



Chris Broadbent, Research Director WAI and FAME coordinator, Wardell Armstrong International Ltd, 46 Chancery Lane, London WC2A 1JE/UK

Chris Broadbent had an academic (universities of Aston and Birmingham) and industrial (Rio Tinto Zinc and Shell/Billiton) research background before joining Wardell Armstrong LLP as a Principal Engineer almost 25 years ago. He has managed numerous mining and metallurgical projects throughout the World and he is currently Research Director based at the London offices of Wardell Armstrong International Ltd. FAME was one of the initial batch of Horizon 2020 Research & Innovation Projects and since January 2015 he has been FAME Project Coordinator.



Reimar Seltmann, Research Leader NHM and Head of CERCAMS, The Natural History Museum, Cromwell Road, London SW7 5BD/UK

Reimar Seltmann started his career in Germany (PhD Bergakademie Freiberg/Saxony; research positions at Central Institute for the Physics of the Earth / GFZ Potsdam and Geological Survey of Canada) before joining in 1999 the Natural History Museum London (NHM). He founded in 2002 CERCAMS (Centre for Russian and Central EurAsian Mineral Studies) which he leads as bridge between applied research and mining consulting offered by NHM Mining Sector. Reimar Seltmann has led numerous international network projects on mineral deposit studies and served as coordinator of a commissioned research project for a consortium of ten mining companies in Central Asia. He is a work package leader and steering committee member of FAME.



James Buchanan, GBM Minerals Engineering Consultants Ltd, Regal House, 70 London Road, Twickenham TW1 3 QS/UK

James Buchanan graduated with a Masters degree in Chemical Engineering from the University of Edinburgh, and has since become a Chartered Engineer with the Engineering Council. He has spent the majority of the last decade providing engineering consultancy services to the minerals industry, from conceptual design work through to on-site process support and installation.



Acknowledgement

This article was prepared as part of a project (FAME) that received funding from the European Union’s Horizon 2020 Research & Innovation Programme under Grant Agreement No.641650.

Mobil in Europa

Mobile in Europe

Mobile Anlagen zur Mineralaufbereitung: Stand der Technik (Teil 1)

Zusammenfassung: Wesentlich für eine nachhaltige Fertigung in Europa ist das Erfordernis, eine sichere Rohstoffversorgung auf kurze und mittlere Sicht aufrechtzuerhalten, einschließlich Erzkonzentraten aus dem Bergbau und hier vor allem solcher Rohstoffe, die mit Blick auf die Versorgungssicherheit (sogenannte kritische Rohstoffe – Critical Raw Materials (CRMs)¹) als unsicher eingestuft werden sowie jener Rohstoffe, die für neu entstehende Technologien erforderlich sind. Heute ist die europäische Fertigungsindustrie stark von Importen in die EU angewiesen, obgleich es eigene bedeutende Ressourcen gibt. Der Hauptgrund hierfür: Außerhalb der EU geförderte Metalle können relativ kostengünstig im Rahmen von Projekten gewonnen werden, bei denen weniger technische und sozio-ökologische Herausforderungen zu bewältigen sind. Die Quintessenz von FAME ist: Die Erschließung dieser europäischen Ressourcen durch die Entwicklung neuer mobiler Aufbereitungstechniken und -methodiken, die nachhaltig und sozio-ökologisch verträglich sind.

Als Teil des FAME-Projekts wurden bestimmte Bergbauprojekte innerhalb Europas bestimmt. Die Geologie und Mineralisierung der betreffenden Lagerstätten wurde im Arbeitspaket 2 (Work Package – WP2) beschrieben. Zur Durchführung metallurgischer Forschungen wurden repräsentative Proben genommen. Dieser R&I-Aufwand zielt ab auf die Entwicklung von Aufbereitungstechniken, Methodiken und Anlagenkonfigurationen, die den wirtschaftlichen Abbau der betreffenden Metalle erleichtern, um sie als Ergänzung der Versorgungskette für die europäische Fertigung nutzen zu können.

Mobile Mineral Processing Equipment: The State of the Art (Part 1)

Summary: Essential to sustaining manufacturing in Europe is the necessity to maintain a secure supply of raw materials both in the short and long term, including mineral concentrates derived from the mining industry and particularly those deemed as being at risk in terms of security of supply (so called Critical Raw Materials (CRM's)¹) and those required for emerging technologies. Today, the European manufacturing industry relies heavily on imports from outside the EU, even though there are significant resources in its own backyard. This is principally because metals mined outside the EU can be extracted relatively inexpensively from projects that offer less technological and social-environmental challenges. This is the essence of FAME, to tap into these European resources by developing new mobile processing technologies and methodologies that are sustainable and social-environmental friendly.

As part of the FAME Project, specific mining projects within Europe have been identified and WP2 characterised the geology and mineralisation of these deposits. Representative samples have been collected for metallurgical research that can be undertaken. This R&I effort is to develop processing technologies, methodologies and flowsheets that can facilitate the economic extraction of targeted metals so that they can be used to supplement the European manufacturing supply chain.

