional mining and mechanical cutting at Heilbronn mine

The sequence of operations used for extracting the Heilbronn salt deposits by conventional drilling and blasting is as follows (Figure 1):

At first, the lower bench of the deposit is extracted in at least five parallel rooms on either side of the section conveyor belt. The dimensions of the rooms at the lower bench are about 15 x 5 m (w x h). The blasting pattern calls for large-diameter holes to be drilled in order to create the free face that is required, along with up to 75 small-diameter blast holes each drilled to a depth of 7 m. After firing the rock salt pile is transported by LHD loaders to the section belt conveyor and the newly exposed face is made safe by mechanised scaling before the shotfiring cycle can be continued over a final room length of about 250 m.

After lower bench excavation has been completed the next step is to blast out a wedge in the upper bench of the deposits, working from the end of the room, and then to use bulldozers to create a ramp from the debris pile. This serves as an access route to the upper bench. In contrast to the bottom cut the top bench only requires 30 holes to be drilled for each round of shots. The large holes can also be dispensed with, which makes for a much higher productivity level and a superior economic performance in this stage of the operation.

Only about 20% of the material pile produced from the upper bench blasting needs to be loaded out, the remaining 80% being levelled off to create a temporary travelway for the next point of attack in the upper cut. Only when the top bench has been extracted over the entire length of the room, and the latter has been fully secured, can the pile be taken up by the loaders and transported to the district conveyor.

konventionellen Verfahren abzuwägen gilt. Insbesondere die Betrachtung der unterschiedlichen Prozessaufwände legte aber den Schluss nahe, dass gerade die Kombination beider Verfahren in einem neuen Prozess erhebliche Verbesserungspotentiale mobilisieren könnte.

Dies ist nun durch eine geeignete Revierzulage technisch gelungen und bereits im Rahmen eines Pilotprojekts erfolgreich umgesetzt. Langfristig wird das Ziel verfolgt, die gesamte untertägige Gewinnung und Förderung von Steinsalz auf dieses Verfahren hin umzustellen. Die Hintergründe, Herausforderungen und Ziele des neuen Kombinationsverfahren werden beginnend mit einer Detailbetrachtung der vormals üblichen Prozesse der schneidenden und konventionellen Gewinnung in den nachfolgenden Kapiteln beleuchtet.

2 Prozesse der konventionellen und schneidenden Gewinnung im Bergwerk Heilbronn

Im klassischen Bohr- und Sprengverfahren ist die Sequenzierung des Salzabbaus in der Heilbronner Lagerstätte wie folgt (Bild 1):

Zunächst wird die untere Scheibe der Lagerstätte im sogenannten Einbruch in mindestens fünf parallelen Räumen auf beiden Seiten des Revierbandförderers abgebaut. Die Dimensionen der Kammern in der unteren Ebene entsprechen ca. 15 x 5 m (B x H). Das Sprengschema erfordert die Erstellung von Großlöchern zur Schaffung von Freifläche und bis zu 75 Bohrlöcher mit einer Länge von jeweils 7 m. Nach der Sprengung wird das gebrochene Steinsalz mit LHD-Fahrzeugen zum Revierförderer transportiert und das freigelegte Gebirge durch maschinelles Berauben gesichert, bevor der Sprengvortrieb zyklisch auf eine endgültige Raumlänge von ca. 250 m fortgesetzt werden kann.

Nach Fertigstellung der Auffahrung der unteren Ebene wird als nächstes vom Kammerende her ein Keil in die obere Scheibe der Lagerstätte gesprengt und das entstandene Haufwerk von Planierraupen zu einer Rampe arrangiert. Die Rampe dient als Fahrweg in die obere Scheibe der Lagerstätte. Im Gegensatz zum Einbruch benötigt die Gewinnung im Hochbruch nur eine Anzahl von 30 Bohrlöchern je Abschlag. Auch kann hier auf das Großloch verzichtet werden, was zu einer deutlich höheren Produktivität und überlegenen Wirtschaftlichkeit in diesem Prozessschritt führt.

Das während der Hochbruchgewinnung gebildete Haufwerk darf nur zu etwa 20% abgefördert werden, damit die restlichen 80% nach Einplanung als vorübergehender Fahrweg zum

Alternatively, the salt from the top bench can also be left inside the rooms for long-term storage. This provisioning strategy is extremely beneficial for the mine when it is managed strategically. The stockpile does not entail any additional costs and it provides real security of supply, even in a highly volatile sales market.

Since 2006 the mine has also operated a number of continuous miner machines that can extract the salt by mechanical cutting. The advantage of mechanised mining is that emissions, and especially vibrations, can be reduced to zero and as a result production sections can be set up underneath densely populated areas. The sequence of operations used for mechanical extraction is as shown in the diagram (Figure 2):

The continuous miner first cuts a ramp in the upper bench of the deposits (this is called the top cut) and working at this level it then excavates several parallel rooms up to 300 m in length. It then returns to the bottom level (the bottom cut) where it repeats the process for all the rooms until the full room length is exposed over the entire working thickness of 10 m. In both these phases the excavated material is transported to the section belt conveyor by dump-box trucks.

