

Efficient Raw Materials Production with IIoT – Inefficiencies in Mining

Efficient use of the available assets plays an important role for the economic viability of an operation in raw materials production. Nowadays, most planning and investment decisions are still only using experience and test data collected at the start of an operation as decision support. A comprehensive data collection using

the Industrial Internet of Things (IIoT) not only allows to reveal inefficiencies in the overall operation, but can create transparency for everyday production processes and makes it possible to turn assumptions into actionable insights.

Effizienter Rohstoffabbau mittels IIoT – Ineffizienzen im Bergbau

In der Gewinnung von Rohstoffen spielt die effiziente Nutzung der zur Verfügung stehenden Betriebsmittel eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit eines Gewinnungsbetriebs. Für viele Planungs- und Investitionsentscheidungen sind auch heute noch Erfahrung und einmalig zu Beginn des Betriebs erhobene Testdaten

die Mittel der Wahl. Eine umfassende Datenerhebung mittels Industrial Internet of Things (IIoT) ermöglicht es nicht nur, unerkannte Ineffizienzen im Gesamtbetrieb aufzudecken, sondern auch Transparenz in der alltäglichen Gewinnung zu schaffen und Vermutungen in konkrete Handlungsanweisungen umzuwandeln.

Introduction

Mining is and was a challenging business. Most of these challenges have been known for centuries, already. As described in 1556's *De Re Metallica Libri XII* by Georgius Agricola, such challenges include the difficulty of exploitation due to increased depth of deposits, reduced target mineral grades, lack of skilled labor, increasing mineral processing efforts, and others. These points are well known in the mining world today, thus seem to be never-ending challenges. The industrial revolution in the 18th and 19th century provided new technologies which pushed technical limits far beyond what was thinkable before. With this, existing limits of water handling, rock crushing, and mechanical processing have been solved. Mining operations and mining machines grew larger. The feasibility of industrial mining was most often justified by scale, aligned with the challenge of decreasing mineral grades and long-distance logistics. Apart from that, and as the actual main aspect, commodity markets were and are decisive for the economic feasibility of new and ongoing mining operations. While these facts are obvious and well known, this article addresses another major topic which's relevance is increasing sharply, meanwhile: Inefficiencies in Mining.

Driven by the latest technological revolution, the mega-trend of digitalization, all fields of business are becoming more and more transparent, in all industries. Digitalization is enabling office proc-

Einführung

Bergbau war und ist eine Branche reich an Herausforderungen. Der Großteil dieser Herausforderungen ist schon seit Jahrhunderten bekannt. Bereits Georgius Agricola beschrieb 1556 in seinem Werk *De Re Metallica Libri XII* die resultierenden Herausforderungen aus stetig tiefergelegenen Lagerstätten, sinkenden Erzgehalten, einem Mangel an qualifizierten Arbeitskräften, erhöhtem Aufbereitungsaufwand und weiterem. Auch dem heutigen Bergbau sind diese Punkte wohlbekannt und scheinen daher ewigwährende Herausforderungen zu sein. Die industrielle Revolution im 18. und 19. Jahrhundert ermöglichte den Einsatz neuer Technologien, welche die Grenzen des technisch Denkbaren signifikant erweiterten. Durch diese wurden die bestehenden Herausforderungen in der Wasserhaltung, Zerkleinerung von Gestein und mechanischer Aufbereitung gelöst. Bergbaubetriebe und -maschinen wurden größer. Die Machbarkeit des industriellen Bergbaus wurde häufig durch seine Größe gerechtfertigt, im Zusammenspiel mit sinkenden Wertstoffgehalten und Langstreckenlogistik. Davon abgesehen sind die eigentlich entscheidenden Aspekte für die Wirtschaftlichkeit bestehender und zukünftiger Bergbaubetriebe die Rohstoffmärkte. Während diese Fakten wohlbekannt sind, fokussiert diese Veröffentlichung ein anderes Thema mit stark steigender Relevanz: Ineffizienzen im Bergbau.