[1] Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen zu den Listen für 2017 über kritische Rohstoffe für die EU vom 13.09.17.

Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the 2017 lists of Critical Raw Materials for the EU, 13.09.17.



Kassiterit/Cassiterite Cinovec - NHM collections

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Der Bedarf an Metallen wird aufgrund der ständig wachsenden Weltbevölkerung (> 9 Mrd. bis Mitte dieses Jahrhunderts) und neuer Konsumenten in den Schwellenländern zwangsläufig zunehmen. Zudem wird durch die Entwicklung neuer Technologien weiterhin Nachfrage nach bestimmten Erzkonzentraten bestehen.

Die europäischen Hersteller sind auf eine sichere und kontinuierliche Versorgung mit Erzkonzentraten durch den Bergbau angewiesen, wobei der Großteil dieser Konzentrate derzeit von außerhalb der Europäischen Union (EU) stammt. Beispielsweise wird nur ein kleiner Teil der weltweit gewonnenen Metalle in Ländern der EU gefördert; dabei besitzen nur Österreich, Finnland, Griechenland, Irland, Polen, Portugal und Schweden

1 Introduction

1.1 Background

The demand for metals will inevitably increase with an ever-increasing world population (> 9 billion by the mid-century) and from new consumers in emerging economies. In addition, development of new technologies will continue to place demand for certain mineral concentrates.

European manufacturers rely on acquiring a secure and continued supply of mineral concentrates from the mining industry, and currently the majority of these are sourced from outside the European Union (EU). As an example, only a small proportion of metals produced globally are mined in the EU, with only Austria, Finland, Greece, Ireland, Poland, Portugal and Sweden having metal mining industries that contribute to more than 1 % of a particular metallic mineral.

einen Metallbergbau, der mehr als 1 % zur Gesamtförderung eines metallischen Minerals beiträgt.

Doch es besteht die Möglichkeit der Erhöhung der Bergbautätigkeit innerhalb Europas durch den Abbau wertvoller Mineralien im Rahmen neuer und früherer Projekte, die aufgrund technischer und/oder ökologisch-sozialer Herausforderungen bislang als unwirtschaftlich angesehen wurden. Außerdem ist die Konzentration der in Europa gefundenen Rohstoffe zu gering, als dass sie den für die Erschließung einer Mine erforderlichen Kapitaleinsatz rechtfertigen würde. Die für den Bau einer Aufbereitungsanlage benötigte Investition macht einen wesentlichen Teil des Kapitals aus, das für die Entwicklung eines Bergbauprojekts insgesamt eingesetzt wird. Deshalb wird die Reduzierung der Kapitalkosten von Aufbereitungsanlagen europäische Projekte wirtschaftlicher machen.

Die Entwicklung von flexiblen, modularen und mobilen Aufbereitungsanlagen bei Einsatz bestehender und innovativer Technologien wird als wichtiger Weg erachtet, um einige der wertvollen Ressourcen Europas zu erschließen. Es wird davon ausgegangen, dass eine mobile Anlage zu den verschiedenen Erzvorkommen transportiert werden könnte, die jedoch flexibel genug bleibt, um an die Aufarbeitung ähnlicher Mineralisierungsarten angepasst zu werden.

Das Konzept der mobilen Aufbereitungstechnik ist nicht neu und wird seit den 1970er Jahren von weltbekannten Herstellern wie Metso kommerziell genutzt. Allerdings ist der Einsatz dieser Technik weltweit auf eine Handvoll Betriebe begrenzt. Die Chance besteht, die Gestaltung dieser Technik weiterzuentwickeln und so auszulegen, dass sie speziell für europäische Projekte ausgeführt werden kann.

Dieses Dokument bietet im Folgenden einen Literaturüberblick hinsichtlich der aktuellen weltweiten Nutzung mobiler Ausrüstungen für die Erzaufbereitung. Eine erste Fassung dieses Dokuments wurde 2015 erstellt und ist seitdem regelmäßig bis zur vorliegenden Version 6.0 aktualisiert worden. Enthalten ist eine allgemeine Beschreibung typischer Aufbereitungsanlagen mit Fokus auf europäische Anlagenlieferanten und deren jeweilige mobile Aufbereitungsanlagen. Die für die mobile Aufbereitung spezifischen Ausrüstungen und Prozesskreisläufe werden detailliert beschrieben und stützen sich auf weltweit angewandte Praktiken.