In terms of costs the mechanical extraction process corresponds approximately to the average cost of the conventional mining method with its bottom and top bench extraction. The downside of the mechanical extraction with continuous miners is that there is no stocking strategy possible.

Since the introduction of continuous miner technology the cutting winning system has operated completely independently of and spatially separated from the conventional mining districts, though with different strategic priorities over the years. The first of these strategies consisted of increasing the continuous miner fleet to as many as four machines and extending their contribution to the mine's overall output to about 80 % (Figure 3). At the high point of this development each continuous miner was producing around 1.1 Mt/a on average.

The production peak also involved a high level of expenditure, particularly as far as manpower and maintenance were concerned. In order to find a more cost-effective production level the specific annual output of the continuous miner machines was reduced over the following years, as was the size of the fleet. Over the recent period of 2014 to 2020 it was a rough rule of thumb that cutting winning should make up about 60 % of total annual production, with

nächsten Angriffspunkt im Hochbruch erhalten bleiben. Erst nachdem der Hochbruch auf gesamter Kammerlänge hereingewonnen und die Kammer vollständig gesichert ist, wird das Haufwerk mittels LHD zum Revierbandförderer gebracht.

Alternativ kann das Hochbruchsalz auch langfristig in den Kammern eingelagert bleiben. Dieser Bevorratungseffekt ist für das Bergwerk von großem Vorteil, wenn er strategisch gesteuert wird. Er entsteht ohne zusätzliche Kosten und bietet Versorgungssicherheit auch in stark schwankenden Absatzmärkten.

Seit 2006 betreibt das Bergwerk auch mehrere Continuous Miner zur schneidenden Gewinnung von Steinsalz. Der Vorteil des mechanischen Schneidens besteht darin, dass die Emissionen, insbesondere Erschütterungen, auf Null reduziert werden können, wodurch Produktionsreviere unter dicht besiedelten Gebieten möglich sind. Die Sequenzierung der schneidenden Gewinnung läuft nach folgendem Schema (Bild 2):

Zuerst schneidet der Continuous Miner eine Rampe in die obere Scheibe der Lagerstätte (hier Oberschnitt genannt), wo er mehrere parallele Räume bis zu 300 m Länge auffährt. Dann zieht er sich in die untere Ebene zurück (Unterschnitt), wo der Vorgang für alle Räume wiederholt wird, bis die Gesamtabbaumächtigkeit 10 m auf voller Kammerlänge beträgt. In beiden Fällen erfolgt der Haufwerkstransport zum Revierförderer per Schiebekastenfahrzeug.

Aus Kostensicht entspricht der Prozess der schneidenden Gewinnung in etwa den durchschnittlichen Kosten des konventionellen Abbaus im Einbruch und Hochbruch. Der Nachteil der schneidenden Gewinnung mit Continuous Minern besteht darin, dass kein Bevorratungseffekt auftritt.

Seit Einführung der Continuous Miner wurde die schneidende Gewinnung vollständig unabhängig und räumlich getrennt vom konventionellen Abbau durchgeführt, jedoch im Lauf der Zeit mit unterschiedlichen strategischen Schwerpunkten. Eine erste Strategie bestand darin, die Flotte der Continuous Miner auf bis zu vier Maschinen und deren Beitrag zur Gesamtgewinnung des Bergwerks auf etwa 80 % zu erhöhen (Bild 3). Auf dem Höhepunkt dieser Entwicklung produzierte jeder Continuous Miner etwa 1,1 Mio. t/a im Durchschnitt.

Dieses Maximum an Produktion erforderte auch hohe Aufwendungen, insbesondere im Personal- und Instandhaltungsbereich. Um ein wirtschaftlicheres Produktionsniveau zu finden, wurde die spezifische Jahresleistung der Continuous Miner und die

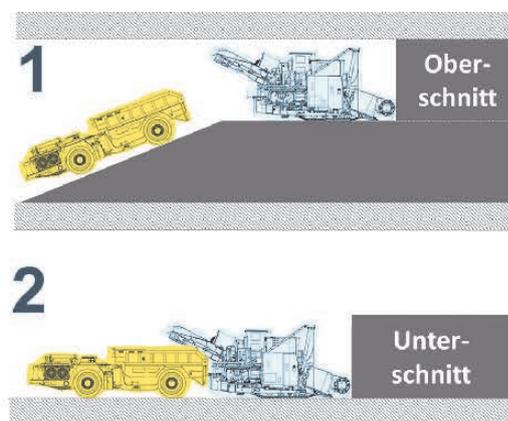


Fig. 2. Schematic representation of cutting winning and conveying in the overcut and undercut phases.

Bild 2. Schematische Darstellung der schneidenden Gewinnung und Förderung im Ober- und Unterschnitt der Lagerstätte. Source/Quelle: SSW

the remaining 40% coming from conventional mining, the latter again divided 60/40 for bottom and top bench excavation. In this mixed calculation of the production processes the most favourable component, namely the conventional top bench excavation, was therefore clearly underrepresented.