Angetrieben durch die neueste technologische Revolution – dem Megatrend der Digitalisierung – werden alle Geschäftsbe-

esses and communication to be executed without delay. Sharing information, which once took postal services several weeks, can now be communicated and shared around the globe, within seconds. Stock management is always up to date and new arrivals or exits can be registered by scanning a code, updating the underlying data sets in real time. Everyone can be on the same level of information, with a few clicks. Mining has and is leveraging such potentials already. As an example, fleet management and dispatch systems enable better task management and fast exchange of information. However, most of the digital solutions applied in mining are either superficial or focused on details of single processes or components. A comprehensive overview, connecting the single processes and machines is missing. This is mostly caused by the complexity of operations and processes, coming with various fields of expertise and perspectives. As a result, information is valued and prioritized differently by different perspectives. The challenge therefore lies in defining the information which is most important overall, in order to improve efficiency of the whole process chain. In the following, three examples from surface mining operations will be presented. The chosen cases and insights are results from rather obvious connections between machine activity and productivity of the whole mine site, but are showing the likewise obvious potential for improving mining operations sharply with actionably insights by the Industrial Internet of Things (IIoT).

Surface mining inefficiencies

Whether or not a fleet management system is integrated, most production projections and production plans are based on manually edited data and individual experience. Since the operational performance is based on various parameters like asset condition, weather, operator skill, and many more, these measures come with shortcomings when it comes to representing the actual operation. An accurate and efficient production planning requires continuous monitoring of the operation and a dynamic evaluation of the operational parameters. Furthermore, monitoring overall machine activities, cycles and process steps, brings hidden potentials to light.

Truck-and-shovel operations case

A solid example for this case is the truck-shovel operation of an open pit mine. The performance of the truck-shovel system is the most determining factor of overall material haulage efficiency, and correspondingly the productivity of a surface mine (1). The assessment of productivity of the excavator includes the average number of passes, repositioning, secondary work durations, and the shovel volume of the excavator. On the other hand, the recorded durations of the excavator vary strongly from the planned durations due to the aspects such as various operational skill of operators, the condition of the pit and rock fragmentation quality. These variables require continuous monitoring and an iterative planning to achieve an optimized workflow. Correspondingly, the truck fleet must satisfy the productivity of the excavator fleet. In the ideal case, the excavators load the dump-trucks continuously and the idle times stay minimized between the departure of the loaded dump-truck and maneuvering of the unloaded dump truck. The challenge to ensure aforementioned ideal loading process is determining the quantity of the dump

reiche in allen Industrien stetig transparenter. Die Digitalisierung erlaubt es, Bürogeschäfte und Kommunikation verzögerungsfrei auszuführen. Informationsaustausch, der vormals mehrere Wochen per Post dauern konnte, kann nun in Sekundenschnelle über den gesamten Globus hinweg realisiert werden. Lagerbestände sind stets aktuell, Zu- und Abgänge können mit dem simplen Scannen eines Codes erfasst werden und erlauben eine Aktualisierung der Bestände in Echtzeit. Mit wenigen Klicks kann jeder auf demselben Informationsstand sein. Der Bergbau machte und macht Gebrauch von diesen Möglichkeiten. Als Beispiel ermöglichen Flottenverwaltungs- und -einteilungssysteme eine bessere Aufgabenverteilung und einen schnellen Informationsaustausch. Die meisten im Bergbau angewandten digitalen Lösungen sind jedoch entweder oberflächlicher Natur oder fokussieren sich lediglich auf einzelne Prozesse oder Komponenten. Ein umfassender Überblick, der einzelne Prozesse und Maschinen verbindet, fehlt. Dies ist häufig auf die Komplexität der Betriebe und Prozesse zurückzuführen, einhergehend mit den verschiedenen Fachgebieten und Gesichtspunkten. Die Aufgabe besteht daher darin, zu definieren, welche Informationen die wichtigsten für die Allgemeinheit sind, um die Effizienz der gesamten Prozesskette zu verbessern. Nachfolgend werden drei Beispiele aus überträgigen Bergbaubetrieben vorgestellt. Die gewählten Anwendungsfälle und Erkenntnisse resultieren aus offensichtlichen Synergien zwischen Maschinenaktivitäten und der Produktivität des gesamten Betriebs, zeigen aber auch das Potential für eine starke Verbesserung der Betriebsabläufe durch umsetzbare Erkenntnisse mittels Industrial Internet of Things (IIoT).

Ineffizienzen im Tagebau

Unabhängig davon, ob ein Flottenverwaltungssystem genutzt wird, basiert der Großteil der Produktionsplanungen und -vorhersagen auf manuell erfassten Daten und individueller Erfahrung. Da die Leistung im Betrieb anhand einer Vielzahl an Parametern wie Betriebszustand, Wetter, Erfahrung des Maschinenführers und weiteren bestimmt wird, weist diese Art der Analyse Defizite im Hinblick auf eine Darstellung des tatsächlichen Betriebs auf. Eine akkurate und effiziente Produktionsplanung benötigt eine kontinuierliche Überwachung des Betriebs und eine dynamische Auswertung der einhergehenden Parameter. Hinzu kommt, dass eine Überwachung der allgemeinen Maschinenaktivitäten, -zyklen und Prozessschritte verborgene Potentiale zum Vorschein bringt.