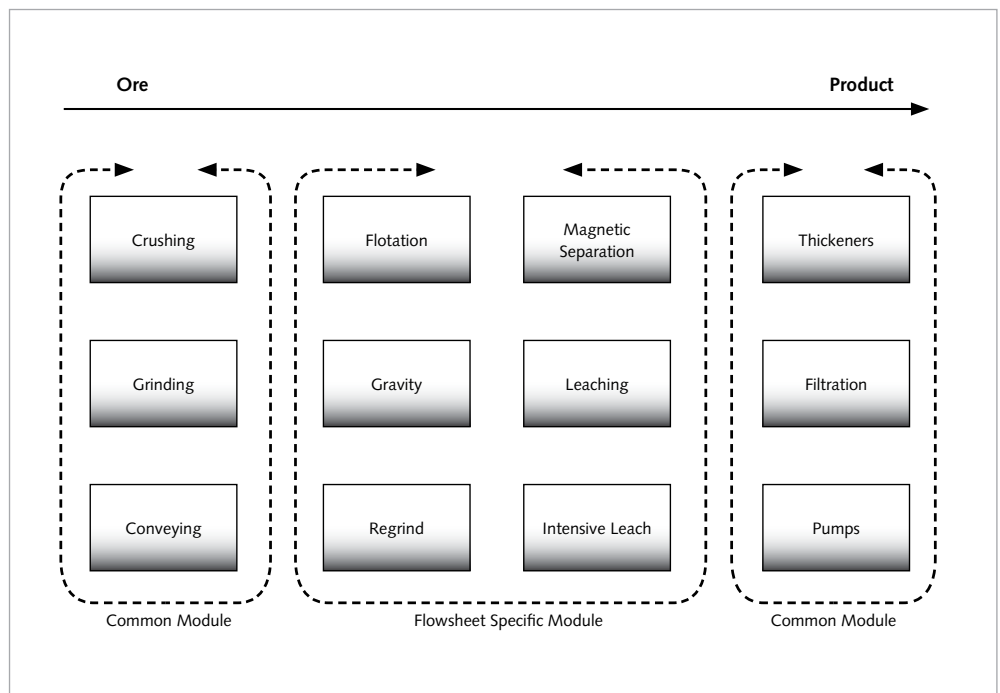
Zweck dieses Dokuments ist es, die aktuell in der mineralverarbeitenden Industrie genutzten Erfahrungen und Ideen zu bündeln, um die Entwicklung und Auslegung von Prozessen zu unterstützen, welche die von FAME angestrebten Ziele ver-

There is the opportunity to increase mining activities within Europe by extracting valuable minerals from new and former projects that were previously considered un-economic due to technological and/or enviro-social challenges. Some of the resources found in Europe are also too small to warrant the capital investment required to develop a mine. The investment required to build a processing facility accounts for a significant proportion of the overall capital investment to develop a mining project, therefore, reducing process plant capital costs make European projects more economic.

The development of flexible, modular and mobile processing equipment that uses existing and innovative technologies is considered as an important way forward in unlocking some of Europe's valuable resources. It is envisaged that a mobile plant could be transported to different ore bodies but remain flexible enough to be adapted to process ores representing similar styles of mineralisation.

The concept of mobile processing technology is not new and has been commercially used by world renowned manufacturers such as Metso since the 1970's. However, the use of this technology is scant with only a handful of operations worldwide. The opportunity exists to further develop and tailor the design of this technology so that it can be engineered specifically for European projects.

This following document is a literature review pertaining to the current status of mobile mineral processing equipment that is used worldwide. An initial version of this document was created in 2015 and it has been updated periodically since, with this representing Version 6.0. Included is a general description of typical processing equipment with focus given on European equipment suppliers and their corresponding mobile processing equipment. Equipment and process cir-



1 Konzept einer modularen, mobilen Aufbereitung (allgemeine Darstellung)
Concept of modular mobile processing (Generalisation)

folgen, und um mögliche Lücken in dem den Bergbauunternehmen aktuell zur Verfügung stehenden Sortiment an mobilen Aufbereitungsausrüstungen zu ermitteln.

1.2 Konzept einer modularen Mobilanlage

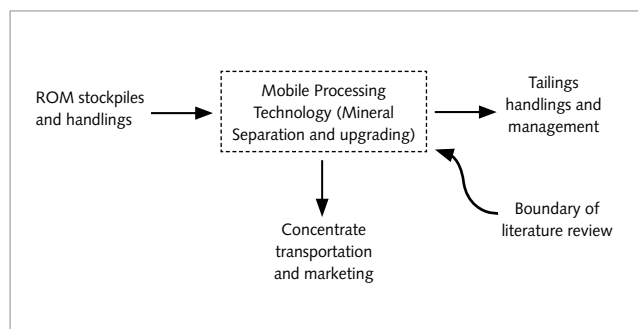
Es wurde festgestellt, dass für die meisten europäischen Lagerstätten modular aufgebaute, mobile Brecher- und Mahlanlagen generell geeignet sind. Deshalb wird die Flexibilität, diese Anlagen in verschiedene Abbaustätten zu verlagern, nicht durch die Eigenschaften der Erze beschränkt – sofern die Anlagen entsprechend entwickelt wurden. Andererseits sind die Aufbereitungsanlagen hinsichtlich ihrer Eignung, unterschiedliche Erzarten zu bearbeiten, weitaus weniger flexibel. Daher sind, je nach benötigter Konfiguration, unterschiedliche Kreisläufe (mit Spezialausrüstung) erforderlich.