3 Process assessment

While rock salt production costs are a key factor to be considered, other criteria can also be used to highlight the strengths and weaknesses of the different mining methods used at Heilbronn and provide recommendations that can lead to process improvements. The general conclusions reached are set out in the points below and presented in summary form in figure 4:

1. **Production costs:** As outlined above, the lowest specific extraction costs (€/t) are incurred for conventional top bench operations, while conventional bottom-bench extraction, by comparison, is the most expensive process. The costs incurred for mechanical extraction, which also include material transportation, work out as an average of the costs of the extraction and haulage operations in the conventional bottom and top bench mining.
2. **Quality:** The quality criterion in this case refers to the saleable grain size of the rock salt as produced by the mining process. The specific share of waste rock is one of the parameters that can be used to determine this quantity. The mechanised cutting of rock salt generates a relatively high amount of non-saleable fine material compared to conventional mining and so this process is given the lowest rating in the assessment matrix, whereas experience has shown that conventional mining of the top cut produces the most saleable grain sizes.
3. **Flexibility:** Flexibility in this case is defined as the capacity of the process to react appropriately to fluctuations in market demand, which at some times can be quite significant. All the extraction and haulage processes used at Heilbronn mine are to a certain extent suitable for the production of quite large additional quantities of salt based on the carefully managed deployment of extra manpower and/or overtime shifts. However it is essentially only the conventional top bench blasting operations, with their additional storage potential, that can provide an almost failsafe guar-

Kriterien	CM Gewinnung Förderung	B&S Einbruch Gewinnung	B&S Hochbruch Gewinnung	B&S Einbruch Förderung	B&S Hochbruch Förderung
Kosten Spez. Aufwand zu Herstellung von Mengen und Arbeitssicherheit	/	-	+	/	/
Qualität Verwertbarkeit Rohstoff im Produkt	-	/	+	/	/
Flexibilität Anpassung an schwankenden Mengenbedarf	/	/	+	/	+
Integration Informationsfluss, Kommunikations- und Koordinationsaufwand	+	-	/	/	+
Komplexität Möglichkeit zur Standardisierung und Automation	+	-	/	/	+
Emissionen Ü.T. wahrnehmbarer Lärm und Erschütterungen	+	-	-	/	/
Bilanz	++	----	++	/	+++

Vergleichsweise Bewertung der Prozesse untereinander: + vorteilhaft / neutral - nachteilig

Fig. 4. Relative assessment of the rock salt winning and conveying processes in use at Heilbronn mine. // Bild 4. Relative Bewertung der Gewinnungs- und Förderprozesse zur Steinsalzgewinnung in Heilbronn. Source/Quelle: SSW

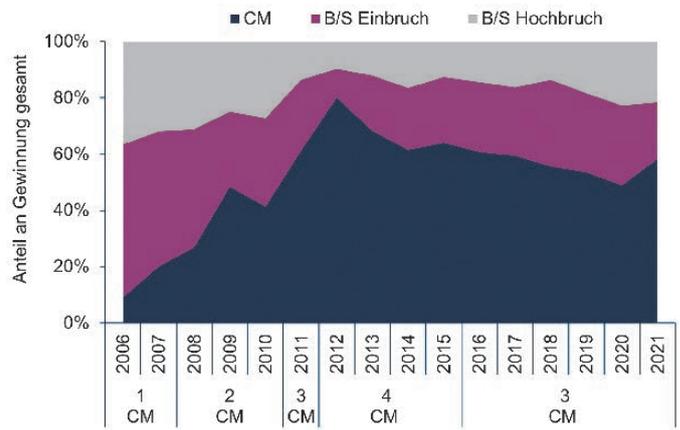


Fig. 3. Relative contribution of conventional and cutting winning at Heilbronn mine. // Bild 3. Relative Anteile der konventionellen und schneidenden Gewinnung im Bergwerk Heilbronn. Source/Quelle: SSW

Größe der Flotte in den Folgejahren reduziert. Für die letzten Jahre 2014 bis 2020 galt die ungefähre Faustregel, dass die schneidende Gewinnung zu etwa 60% der jährlichen Gesamtgewinnung beitrug, während sich die restlichen 40% des konventionellen Abbaus wieder in ein Verhältnis von 60/40 von Einbruch zu Hochbruch aufteilten. In der Mischkalkulation der Produktionsprozesse war der günstigste Prozess der Hochbruchgewinnung damit deutlich unterrepräsentiert.