Anwendungsfall Tagebau mit SKW und Hydraulikbaggern

Ein aussagekräftiges Beispiel hierfür ist ein Tagebau mit SKW und Hydraulikbaggern. Die Leistungsfähigkeit der Lade- und Transportmaschinen ist der entscheidende Faktor für die Beurteilung der Fördereffizienz und dementsprechend der Produktivität eines Tagebaus (1). Die Produktivität eines Baggers wird an der Anzahl der Ladespiele, der Dauer von Umsetz- und Nebenarbeiten und dem Schaufelvolumen der Maschine bemessen. Jedoch weichen die gemessenen Zeitspannen stark von der Planung ab, verursacht durch unterschiedliche Leistung der Maschinenführer, den Arbeitsbedingungen im Tagebau und der Fragmentierung des Haufwerks. Diese Parameter erfordern eine kontinuierliche Überwachung und iterative Planung, um einen optimierten Arbeitsablauf zu ermöglichen. Damit einhergehend muss die Leistungs-

Machine number	Engine hours (h)	Idle time (h)	Working time (h)	Loading time (h)	Overall productivity
Excavator #1	226.9	71.1	56.2	99.6	68%
Excavator #2	276.4	156.8	69.1	50.5	43%

Table 1. Operational figures of the mine retrieved from a database of talpasolutions.

Tabelle 1. Operative Kennzahlen des Betriebs, entnommen aus einer Datenbank von talpasolutions.

trucks to fulfil the productivity suggested by the excavators, as well as the cycle and route planning of the dump trucks.

The operational behavior of two excavators was monitored by continuous data collection in real-time with the installed IIoT solution by talpasolutions GmbH, Essen/Germany, at an open-pit mining operation. Applying Big Data analytics, the main activities in three different operational states of two hydraulic excavators have been categorized and evaluated. They are shown as an activity timeline and Key-Performance-Indicators (KPI) in a web-based IIoT platform available for the operation. The states have been categorized as follows (Table 1):

1. Idle time: The excavator runs without any task.
2. Working time: The excavator crawls, levels the ground for smooth maneuvering of the dumpers.
3. Loading time: The excavator swivels out, loads and unloads the shovel unit.

The further assessment includes the data retrieved in April 2020 of the two mining excavators. As shown in table 1, due to the idle times the overall productivity for two mining excavators were determined as 68 and 43 % respectively.

Figure 1 shows an excerpt of the activity timeline of excavator #2, where the machine was idling for long timeframes resulting in increased fuel consumption and accelerated wear. The excavator idles for long time frames until the next dump-truck arrives, which can be continuously tracked on the web-based IIoT platform.

In terms of production, the idle times shown in Table 1 correspond to nearly 20,000 t of additional production potential for excavator #1 and 13,000 t for excavator #2 under the operational conditions of the pit for a one-month interval. The monetization

fähigkeit der SKW-Flotte der der Lademaschinen entsprechen. Im Bestfall beladen die Bagger unterbrechungsfrei SKW und die Leerlaufzeiten beim Wechsel des zu beladenden SKW können minimiert werden. Das Ermöglichen dieses Bestfalls bestimmt, wie viele SKW nötig sind, um die Lademaschinen maximal auszulasten und darauf aufbauend die Planung der Produktionszyklen und Fahrrouten der SKW.

Das Betriebsverhalten zweier Hydraulikbagger wurde mittels kontinuierlicher Datenerfassung durch eine von der talpasolutions GmbH, Essen, installierte IIoT-Lösung in einem Tagebau festgehalten. Durch Anwendung von Big Data-Analysen konnten drei Betriebszustände als Hauptaktivitäten der Hydraulikbagger identifiziert und ausgewertet werden. Diese werden dem Betrieb mittels eines Aktivitätenzeitstrahls und Leistungskennzahlen in einer webbasierten IIoT-Plattform zugänglich gemacht. Die identifizierten Betriebszustände sind (Tabelle 1):

1. Leerlaufzeit: Die Maschine läuft ohne Aufgabe.
2. Arbeitszeit: Die Maschine fährt oder begradigt die Sohle für einen reibungslosen Einsatz der SKW.
3. Ladezeit: Die Maschine schwenkt und be- und entlädt die Schaufel.