Aus diesem Grund zieht Wardell Armstrong International Ltd. (WAI) derzeit modulbasierte mobile Anlagen in Betracht, so dass einzelne Anlagenmodule ausgewählt und zu einem ergänzenden Anlagenteil zusammengebaut werden können, der auf die jeweils zu bearbeitende Erzart abgestimmt wird. Dieses Konzept ist in **Bild 1** dargestellt.

Die Machbarkeit des Umzugs einer mobilen Anlage zwischen mehreren Abbaustätten gilt nicht als technisch herausfordernd. Allerdings muss dargelegt werden, dass die mobile Anlage auf die Bearbeitung der neuen Erzart angepasst werden kann. Deshalb ist vorab eine metallurgische Untersuchung erforderlich, um die Bearbeitbarkeit des Erzes festzustellen und dementsprechend eine geeignete Anlagenkonfiguration zu erstellen. Die erforderliche Konfiguration wird somit vorgeben, welche Anlagenmodule benötigt werden und wie diese zu betreiben sind.

Unabhängig von den gewählten Modulen ist es wahrscheinlich, dass die ausgewählten Konfigurationen einer Anpassung bedürfen, um eine maximale metallurgische Ausbeute zu erzielen. Dies lässt sich auf verschiedene Weise erreichen, z.B. durch:

- einfache Anpassung der Ausrüstungen (im Rahmen der gegebenen konstruktiven Möglichkeiten);
- Hinzufügen weiterer Ausrüstungsteile, entweder zur Steigerung der Durchsatzleistungen und/oder Verlängerung der Verweildauer; und
- Hinzufügen neuer Ausrüstungsteile zur Erzielung der angestrebten Anlagenleistung (gemäß metallurgischer Untersuchung und Wirtschaftlichkeitsberechnung). Dies kann zum Beispiel einen zusätzlichen Gravitationskreislauf beinhalten,



2 Umfang der Literaturrecherche
Boundaries if the literature review

circuits specific to mobile processing is detailed and draws upon worldwide practices.

The objective of this document is to pull experience and ideas that are currently used in the mineral industry, in order to aid the development and design of processes that encompasses the objectives of FAME and to identify any gaps in the current portfolio of mobile equipment available to mining companies.

1.2 Concept of modular mobile plant

Crushing and grinding modular mobile plants are identified as being generally suitable for most European deposits and therefore the flexibility to move these from site to site is not restricted by ore characteristics (if engineered correctly). Beneficiation circuits on the other hand, are considerably less flexible in terms of being able to process different ore types and therefore separate circuits (with specialised equipment) are required depending on the flowsheet needed.

Therefore, Wardell Armstrong International Ltd. (WAI) currently envisages mobile plants being modular so that unit plant modules can be selected and fitted together to make a complimentary circuit that is customised for the given ore type being treated. This concept is illustrated in **Figure 1**.

The practicality of relocating a mobile plant from one site to another is not envisaged as being technically challenging. However, it must be shown that the mobile circuit can be adapted to treat the new ore type. Therefore, metallurgical testing is initially required to establish the processability of the ore and to develop a suitable flowsheet accordingly. The flowsheet required will therefore dictate which plant modules are required and how they must be operated.

Regardless of the modules selected it is likely that the flowsheets which are selected will require adjustment to maximise metallurgical performance. This may be achieved in several ways, such as:

- Simple adjustment of equipment (within the design constraints of the equipment);
- Addition of further equipment items for the purpose of either increasing throughputs and/or residence times; and
- Addition of new equipment items in order to fulfil the desired circuit performance (as highlighted by metallurgical testing and economic analysis). For instance, this may include the additional of a gravity circuit ahead of a flotation circuit.

The concept of mobile processing is not new having been developed commercially by Metso in the 1970's. However, the novel aspect pertaining to FAME is the concept of modular equipment that can be selected, transported and easily assembled. Achieving this will fulfil FAME's objectives for the flexibility and relative ease to recovery metals, which are currently uneconomic to mine, throughout selected European sites.

1.3 Literature review

- This literature review focuses on mineral processing technology that is specific to the separation of minerals for the purpose of acquiring marketable products. As such, the review does not include items outside of this sphere, such as



Quelle/Source: WAI

3 Beispiele für stationäre Anlagen:
 a) Goldaufbereitung
 b) Mahlanlage
 c) Tanks für den Laugungskreislauf
 d) Flotationsanlage

Examples of stationary plants:
 a) Gold plant
 b) Grinding mill
 c) Tank leach circuit
 d) Flotation plant

der einem Flotationskreislauf vorgelagert wird.