3 Prozessbewertung

Neben Überlegungen zur Optimierung der Herstellungskosten von Steinsalz gibt es weitere Kriterien, welche die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Abbauverfahren in der Lagerstätte des Bergwerks Heilbronn beleuchten und Empfehlungen für Prozessoptimierungen geben können. Eine Zusammenfassung dieser Erkenntnisse ist in den folgenden Punkten detailliert und zusammenfassend in Bild 4 dargestellt:

1. **Produktionskosten:** Wie bereits diskutiert, sind die spezifischen Kosten der Gewinnung (€/t) für die konventionellen Hochbrüche am geringsten. Der konventionelle Einbruch ist dagegen der teuerste Prozess. Die Kosten der schneidenden Gewinnung, welche bereits die Förderung beinhalten, liegen im Durchschnitt der Kosten aus Gewinnung und Förderung im Einbruch und Hochbruch.
2. **Qualität:** Das Kriterium der Qualität bezieht sich hier auf die im Gewinnungsprozess entstandene verwertbare Körnungsverteilung des Steinsalzes und ist u.a. bestimmbar durch den spezifischen Anteil an Bergeversatz. Das mechanische Schneiden von Steinsalz erzeugt im Vergleich zum konventionellen Bergbau einen relativ höheren Anteil an nichtverwertbarem Feinmaterial und erhält daher in der Bewertungsmatrix die niedrigste Einstufung, während die konventionelle Gewinnung im Hochbruch erfahrungsgemäß zu den am besten verwertbaren Korngrößenverteilungen führt.
3. **Flexibilität:** Flexibilität wird hier als die Fähigkeit des Prozesses definiert, auf die teils sehr stark schwankende Marktnachfrage angemessen reagieren zu können. Alle Gewinnungs- und Förder-

antee when it comes to delivery capacity and that is why they get the highest ratings.

4. Integration: This criterion assesses how effectively the flow of information can be structured within the process and how high the requirements are for coordination and communication. Here the advantage clearly lies with mechanical cutting where – unlike the situation in conventional winning – personnel are not spread around at individual workplaces but operate in coordinated teams. In this case the workflow is affected by fewer variables and can deliver more stable performance figures, which makes it easier to plan and control. In a conventionally mined operation the top bench material haulage scores well, at any rate, as this can involve the movement of large volumes of material within clearly defined blocks and travelways and without any non-productive vehicle flitting times.
5. Complexity: This criterion examines how well suited a process is for standardisation and possibly automation. Here too mechanical mining has the upper hand. From a transport point of view market-ready systems are already available for the continuous haulage of the extracted material. In the non-continuous equipment sector too solutions have now been developed for the manless operation of underground loaders. On the mechanical cutting side a number of mines have already fitted automation systems to their continuous miners for the “final cut”, including the loading of the dump-box trucks. There is huge potential here for future development. On the conventional mining side the top bench material haulage again scored highly, as it did in the previous category.
6. Emissions: In addition to the emission of the nitrous gases associated with the blasting operations, which have to be rendered harmless as quickly as possible, the main strategic drawback of the conventional mining method is the vibration problem that it causes above ground. This is where the mechanical cutting system wins out.

In terms of production optimisation the assessment matrix (Figure 4) therefore raises the proposition of reorganising and weighting the quantity proportions of the different processes in such a way that those delivering positive results are given dominant roles to play. In result this means having a combination of mechanical cutting and conventional top bench mining with a possible maximal share of conventional top bench blasting. Achieving this objective calls for a revised layout of the underground workings, as will be described below.

4 Combination of production methods in the new mine layout

In order to combine mechanical cutting and conventional top bench mining a new production layout was developed and tested, as schematically shown in figure 5. The new layout mirrors along a central intake-air road that is equipped with the section belt conveyor, feeder conveyors and feeder breakers. The mining blocks, each comprising six parallel rooms and associated cross-cuts, run out from this point and are turned through 90° to the side.

In phase 1 of the mining process – left side of the schematic presentation in figure 5 – mechanical cutting is devised to extract the central roads at bottom and top level, the rooms and respective

prozesse des Bergwerks Heilbronn sind in gewissem Umfang dazu geeignet, durch gesteuerten Einsatz von Zusatzpersonal und/oder Überzeiten erhebliche Mehrmengen zu produzieren. Ein hohes Maß an Versicherung der Lieferfähigkeit bieten jedoch nur die Hochbrüche mit ihrem Bevorratungspotential, die deshalb die höchste Bewertung erhalten.