Die folgenden Beurteilungen basieren auf Daten, die im April 2020 für beide Maschinen erfasst wurden. Wie in Tabelle 1 gezeigt, führen die Leerlaufzeiten zu Nutzungsgraden von 68 bzw. 43 % für die jeweiligen Hydraulikbagger.

Bild 1 zeigt einen Auszug aus dem Aktivitätenzeitstrahl für Bagger #2, in dem sich die Maschine für einen längeren Zeitraum im Leerlauf befand, was zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch und einem beschleunigten Verschleiß führt. Die Bagger befinden

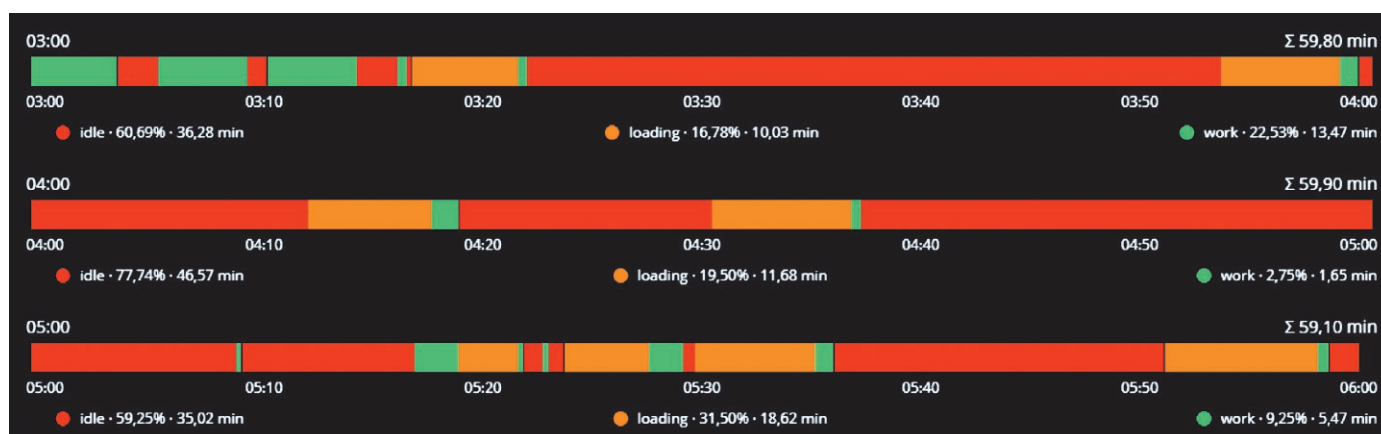


Fig. 1. An activity timeline of Excavator #2 for a three hours period: Red = idle, orange = loading, green = work. // Bild 1. Ein Aktivitätenzeitstrahl von Bagger #2 für einen Zeitraum von drei Stunden: Rot = Leerlauf, Orange = Laden, Grün = Arbeiten. Source/Quelle: talpasolutions

of this potential might require well-tailored strategical production planning of the dump trucks, as the corresponding value is determined by the type of commodity produced. Alternatively, it might raise a new investment requirement for the purchase of a new asset, if the available capacities in processing are not sufficient to utilize the excavators to capacity after the strategical planning.

Truck-shovel fit

As initially stated, one decisive factor for the efficiency of a truck-shovel operation is the truck-shovel fit, which describes the amount of passes necessary to fill the truck using the shovel. This directly influences the overall production of an operation. An unbalanced truck-shovel fit will result in longer cycle times due to an increased number of performed passes. A general rule of thumb for a good machine match is a truck-shovel fit of three to five (2). This rule is often used when making decisions on equipment purchases. However, calculations only based on the machine specifications can be insufficient due to varying filling degrees of the buckets that can be achieved in the field as well as the influence of the material's bulk weight. Especially for smaller open pit operations such as quarries it can prove to be difficult to track individual bucket loads and the resulting truck-shovel fit on a consistent basis, due to a lack of detailed production monitoring. A truck-shovel fit significantly deviating from the target range is usually known or at least suspected in most mining operations. However, due to a lack of monitoring those assumptions are not verified and cannot be assessed quantitatively.

Analysis by talpasolutions for a quarry operation allowed to track individual bucket loads for hydraulic excavators loading dump trucks (Figure 2). The analysis revealed that the truck-shovel fit ranges between seven and 14 depending on the material loaded. This averages to a loading duration of 4 min 21 s. A recommended way to improve this subpar truck-shovel fit would be to replace the hydraulic excavator by a significantly larger model. By using an excavator capable of loading the dump truck in three passes, the loading duration could be decreased

sich für lange Zeitspannen im Leerlauf, bis der nächste SKW zur Beladung eintrifft, was mittels der webbasierten IIoT-Plattform kontinuierlich nachverfolgt werden kann.