Das Konzept der mobilen Aufbereitung ist nicht neu und wird bereits seit den 1970er Jahren von Metso zur kommerziellen Nutzung entwickelt. Der neue Aspekt von FAME ist das Konzept der modularen Ausrüstung, die ausgewählt, transportiert und leicht montiert werden kann. Mit Umsetzung dieses Konzepts wird auch das Ziel von FAME erreicht, solche Metalle flexibel und relativ problemlos abzubauen, deren Förderung an allen ausgewählten europäischen Abbaustätten derzeit unwirtschaftlich ist.

1.3 Literaturüberblick

Dieser Literaturüberblick konzentriert sich auf die Erzaufbereitungstechnik, die spezifisch ist für die Trennung von Mineral-komponenten mit dem Ziel, marktfähige Produkte zu erhalten. Somit umfasst der Überblick keine Punkte, die außerhalb dieses Fokus liegen, wie z.B. der Transport und die Bewirtschaftung von Bergematerial oder die Marktfähigkeit von Produkten. Der Umfang des Literaturüberblicks ist in **Bild 2** zusammengefasst.

2 Überblick der Aufbereitungstechniken

Innerhalb der mineralverarbeitenden Industrie werden verschiedene Techniken eingesetzt, deren Auswahl projektspezifisch erfolgt. Unabhängig davon gibt es gemeinsame Bereiche,

the handling and management of tailings or marketability of products. The boundaries of the literature review are summarised in **Figure 2**.

2 Review of processing technologies

There are a variety of technologies used within the minerals industry and their selection is project specific. Regardless, there are common areas within which these technologies sit and these are summarised below:

- Comminution;
- Beneficiation; and
- Materials handling.

Although not intended as a comprehensive description, these generalised unit areas of mineral processing are now summarised in sections 2.1 to 2.4.

2.1 Comminution

Comminution refers to the breakage of mineralised rocks for the purpose of liberating wanted minerals from unwanted minerals (gangue). As this is an energy intensive area of processing, successful comminution is achieved when sufficient liberation of the wanted minerals has been achieved (without over crushing or over grinding the ore) to achieve the best opportunity to facilitate mineral separation for the recovery of the desired economic mineral(s).

in denen diese Techniken angesiedelt sind und die wie folgt zusammenfasst werden:

- Zerkleinerung,
- Aufbereitung und
- Handhabung von Materialien.

Diese verallgemeinerten Einzelbereiche der Erzaufbereitung werden hier in den Abschnitten 2.1 bis 2.4 zusammengefasst, sind jedoch nicht als umfassende Beschreibung gedacht.

2.1 Zerkleinerung

Zerkleinerung bezeichnet das Brechen mineralhaltigen Gesteins zum Herauslösen (Aufschließung) der Werte aus unerwünschten Begleitmaterialien (Gangart). Da es sich um einen energieintensiven Bearbeitungsbereich handelt, ist eine erfolgreiche Zerkleinerung erreicht, wenn genügend Werte aufgeschlossen worden sind (ohne übermäßiges Brechen oder Mahlen des Erzes), um eine bestmögliche Trennung von Mineralen für die Gewinnung des/der gewünschten Minerals bzw. Mineralien zu erzielen.

Die erste Zerkleinerungsstufe wird häufig mit dem Einsatz von Brechern erreicht. Brecher sind relativ robuste Geräte, die das geförderte Erz auf eine Größe reduzieren, die für die nächste Stufe des Zerkleinerungsprozesses (Mahlen) geeignet ist. Es gibt eine Vielzahl von Brechern, die projektspezifisch eingesetzt werden. Doch alle haben den gemeinsamen Zweck, das geförderte Erz bei minimalem Aufwand an Energie zu zerkleinern.

Nach dem Brechen des Erzes wird es häufig durch Anwendung von Mahltechniken weiter aufbereitet. Das Mahlen ist oftmals ein nassmechanisches Verfahren, bei dem verschiedene Zerkleinerungsmechanismen genutzt werden, um durch weitere Brechvorgänge die Erzkörner zu erreichen. Während dieser Zerkleinerungsstufe wird das gebrochene Material stetig verkleinert, um die gewünschte Aufschlussgröße für eine effektive Stofftrennung zu erzielen. Um die gewünschten Prozessziele zu erreichen, kann jedoch während der Trennung von Mineralen bei bestimmten Teilströmen eine weitere Mahlstufe (Nachzerkleinern) erfolgen.

Die Auslegung der Zerkleinerungsanlage und der Ausrüstungsarten können je nach Projekt erheblich variieren. Diese Technik wird meistens bei Bergbauprojekten zur Gewinnung von Eisenerz, unedlen und Edelmetallen sowie für nutzbare Mineralien eingesetzt.

2.2 Aufbereitungstechnik

Man unterscheidet grundsätzlich drei Methoden zur Gewinnung der aufgeschlossenen oder „nahezu“ aufgeschlossenen Mineralien: die physikalische Trennung, hydro- und pyrometallurgische Methoden. Diese Methoden können einzeln oder kombiniert angewandt werden, um ein Aufbereitungsverfahren festzulegen, mit dem die Prozessziele erreicht werden. Diese Methoden der Gewinnung werden nachstehend zusammengefasst.