4. Integration: Dieses Kriterium bewertet, wie gut der Informationsfluss im Prozess strukturiert werden kann und wie hoch die Anforderungen an Koordination und Kommunikation sind. Hier liegt der Vorteil deutlich bei der schneidenden Gewinnung. Im Gegensatz zur konventionellen Gewinnung arbeiten die Mitarbeiter nicht in Einzelarbeitsplätzen, sondern in möglichst eingespielten Teams. Der Arbeitsablauf wird von weniger Variablen beeinflusst, liefert stabilere Kennzahlen und ist deshalb besser plan- und steuerbar. Im konventionellen Betrieb punktet zumindest die Förderung der Hochbrüche, da sie für große Volumina innerhalb klar definierter Blöcke und Fahrwege ohne unproduktive Umsetzzeiten des Fahrzeugs stattfinden kann.
5. Komplexität: Hier wird betrachtet, wie gut sich ein Prozess für Standardisierung und ggf. Automatisierung eignet. Auch hier liegen die Vorteile in der schneidenden Gewinnung. Förderseitig bestehen bereits marktreife Systeme zur kontinuierlichen Abförderung des gewonnenen Materials. Auch in der diskontinuierlichen Förderung existieren Lösungen zum Mannlosfahren von Ladefahrzeugen. Gewinnungsseitig ist am Continuous Miner in manchen Bergwerken bereits der „letzte Schnitt“ inklusive Beladung des Schiebekastenfahrzeugs automatisiert worden. Hier zeigt sich noch viel Entwicklungspotential für die Zukunft. Im konventionellen Betrieb punktet in Analogie zum vorangegangenen Kriterium erneut die Förderung der Hochbrüche.
6. Emissionen: Neben der mit der Sprengung verbundenen Entstehung nitroser Gase in der Grube, die durch geeignete Bewetterung möglichst schnell unschädlich zu machen sind, stellen vor allem die Erschütterungen an der Tagesoberfläche einen erheblichen strategischen Nachteil der konventionellen Gewinnung dar. Hier kann gewinnungsseitig nur die schneidende Gewinnung punkten.

Aus der Bewertungsmatrix (Bild 4) ergibt sich im Sinne der Betriebsoptimierung folglich der Gedanke, die Mengenanteile der Prozesse neu aufzustellen und so zu gewichten, dass überwiegend Prozesse mit positiver Bilanz vertreten sind. Im Fazit also eine Kombination aus schneidender Gewinnung und konventionellen Hochbrüchen mit maximalem Hochbruchanteil an der Gesamtmenge. Für die Realisierung dieses Ziels ist ein neuen Revierzuschnitt erforderlich, wie im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird.

4 Kombination der Abbaumethode im neuen Revierzuschnitt

Zur Kombination der schneidenden mit der konventionellen Gewinnung im Hochbruchverfahren wurde ein neues Revier entwickelt und erprobt, wie es schematisch in Bild 5 dargestellt ist. Das Revier spiegelt sich entlang einer zentralen Förder- und Frischwetterstrecke mit Revierband und Aufgabeförderern bzw. -brechern, von der aus sich die seitlich um 90° gedrehten Gewinn-

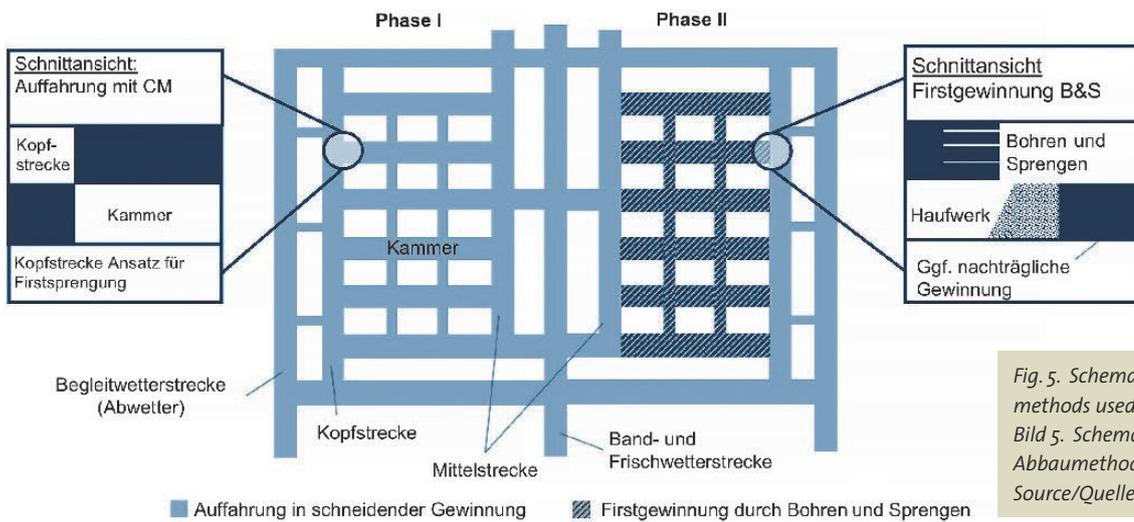


Fig. 5. Schematic layout and winning methods used for the combination district. Bild 5. Schematischer Zuschnitt und Abbaumethodik im Kombinationsrevier. Source/Quelle: SSW

cross-cuts at bottom level and the head road and exhaust-air road at top level only. The head road is used in the subsequent phase 2 (right side of the schematic layout) as an access route and starting point for the conventional mining of the rooms using the top bench blasting method and when the top benches have been successfully excavated it too is taken by drilling and blasting.

Within the reference system this sequence of processes creates an overall quantity ratio of 60/40 between mechanical extraction and top bench blasting, which is in agreement with the objective of maximum top bench conventional production.

In phase 1 the workplaces are ventilated by a flow of fresh air via the central axis and an auxiliary ventilation system (fans and ducting with connection to the return air circuit) is then used to direct this airflow specifically towards the heading face. In phase 2 the rooms are already connected to the parallel exhaust airway and any diesel motor emissions and shotfiring fumes produced can be dissipated with the aid of the through ventilation circuit.