Im Hinblick auf die Produktion entsprechen die in Tabelle 1 gezeigten Leerlaufzeiten einem Produktionspotential von 20.000 t für Bagger #1 und 13.000 t für Bagger #2 unter Berücksichtigung des Tagebaubetriebs für einen Monat. Die Monetarisierung dieses Potentials kann eine maßgeschneiderte Produktionsplanung für die SKW erfordern, da der erzielbare Wert vom geförderten Rohstoff abhängig ist. Alternativ kann sich die Notwendigkeit einer neuen Investition ergeben, falls die vorhandenen Aufbereitungskapazitäten nicht der maximierten Förderung der Bagger durch strategische Planung genügen.

Passung SKW-Bagger

Wie eingangs erwähnt, ist das Zusammenpassen von SKW und Bagger ein entscheidender Faktor für die Effizienz eines Betriebs. Dieser Faktor beschreibt die Anzahl an nötigen Ladespielen, um einen SKW mittels eines Baggers zu beladen. Als Resultat wird die gesamte Produktivität des Betriebs hierdurch beeinflusst. Eine unausgeglichene Passung von SKW und Bagger führt zu längeren Zykluszeiten durch eine erhöhte Anzahl an nötigen Ladespielen. Eine allgemeine Daumenregel für ein gutes Zusammenspiel der Maschinen ist eine Passung von drei bis fünf Ladespielen (2). Diese Regel wird oft für Entscheidungen beim Kauf von Maschinen genutzt. Jedoch können Berechnungen, die nur anhand der Maschinenspezifikationen durchgeführt wurden, unzureichend sein, da sie schwankende Schaufelfüllungsgrade im Betrieb und Einflüsse des Schüttgewichts des geförderten Materials vernachlässigen. Besonders für kleinere Tagebaubetriebe wie Steinbrüche kann es schwierig sein, einzelne Ladespiele und die daraus resultierende Passung von SKW und Baggern zuverlässig zu erfassen, resultierend aus einem Mangel an detaillierter Produktionsüberwachung. Eine Passung, die stark von den Zielwerten abweicht, ist den meisten Betrieben bereits bekannt oder wird zumindest vermutet. Durch einen Mangel an Überwachung können diese Vermutungen jedoch nicht bestätigt und quantitativ erfasst werden.

Analysen von talpasolutions machten es möglich, die einzelnen Ladespiele zwischen Hydraulikbagger und SKW in einem Steinbruch zu erfassen (Bild 2). Die Analysen zeigten, dass die Passung zwischen sieben und 14 Ladespielen betrug, abhängig vom geförderten Material. Dies resultiert in einer durchschnittlichen Ladedauer von 4 min und 21 s. Eine Empfehlung, um diese unzureichende Passung zu verbessern, ist, den eingesetzten Bagger durch ein signifikant größeres Modell zu ersetzen. Beim Einsatz eines Baggers, der die eingesetzten SKW in drei Ladespielen beladen kann, könnte die Ladedauer auf 1 min und 6 s reduziert werden, was einer erkannten Ineffizienz von 74,71% entspricht. Auch wenn größere Maschinen höhere Investitions- und Betriebskosten haben, würden die nachfolgenden Prozesse und Maschinen ebenfalls von einer solchen Investition profi-



Fig. 2. Exemplary loading cycle between hydraulic excavator and dump truck. // Bild 2. Beispielhafter Ladezyklus zwischen Hydraulikbagger und SKW. Photo/Foto: talpasolutions

to 1 min 6 s, which equals a recognized inefficiency of 74.71%. While larger assets do come with higher CAPEX and OPEX, the efficiency of the subsequent processes and assets would benefit from such investments as well. Given these insights, the investment decision for a larger excavator can be re-assessed and would be justified after the first two years of operations, in the given case.

Idling in between cycles

As part of the continued monitoring of the utilized machines, talpasolutions established a cycle detection algorithm for the dump trucks allowing deep insight into the machines' activities at all times. Here, a previously unknown efficiency loss came to show in form of machines idling after most of the cycles performed. The machines wait up to 3 min before embarking on their next cycle, even though the loading machines were operational and free. As the average cycle time could be determined as 12 min 33 s, the idling causes significant losses of production time. By reducing this idle time potential to increase the transport cycles performed arises. The truck fleet performs an average of 405 transport cycles per month, which could be increased by up to 110 additional cycles (+ 24% improvement), when eliminating this idle time. This insight makes it obvious, that given the evaluated case, either > 20% of the haul trucks are over-capacities or the production potential of the mine is under-leveraged by > 20%.