2.2.1 Physikalische Trennung

Wie der Begriff nahelegt, werden bei der physikalischen Trennung die physikalischen Unterschiede der zu trennenden Mineralien genutzt. Beispielsweise lassen sich Unterschiede im spezifischen Gewicht dahingehend nutzen, eine effektive Trennung

The first stage of comminution is often achieved using crushers. Crushers are relatively robust pieces of equipment that reduce the mined ore to a size that can be accepted by the next stage of the comminution process (grinding). There are a variety of crushers, their application is project specific but they all share the common goal of reducing the mined ore by using the minimal amount of energy.

Once the ore has been crushed it is often processed further by grinding technologies. Grinding uses different mechanisms of comminution to impart further breakage on to the ore particles and it is often a wet process. At this stage of comminution, the crushed material is reduced in size to achieve the desired liberation size for effective mineral separation. Sometimes, however, a further grinding stage (regrind) may be undertaken on certain streams during the mineral separation stage in order to acquire desired process objectives.

The configuration of the comminution circuit and the equipment types used can vary significantly from project to project. The technology is used in most mining projects with commodities ranging from iron ore, base, precious metals and for industrial minerals.

2.2 Beneficiation technology

There are principally three methods of recovering the liberated or “near” liberated minerals, namely, physical separation, hydro and pyro metallurgical methods. These methods can be used in isolation or in combination in order to obtain a processing route that achieves the process objectives. These methods of recovery are now summarised in the following text.

2.2.1 Physical separation

As its name suggests, physical separation exploits the physical differences of the minerals to be separated. As an example, differences in specific gravity can be utilised to achieve an effective separation between two minerals. Differences in electrostatic charge or surface chemistries can also be utilised to achieve an effective separation. The products generated from these processing routes are typically mineral concentrates.

Mineral concentrates may require further upgrading using hydrometallurgical or pyrometallurgical processes. It should be noted that hydrometallurgical and particularly pyrometallurgical processes can be relatively expensive to build and operate. Therefore, pre-concentration using physical separation methods is advantageous if a significant proportion of the ore can be rejected ahead of using expensive treatment methods. This can reduce capital and operating costs and make mining projects more amenable to mobile processing where relatively high tonnage mining is required from an economic standpoint.

2.2.2 Hydrometallurgy

Hydrometallurgical processes involve the use of a chemicals to recover to the wanted metal into an aqueous phase. The metal is then extracted from the aqueous phase to form a metal alloy or a precipitate, typically a hydroxide.

2.2.3 Pyrometallurgy



Quelle/Source: WAI

zweier Mineralienkomponenten zu erreichen. Unterschiede in der elektrostatischen Aufladung oder Oberflächenchemie können ebenfalls zur Erzielung einer effektiven Trennung genutzt werden. Die mit diesen Aufbereitungsverfahren erzeugten Produkte sind üblicherweise Erzkonzentrate.

Erzkonzentrate erfordern möglicherweise eine weitere Veredlung durch hydrometallurgische oder pyrometallurgische Prozesse. Hier sei erwähnt, dass Aufbau und Betrieb von hydrometallurgischen und insbesondere pyrometallurgischen Prozessen relativ kostspielig sein können. Deshalb ist die Vorkonzentration mit Hilfe physikalischer Trennmethode vorteilhaft, wenn sich ein erheblicher Teil des Erzes vor dem Einsatz kostspieliger Behandlungsmethoden zurückweisen lässt. Dadurch können Kapital- und Betriebskosten reduziert werden und Bergbauprojekte eher für eine mobile Aufbereitung geeignet sein, bei der aus wirtschaftlicher Sicht ein Abbau in vergleichsweise hohen Mengen erforderlich ist.

2.2.2 Hydrometallurgie

Hydrometallurgische Prozesse bedingen den Einsatz einer Chemikalie, um das gewollte Metall in einer wässrigen Phase wiederzugewinnen. Anschließend wird das Metall aus der wässrigen Phase extrahiert und in eine Legierung oder ein Präzipitat (üblicherweise ein Hydroxid) umgewandelt.

2.2.3 Pyrometallurgie

In pyrometallurgischen Verfahren wird das Erz oder Mineralprodukt geschmolzen und in unvermischbare Schichten umgewandelt, die das gewollte Metall bzw. den Grundstoff sowie das ungewollte Material (Schlacke) enthalten. Dem Schmelzprozess werden Reagenzien (Flussmittel) hinzugefügt, um den Trennprozess zu unterstützen, beispielsweise indem die Viskosität und Temperatur der Schmelze geändert werden.

2.3 Materialhandhabung

2.3.1 Entwässerung

Sowohl die physikalische Trennung als auch hydrometallurgische Aufbereitungsverfahren setzen grundsätzlich Wasser als Medium ein, was einen relativ leichten Transport des Produkts erlaubt.