5 Workplace concentration

In order to improve the capacity of the new working arrangements even further a combination section was set up with a view to developing a concentrated working system. The process steps of phase 1 are to be completed by two continuous miners working in adjacent extraction blocks within the same section, a system that creates a correspondingly high annual conventional top bench capacity and offers the possibility of pooling the infrastructure and peripheral equipment, such as towing vehicles, trimmer-loaders and resting stations, thereby improving the utilisation rate and increasing the savings potential. Figure 6 provides a general overview of the various operating situations that this creates within the production district.

Concentrated workplaces of this kind do however raise a number of challenges, as outlined below:

- The time coordination required for continuous miner operations. This means having to take account of the fact that when starting to drive a new block the return airflow still requires the infrastructure of the preceding block, with the result that the latter remains temporarily unavailable for the top-cut phase.
- The spatial division of the working district in its top bench extraction phase in terms of mineral conveying and ventilation.

nungsblöcke von je sechs parallelen Kammern und zugehörigen Querörter erstrecken.

In Phase 1 der Auffahrung – beispielhaft auf der linken Seite von Bild 5 dargestellt – werden die Band- und Mittelstrecken in Ober- und Unterschnitt, die Kammern im Unterschnitt und die Kopf- und Begleitwetterstrecke im Oberschnitt ausgesetzt. Die Kopfstrecke dient in der späteren Phase 2 (rechte Seite in Bild 5) als Zufahrt und Ansatzpunkt für die konventionelle Gewinnung der Kammern im Hochbruchverfahren und lässt sich nach erfolgreicher Auffahrung der Hochbrüche ebenfalls sprengtechnisch hereingewinnen.

In Summe entstehen dadurch innerhalb eines Bezugssystems Mengenverhältnisse zwischen schneidender Gewinnung und Hochbruchgewinnung von 60/40, was dem Ziel der Hochbruchmaximierung Rechnung trägt.

Die Bewetterung der Betriebspunkte in Phase 1 erfolgt durch den Zustrom von Frischwettern über die zentrale Achse und wird gezielt durch Sonderbewetterung (Lüfter und Lutte mit Anbindung in den Abwetterbereich) an die Ortsbrust geleitet. In Phase 2 sind die Kammern bereits mit der Begleitwetterstrecke verbunden und die aufkommenden Dieselmotorenemissionen und Sprenggase können mithilfe unterstützter Durchgangsbewetterung abgeführt werden.

5 Betriebspunktkonzentration

Zur weiteren Optimierung der Auslastung des neuen Abbauschemas wird ein Kombinationsrevier mit dem Ziel der Betriebspunktkonzentration betrieben. Die Auffahrungsabschnitte der Phase 1 werden dabei von zwei Continuous Minern in benachbarten Abbaublocken eines Reviers durchgeführt, was zu entsprechend hohen jährlichen Hochbruchpotentialen und zur Möglichkeit des Zusammenlegens – d.h. höhere Auslastung bzw. Einsparpotential – von Infrastruktur und peripherem Revierequipment, wie z.B. Zugfahrzeugen, Putzladern oder Pausenplätzen, führt. Bild 6 vermittelt dazu einen Überblick der dabei entstehenden verschiedenen Zustände im Revier.

Mit dieser Betriebspunktkonzentration sind allerdings auch entsprechende Herausforderungen verbunden, u.a.:

- Die zeitliche Koordination des Einsatzes der Continuous Miner, bei der berücksichtigt werden muss, dass die Abwetter-

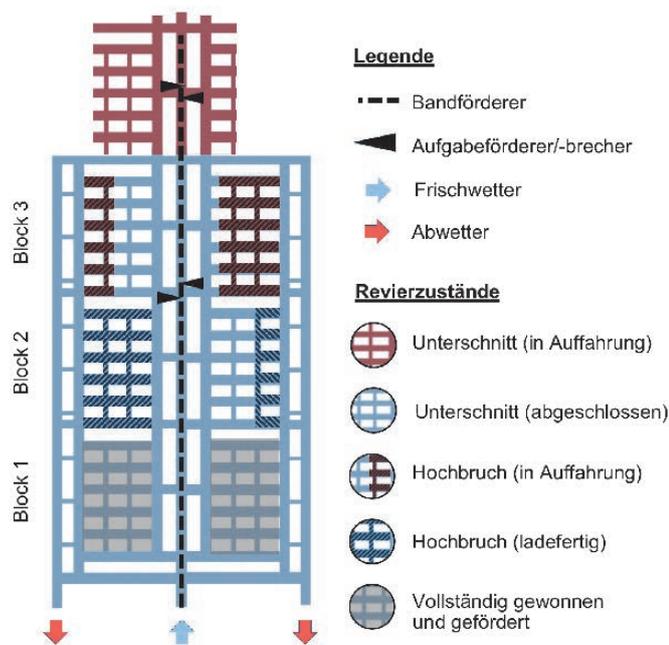


Fig. 6. Example showing developments and operating conditions in a combination district with two continuous miners.