Detailed tire monitoring

An often-undervalued area in operation optimization is the monitoring of individual components of machines. As an example, the inefficiencies detected and insights generated from monitoring tires on dump trucks will be detailed. Tires can make up a significant share of up to 30% of the operational costs in material transportation (3, 4) (Figure 3). With individual tires costing up to 50,000 US\$ the costs for tires can surpass the initial cost of the machine over the span of its lifetime (5). Under these considerations a close monitoring of the health of tires and their use on hauling machines can save significant costs.

By feeding data from tire pressure measurement sensors and data on machine movements into talpasolutions' IIoT platform, it is possible to monitor tire pressures and temperatures continuously in operation. In contrast to conventional measurements, which can only be performed in a workshop-like environment with machines in a parking position, measurements in operation allow for deeper insights of the influences on the tires. During operation tires experience differing load and strain due to the payload on the dump truck as well as driving on abrasive roads. Especially for the latter the driving speed of the vehicle is an important aspect to consider, as reducing the driving speed by 10% can prolong tire life by up to 10% (6, 7). Close monitoring of the driving speed can therefore not only contribute to improved component life, but can also assist in enforcing speed limits throughout the operation, thus enhancing occupational safety. Similarly, sudden braking and accelerating has a negative impact on the tire life and should be avoided if possible. By analyzing braking and acceleration events it can deduced if infrastructural changes in terms of road inclination or curve angle are necessary or if improper operation of the machine needs to be addressed.

tieren. In Anbetracht dieser Erkenntnisse kann die Investitionsentscheidung zugunsten eines neuen Baggers bewertet werden und würde sich im gezeigten Fall bereits nach zwei Produktionsjahren rentieren.

Leerlauf zwischen Zyklen

Als Teil der weiteren Überwachung der eingesetzten Maschinen hat talpasolutions Algorithmen zur Erkennung von Arbeitszyklen für die SKW entwickelt, welche tiefe Einblicke in die Maschinenaktivitäten zu jedem Zeitpunkt ermöglichen. Hierbei zeigte sich eine zuvor unbekannte Ineffizienz im Betrieb: Die eingesetzten SKW befinden sich nach Zyklen bis zu 3 min im Leerlauf, bevor sie ihren nächsten Zyklus beginnen, obwohl die Lademaschinen einsatzbereit und nicht belegt sind. Da sich die durchschnittliche Zykluszeit auf 12 min und 33 s beläuft, stellen diese Leerlaufzeiten einen signifikanten Verlust an Produktionszeit dar. Durch eine Reduzierung dieser Leerlaufzeiten ergibt sich Potential zur Steigerung der durchführbaren Transportzyklen. Die SKW-Flotte bewältigt durchschnittlich 405 Transportzyklen pro Monat, was um bis zu 110 weitere Zyklen (+ 24%) gesteigert werden kann, wenn die Leerlaufzeiten entfallen. Diese Erkenntnis zeigt eindrucklich, dass für den betrachteten Fall entweder eine Überkapazität von > 20% der SKW oder ein nicht genutztes Produktionspotential des Betriebs von > 20% vorliegt.

Detaillierte Reifenüberwachung

Ein häufig unterschätzter Kostenbereich in der Betriebsoptimierung ist die Überwachung einzelner Bauteile an Maschinen. Als Beispiel werden entdeckte Ineffizienzen und Erkenntnisse aus der Überwachung von Reifen an SKW angeführt. Reifen können einen beträchtlichen Anteil von bis zu 30% in der Materialbewegung ausmachen (3, 4) (Bild 3). Bei Kosten von bis zu 50.000 US-\$ für einen einzelnen Reifen, können die Reifenkosten den ursprünglichen Kaufpreis der gesamten Maschine im Lauf ihres Einsatzes überschreiten (5). Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann eine genaue Überwachung des Reifenzustands und des Einsatzes an Transportmaschinen signifikante Kostenersparnisse ermöglichen.