4 Beispiele typischer Brechanlagen:

- a) mobil
 - b) semi-mobil
 - c) fest installierte Brechanlagen
- Examples of typical crushing plants:
- a) mobile
 - b) semi-mobile
 - c) fixed crushing circuit installations

In pyrometallurgical routes the ore or mineral product is melted to form immiscible layers containing the wanted metal or matter and unwanted material (slag). Reagents (fluxes) are added to the smelting process to aid the separation process by altering, for example, the viscosity and temperature of the melt.

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Anlagenarten
Table 1: Differences between Types of Installations

Kriterium Item	Anlagenart Type of Installation		
	Mobil Mobile	Semi-Mobil Semi-Mobile	Stationär Stationary
Transportabel Transportable	Sehr gut Highly	Mäßig Moderately	Kaum Poor
Transportkosten Cost to transport	Kostengünstig Inexpensive	Gering-mäßig Small-moderate	Erheblich Significant
Auswirkung auf die Produktion Effects on Production	Gering Low	Mäßig Moderate	Erheblich Significant
Fundamente Foundations	Keine None	Einige für wichtige Teile Some on key items	Fest installiert Fixed
Versorgungsdienste* Services*	Flexibel Flexible	Flexibel Flexible	Nicht flexibel Not flexible

*Zum Beispiel Strom, Druckluft oder Wasser.
*Such as electric, compressed air, water.

Das eingesetzte Wasser muss dem Aufbereitungskreislauf an bestimmten Punkten wieder entzogen werden. Dies erfolgt häufig bei den Abfallströmen (zur Wasserwiedergewinnung) und Konzentraten (zur Senkung von Förderkosten und zur Umwandlung der Konzentrate in eine für die Beförderung geeignete Form). Es stehen verschiedene Techniken zur Verfügung, für die üblicherweise Eindicker und Filter eingesetzt werden.

2.3.2 Förderung

Für die Förderung von Materialien (Erz, Konzentrate, Abraum) zwischen den Aufbereitungsanlagen wird eine Vielzahl von Techniken eingesetzt. Die Wahl der Förderer hängt von einer ganzen Reihe von Bedingungen ab, doch verallgemeinernd werden Förderer eingesetzt, um Trockenmaterial (Erz, gefilterte Konzentrate) zu transportieren und Feststoffpumpen für das in Wasser oder Chemikalien gelöste Mahlgut.

3 Definition stationärer und mobiler Anlagen

3.1 Einleitung

Eine mobile Anlage sollte mit Gleisketten oder Rädern ausgestattet sein und sich idealerweise aus eigener Kraft fortbewegen können. Semi-mobile Anlagen werden von den Herstellern oft als „radmobil“ beschrieben, haben für gewöhnlich einen modularen Aufbau und können auf einem Tieflader oder in Containern, die auf dem Lkw montiert sind, befördert werden. Mitunter werden stapelbare Container, die schwere Ausrüstung enthalten und einen Kran benötigen, als „radmobil“ bezeichnet, doch bedeutet dies nicht mobil im eigentlichen Wortsinn.

Brecheranlagen werden als mobile, semi-mobile oder stationäre Anlagen geliefert. Die Anlagen für das Mahlen, die Aufbereitung und Entwässerung sind fest installiert und in einem Gebäude untergebracht („Anlage“ oder „Mühle“ genannt). Die Unterschiede zwischen den Anlagenarten sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

3.2 Stationäre Anlagen

Aufbereitungsanlagen sind für gewöhnlich fest installiert und selten beweglich. Eine Ausnahme sind Brecheranlagen, bei denen

2.3 Material handling

2.3.1 Dewatering

Both the physical separation and hydrometallurgical processing routes invariably use water as a medium in the recovery process which allows the products to be transported with relative ease. At particular points within the processing circuit, this water needs to be removed. This is often undertaken on the waste streams (to recover water) and concentrates (to reduce transportation costs and to convert it in to a form suitable for transportation). There are a variety of technologies available and these are typically undertaken using thickeners and filters.

2.3.2 Transportation

There is a wide selection of technology used to transport materials (ore, concentrates, wastes) between processing equipment. The handling equipment chosen depends on an array of conditions but in order to generalise, conveyors are used to transport dry materials (ore, filtered concentrates) and slurry pumps for ground minerals suspended in water or chemicals.

3 Defining stationary and mobile plant

3.1 Introduction

A mobile plant should be tracked or wheeled and ideally able to travel under its own power. Semi-mobile plants are often described as “portable” by equipment manufacturers, these are typically modular and can be trucked around on a low-bed truck or in containers mounted on the truck. Sometimes containers that can be stacked together containing heavy equipment needing a crane are called “portable” but this is not mobile in the true sense of the word.

Crushing circuits are supplied as mobile, semi-mobile or stationary plant. Grinding, beneficiation and dewatering circuits are inherently fixed installations and housed in a building (referred to as the “Plant” or “Mill”). The differences between the types of installations is also summarised in **Table 1**.