Bild 6. Beispielhafte Entwicklung und Betriebszustände eines Kombinationsreviers mit zwei Continuous Minern. Source/Quelle: SSW

From a haulage point of view the optimum arrangement is to be able to manage as many as 12 parallel rooms from a single crusher point. From a ventilation perspective, however, it is preferable to have the blocks divided up into six rooms each so as to keep the restrictions imposed by waiting times to a minimum.

- The district belt conveying and belt feeder system with up to four feeder points in different configurations (2 x feeder conveyor, 2 x crushers in a mixed arrangement both end-on and sidewise to the belt installation) operating with variable product streams and a relatively high risk of belt drift and material overflow at the belt transfer points.
- The geological risk in the form of impoverishment or a significant fault zone in the deposits. While the likelihood of such problems occurring remains the same whatever, nevertheless in terms of their magnitude these events can now affect two continuous miners simultaneously. This operating risk can in turn be covered by maintaining higher reserve stocks of top bench salt.

These challenging situations all need to be properly monitored and addressed. And there is another issue that needs to be highlighted in respect of the combined working method in general: the advantage of greater top bench tonnages in the total production figure inevitably has the spillover effect that a relatively smaller proportion (~19%) of the salt mined on-shift is available to meet the direct needs of the processing plant and so an appreciable amount of this supply has to be regularly provided from existing top bench stocks. It was this factor that brought the concept of stock management into the mine planning process. This essentially means taking account of the fact that high initial stock levels must be kept available when converting to combination districts and that time-related commitments apply when it comes to the provision of future stock levels.

führung zu Beginn der Auffahrung eines neuen Blocks noch die Infrastruktur des vorangegangenen Blocks benötigt, und dieser dadurch temporär noch nicht für die Hochbruchgewinnung zur Verfügung steht.

- Die räumliche Aufteilung des Reviers im Hochbruchbetrieb nach Gesichtspunkten der Förderung und der Bewetterung. Aus fördertechnischer Sicht ist optimal, von einem Brecherstandort bis zu zwölf parallel liegende Kammern zu bewirtschaften. Aus wettertechnischer Sicht hingegen ist es optimal, die Blöcke zu je sechs Kammern aufteilen zu können, um Einschränkungen durch Auswetterzeiten gering zu halten.
- Die Revierbandförderung und Aufgabesteuerung bei bis zu vier Aufgabestellen in verschiedener Konstellation (2x Förderer, 2x Brecher, kombiniert vor Kopf und seitlich der Bandanlage) und bei schwankenden Mengenströmen, mit dem vergleichsweise erhöhten Risiko von Bandschieflauf und Überschüttung an Bandübergaben.
- Das geologische Risiko im Sinne einer Vertaubung oder maßgeblichen Störung der Lagerstätte, das der Eintrittswahrscheinlichkeit nach unverändert bleibt, aber im Ausmaß nun zwei Continuous Miner-Auffahrungen gleichzeitig betreffen kann. Dieses Risiko kann durch höhere Bestandsmengen an Hochbruchsalz wiederum versichert werden.

Die genannten Herausforderungen gilt es erfolgreich zu überwachen und zu steuern. Ein weiterer Aspekt ist für die kombinierte Abbaumethode im Allgemeinen hervorzuheben: Der Vorteil größerer Hochbruchtonnagen im Gesamtmengenaufkommen bringt zwangsläufig die Nebenwirkung mit sich, dass ein relativ geringerer Anteil (~19%) des auf Schicht gewonnen Salzes für die direkte Bedarfsdeckung der Aufbereitungsanlage zur Verfügung steht und damit zwangsläufig regelmäßig in nennenswertem Umfang aus bereits fertigen Hochbruchbeständen hinzugefördert werden muss. Dieser Umstand führt den Begriff des Bestandsmanagements in die Revierplanung ein, der im Wesentlichen berücksichtigen muss, dass für die Prozessumstellung auf Kombinationsreviere hohe Anfangsbestände vorhanden sein müssen und zeitliche Verbindlichkeiten zur Fertigstellung zukünftiger Bestände existieren.

6 Ausblick

Im Zusammenhang mit Kombinationsrevieren sind weitere Optimierungspotentiale zu untersuchen:

Zum einen ist dies eine mögliche Änderung der Prozesskombination hin zur Gewinnung des Oberschnitts der Kammern mit Continuous Minern, während die untere Ebene der Lagerstätte konventionell gestrosst wird (Bild 7). Der denkbare Vorteil dieses Verfahrens im Vergleich zur existierenden Vorgehensweise liegt darin, dass die Kammerfirste nunmehr gebirgsschonend geschnitten wird und ein aufwändiges Berauben oder anderweitiges Sichern womöglich entfällt. Ebenso denkbar wäre es, dass die Bohrarbeit des unteren Lagerstättenteils zeitlich effektiver für eine gesamte Kammerlänge zusammenhängend erledigt werden könnte. Ein Nachteil bei diesem Verfahren ergibt sich ggf. aus einer Verschlechterung der Qualität der Fördersohle, bei der unter Umständen die Fahrgeschwindigkeit reduziert und der Verschleiß an Ladefahrzeugen erhöht werden könnte. Dies ist in weiteren Versuchen eingehender zu untersuchen.