Durch das Erfassen von Reifendruckensensoren und Daten zu den Bewegungen der Maschinen in talpasolutions' IIoT-Plattform ist es möglich, Reifendrucke und -temperaturen kontinuierlich im Maschinenbetrieb zu erfassen. Im Gegensatz zu konventionellen Messungen, die nur beim Maschinenstillstand in Werkstätten o.Ä. durchgeführt werden können, erlauben Messungen im Maschinenbetrieb tiefere Einblicke in reifenbeeinflussende Umstände. Während des Einsatzes sind die Reifen wechselnden Belastungen und Beanspruchungen durch die Fracht des SKW und dem Fahren auf abrasiven Strecken ausgesetzt. Die Fahrgeschwindigkeit der Maschine spielt insbesondere für den zweiten Fall eine entscheidende Rolle, da eine Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit um 10% eine Verlängerung der Lebensdauer von Reifen um bis zu 10% bewirken kann (6, 7). Eine genaue Überwachung der Fahrgeschwindigkeit kann daher nicht nur zu einer erhöhten Lebensdauer von Bauteilen führen, sondern auch bei der Einhaltung von Geschwindigkeitsbegrenzungen assistieren und somit die Arbeitssicherheit im Betrieb erhöhen. Starkes Bremsen und Beschleunigen hat einen ähnlich negativen Einfluss auf die Lebensdauer von Reifen und sollte möglichst vermieden werden.



Fig. 3. Tires can make up a significant share of up to 30% of the operational costs in material transportation. // Bild 3. Reifen können einen beträchtlichen Anteil von bis zu 30% in der Materialbewegung ausmachen. Photo/Foto: Spotnicki/Shutterstock.com

Next to analyzing tire operation, monitoring of pressures and temperatures allows for short-term actionable insights in form of pressure loss or overheating detection. In a quarry operation similar to the one previously discussed, low tire pressures were detected during multiple shifts and could be adjusted on the spot to ensure optimal working conditions. Most tire producers mention the tire pressure as one of the most important control variables for reducing tire wear. Low pressures are more critical as high ones, as the tire surface exposed to road contact is increased and thus wear pandered (8). Studies have shown that a pressure decrease by 10% already reduces the tire's life by 13%, for 30% reduction this increases up to a 52% shortened tire life (9). In the presented case, tire pressures dropped as low as 43% below the manufacturer's recommendations and could be corrected in a timely manner. According to literature, this pressure drop would result in a reduction of tire life by 104% (6). With costs of 8,000 US\$ per tire for the analyzed machine with six tires and given a frequent occurrence of these detected pressure drops, additional expenses for early tire replacement of up to 48,000 US\$/a could be avoided. Under consideration of the whole fleet, these costs can multiply.

Conclusion

Inefficiencies are well known in general for mining, however, not consistently monitored in operations, causing them to not get noticed or improved. Given the detailed evaluation of the cases above, it is obvious that more transparent operations are providing several improvement options, which have not been visible before. The IIoT-driven continuous monitoring makes such potentials visible and enables to develop strategies for preventing unnecessary operational losses and increasing the competitive power of the operation. While in other industries like manufacturing, direct competition has led to more and more cost-efficient operations, mining has been driven by opportunity and market, rather than efficiency. Since better ratios and measures for the given examples are well known from mining schools and literature, mining in practice often only derives from experience and the right actions are seldomly taken. Yet, it is in the interest of

Durch die Analyse von Brems- und Beschleunigungssituationen kann abgeleitet werden, ob Änderungen an der Infrastruktur des Betriebs in Bezug auf Steigungswinkel von Strecken oder Kurvenwinkel nötig sind oder ob eine unsachgemäße Bedienung der Maschine vorliegt.

Neben der Analyse des Einsatzes von Reifen ermöglicht die Überwachung von Drücken und Temperaturen kurzfristig umsetzbare Erkenntnisse in Form von erkannten Druckverlusten und Reifenüberhitzung. In einem Steinbruch ähnlich dem zuvor behandelten Beispiel konnten niedrige Reifendrücke während mehrerer Schichten festgestellt und umgehend korrigiert werden, um optimale Einsatzbedingungen herzustellen. Die meisten Hersteller von Reifen nennen den Reifendruck als eine der wichtigsten Steuergrößen, um Verschleiß zu reduzieren. Zu niedrige Drücke sind kritischer als zu hohe, da sich die Reifenfläche, die sich in Kontakt mit der Strecke befindet, bei niedrigem Druck vergrößert und somit Verschleiß verstärkt wird (8). Studien haben gezeigt, dass Druckverluste von 10% bereits die Lebensdauer des Reifens um 13% verringern können, bei einer Reduzierung um 30% steigert sich dieser Verlust auf bis zu 52% (9). Im vorgestellten Beispiel konnten Druckverluste von bis zu 43% festgestellt und zeitnah korrigiert werden. Den Literaturwerten zufolge hat dieser Druckverlust eine Verkürzung der Lebensdauer um 104% zur Folge (6). Mit Kosten von bis zu 8.000 US-\$ pro Reifen für die analysierte Maschine mit sechs Reifen und unter Annahme häufigen Auftretens von Druckverlusten, könnten zusätzliche Kosten durch den frühzeitigen Verschleiß der Reifen von bis zu 48.000 US-\$/a vermieden werden. Unter Berücksichtigung der gesamten Fahrzeugflotte können sich diese Kosten vervielfachen.