3.2 Stationary Installations

Processing plants are typically fixed installations and are rarely mobile. An exception to this are crusher circuits where it is sometimes necessary to have the option to relocate the circuit in order to reduce haulage distances. Another exception, is the installation of pilot plants that operate at site, which may have permanent foundations, but where the equipment within the plant can be unbolted from the floor and relocated.

Fixed installation remains at the mine until the mine closes or a change in ore type means that an entirely new circuit is required (even then former equipment can be incorporated in to the new processing circuit). Installations can last + 25yrs, although older circuits may have inevitably seen various circuit changes throughout their lifetime with newer technologies being in-



manchmal die Möglichkeit zur Verlegung der Anlage gegeben sein muss, um die Transportstrecken verkürzen zu können. Eine weitere Ausnahme ist die Installation von Versuchsanlagen, die vor Ort in Betrieb sind. Sie stehen mitunter auf festen Fundamenten, allerdings kann die Ausrüstung vom Fundament gelöst und innerhalb der Anlage verlegt werden.

Fest installierte Anlagen verbleiben bei der Abbaustätte, bis die Mine geschlossen wird oder eine Änderung der Erzart bedeutet, dass eine völlig neue Anlage benötigt wird (auch wenn die vorherige Ausrüstung in die neue Aufbereitungsanlage eingebaut werden kann). Anlagen können eine Lebensdauer von 25 Jahren oder länger haben, obgleich an älteren Anlagen im Laufe ihres Einsatzes möglicherweise verschiedene Änderungen durch die Integration neuerer Technologien vorgenommen wurden. Die **Bilder 3a–d** zeigen Beispiele für stationäre Aufbereitungsanlagen.

Bergbauprojekte sind generell mit hohen Kapitalinvestitionen verbunden und müssen deshalb eine schnelle Kapitalrendite für den Investor generieren. Zur Reduzierung der Betriebskosten einer Einheit sind oftmals hohe Durchsatzleistungen nötig, was wiederum die Installation relativ großer, grundsätzlich stationärer Anlagen zur Folge hat. In **Tabelle 2** sind beispielhaft die typischen Durchsatzleistungen und Kosten für kleine, mittlere und große Brecher-Mahl-Flotationsanlagen aufgeführt.

3.3 Mobile Anlagen

3.3.1 Einleitung

Mobile Aufbereitungsanlagen sind in der mineralverarbeitenden Industrie nicht üblich, obwohl es für Aufbereitungsanlagen nicht unüblich ist, dass sie über mobile Brecheranlagen verfügen. Zu den mobilen Aufbereitungsprozessen in der Mineralindustrie gehören:

- Brecheranlagen;
- alluviale Dredgeanlagen sowie
- handwerkliche Erzaufbereitung.

Bilder 4 a–c zeigen Beispiele für mobile, semi-mobile und fest installierte Brecheranlagen.

Teil 2 und 3 erscheinen in den nächsten Ausgaben der AT MINERAL PROCESSING:

Tabelle 2: Übersicht der typischen Mengen und Kosten für stationäre Anlagen
Table 2: Summary of Typical Tonnages and Costs for Stationary Plants

Kategorien Categories	Anlagenkapazität Plant Capacity		
	Klein Small	Mittel Medium	Groß Large
Kapazität, t pro Tag Capacity, t per day	20	5.000	80.000
Stromverbrauch, kWh/Tag Power usage, kWh/day	1.982	11.000	1.500.000
Mitarbeiterzahl No. of Employees	9	60	180
Verbrauch an Betriebsmitteln*, kg Consumption of supplies*, kg	116	14.500	54.500
Kapitalkosten, Mio. US\$ Capital Cost, MUS\$	5	55	635
Betriebskosten, US\$/Tag Operating Cost, US\$/t	170	12	9

* Brennstoff, Brech-/Mahlkörper, Kalk, Sammler und Flockungsmittel (basierend auf einem produzierten Erzkonzentrat)

* fuel, crushing/grinding media, lime, collector and flocculants (based on one mineral concentrate being produced)

stalled. Examples of stationary processing plants are shown in **figures 3 a- d**.

Mining projects generally involve high capital investments and therefore they must generate a quick return to the investor. High throughput operations are often required to reduce unit operating costs and this in-turn has led to the installation of relatively large plants that inherently are stationary installations. As way of an example, typical throughputs and costs for small, medium and large crushing-grinding-flotation circuits are shown in **Table 2**.

3.3 Mobile Installations

3.3.1 Introduction

Mobile processing plants are not common in the minerals industry although it is not uncommon for processing facilities to have mobile crushing circuits. A list of mobile processes found in the minerals industry includes:

- Crushing circuits;
- Alluvial dredging plants; and
- Artisanal ore treatment.

An example of mobile, semi-mobile and fixed crushing circuit installations is shown in **photo 4 a–c**.

Part 2 and 3 will be published in the upcoming issues of AT MINERAL PROCESSING.