6 Outlook

Combination production processes certainly have potential for further optimisation and this issue requires further analysis:

This may involve altering the process combination whereby continuous miners are used to extract the top bench of the rooms while the lower level of the deposits is worked by conventional benching (Figure 7). One conceivable benefit of this method, compared with the existing approach, lies in the fact that the tops of the rooms can now be cut with minimal degradation, thereby possibly dispensing with the need for costly scaling work or other support measures. It is also possible that the drilling work needed in the lower part of the deposits could be completed continuously over the entire length of the room and so prove more efficient in terms of time. One of the potential drawbacks of this method, however, is the impact it would have on the condition of the haulage surfaces. This could under some circumstances reduce the haulage speed and increase the rate of wear on the loading vehicles. Tests will be needed to investigate these potential consequences in greater detail.

The long-term plans also have to take into account that combination districts continue to suffer from the impact of shotfiring and that this results in detectable vibration levels at the surface. As things stand at present, therefore, combination districts can only be established beneath unpopulated areas.

Using electronic detonators can have a vibration-mitigating effect in such cases: the reduced blasting outlay in the top cut now equates to just 30 holes per round of shots and these can be fired individually with electronic detonators. This alone reduces the vibration load when compared with electric detonators, where it is essential to use multiple-charge time stages. Moreover, optimising the detonation time intervals in the shotfiring plan can bring a further reduction in the vibration levels. This is also something that will require further testing and analysis.

7 Summary

The paper examines the strengths and weaknesses of the different mining processes in use at Heilbronn rock salt mine and concludes that a combination of mechanical cutting and conventional top bench mining can reduce the specific costs, potentially increase the average saleable quality of the grain size and further extend the supply capacity of the mine through the maintenance of strategically managed top-cut stocks.

The deployment of two continuous miners operating in one combination district generates added synergies for further workplace concentration. However it does place greater demands on the temporal and spatial coordination of these twin operations.

Combination working of this kind also brings benefits in the form of greater process integration and reduced process complexity and this system can serve as a suitable platform for further improvements.



Fig. 7. Schematic diagram showing the excavation of the deposits by continuous miner in the top cut and by drilling and firing in the lower levels. // Bild 7. Schematische Auffahrung der Lagerstätte mit Continuous Miner im Ober-schnitt und sprengtechnischer Gewinnung der unteren Ebene. Source/Quelle: SSW

In der langfristigen Planung muss außerdem berücksichtigt werden, dass Kombinationsreviere nach wie vor den Nachteil von Sprengaktivitäten mit sich bringen, die zu spürbaren Erschütterungen der Tagesoberfläche führen. Kombinationsreviere sind nach aktuellem Stand deshalb nur unter unbesiedeltem Gebiet umsetzbar.

Hier ließen sich erschütterungsmindernde Einflussmöglichkeiten durch die Verwendung elektronischer Zünder ausloten: Der bereits verringerte Sprengaufwand im Hochbruch liegt bei lediglich 30 Loch je Abschlag, die mit elektronischen Zündern einzeln abgetan werden können und allein dadurch bereits die Erschütterungslast im Vergleich zu elektrischen Zündern mit zwangsläufig mehrfachbesetzten Zeitstufen reduzieren. Zudem könnte ggf. durch Optimierung der Zündzeitabstände im Sprengschema eine weitere Reduktion der Erschütterungen erfolgen. Auch dies gilt es in weiteren Versuchen zu untersuchen.

7 Fazit

Die Stärken und Schwächen der Prozesse zur Mengenerbringung im Bergwerk Heilbronn wurden mit dem Ergebnis diskutiert, dass eine Kombination aus schneidender Gewinnung und konventioneller Hochbruchgewinnung die spezifischen Kosten reduziert, die durchschnittliche verwertbare Kornqualität möglicherweise erhöht und die Lieferfähigkeit des Bergwerks durch strategisch gesteuerte Hochbruchsatzbestände weiter ausbaut.

Durch den Einsatz von zwei Continuous Minern in einem Kombinationsrevier lassen sich die Betriebspunkte mit weiteren Synergieeffekten konzentrieren, was aber die Anforderungen an zeitliche und räumliche Koordination der Aktivitäten untereinander erhöht.

Das kombinierte Abbauverfahren bietet außerdem Vorteile durch eine höhere Integrierbarkeit und geringere Komplexität der Prozesse und stellt sich als geeignete Plattform für zukünftige Verbesserungen dar.

Author / Autor

Markus Mathey Ph.D., Betriebsleiter Bergbau & Salz, Südwestdeutsche Salzwerke AG, Heilbronn, Visiting Adj. Prof., WITS Mining Institute, University of the Witwatersrand, Johannesburg/Südafrika