Fazit

Ineffizienzen im Bergbau sind allgemein bekannt, jedoch werden sie in den meisten Betrieben nicht hinreichend überwacht, was dazu führt, dass sie nicht bemerkt oder behoben werden. In Anbetracht der detaillierten Auswertung der angeführten Beispiele wird es offensichtlich, dass transparentere Betriebe eine Vielzahl an Verbesserungen ermöglichen, die zuvor nicht sichtbar waren. Eine IIoT-basierte kontinuierliche Überwachung macht solche Potentiale sichtbar, ermöglicht die Entwicklung von Strategien zur Vermeidung unnötiger betrieblicher Verluste und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit des Betriebs. Während direkte Konkurrenz in Fertigungsbetrieben zu kosteneffizienterer Produktion geführt hat, wurde der Bergbau vielmehr von günstigen Gelegenheiten und der Marktsituation anstelle von Effizienz getrieben. Da bessere Passungen, Verhältnisse und Messwerte wohlbekannt aus Literatur und bergbaulicher Bildung sind, stützt sich der angewandte Bergbau häufig ausschließlich auf Erfahrung und die richtigen Entscheidungen werden selten getroffen. Dennoch liegt es im Interesse der Bergleute und Betriebsleiter, die Konkurrenzfähigkeit ihres Betriebs zu erhalten und zu steigern, um sie für eine fordernde und unsichere Zukunft zu wappnen. Unter Berücksichtigung der in dieser Publikation angeführten Werte zeigt es sich, dass in manchen Fällen die Gesamtproduktivität des Betriebs um > 50% gesteigert werden kann. Diese Werte und Erkenntnisse können mittels weiterer Datenquellen und unter Berücksichtigung zusätzlicher Aspekte noch vertieft werden. Während die Potentiale für aktive Betriebe bereits eindeutig mittels IIoT sichtbar

miners and mine managers, to maintain their business and shape it for a more competitive and uncertain future. Given the figures above, it is obvious that in some cases overall operation efficiency can be improved by > 50 %. These figures and insights can be deepened with additional data sources and aspects. While potentials of ongoing mining operations can clearly be made visible by IIoT, the full potential of digital applications in mining is still developing. For the first cases of applying Big Data analytics and providing close to real time insights, it is obvious that more potentials and benefits will emerge soon.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Ercelebi, S.; Atac Bascetin, A.: Optimization of shovel-truck system for surface mining. In: Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 109, 2009, pp. 433–439.
- (2) Darling, P. (ed.): SME Mining Engineering Handbook. 3rd ed. Englewood, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2011, p. 921.
- (3) Kiziroglou, M. E.; Boyle, D. E.; Yeatman, E. M.; Cilliers, J. J.: Opportunities for Sensing Systems in Mining. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics, No. 13, 2017, p. 284.
- (4) Tennant, D. D.; Regensburg, B.; "Guidelines for Mine Haul Road Design", 2001.
- (5) Bozorgebrahimi, E.; Hal. R. A.; Blackwell, G. H.: Sizing Equipment for Open Pit Mining: A Review of Critical Parameters. In: Mining Technology, Nr. 112, 2003, p. 175.
- (6) Woodman, C. A.; Cutler, A. T.: Tyre Selection, Use and Operational Issues to Maximise Tyre Life. Redcliffe, 2002, p. 11.
- (7) Parreira, J.: An Interactive Simulation Model to Compare an Autonomous Haulage Truck System with a Manually-Operated System. Vancouver, 2013, p.89.
- (8) Duffy, O. C.; Heard, S. A.; Wright, G.: Fundamentals of Mobile Heavy Equipment. 21st ed. Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2019, p. 850.
- (9) Meyer, V. M.: Beurteilung des Einflusses von Kurvenfahrten auf den Reifenverschleiß bei Erdbewegungsmaschinen. 2020, p. 16.

Authors / Autoren

Christopher Kühnbach M. Sc., Mirko Liebetrau M. Sc.,
Toyga Özver M. Sc., talpasolutions GmbH, Essen/Germany