

Anwendungsszenario des Internet der Dinge am Beispiel von Tragrollenheißläufern bei Gurtförderanlagen

Application scenario of the Internet of Things at the example of overheated roller in belt conveyors

*Christian Richter¹
Karl Fessel¹
André Katterfeld¹
Yevgeniy Chumachenko²*

*¹Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik
Fakultät Maschinenbau, Institut für Logistik und Materialflusstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*

²Artur Küpper GmbH & Co. KG, Bottrop

Die Überwachung von Tragrollenheißläufern ist, insbesondere bei langen Gurtförderanlagen in unwegsamem Gelände, eine große Herausforderung. Durch die Entwicklung neuer, energiesparender Übertragungsmethoden im Kontext von Industrie 4.0 ist eine automatische, funkbasierte Überwachung der Temperatur jedes einzelnen Tragrollenlagers möglich. Die Tragrolle wird so Teil des Internet der Dinge. Im Beitrag erfolgt eine Einordnung des entwickelten Überwachungssystems in den Kontext des Internet der Dinge. Es wird die Anwendung des LoRa™ WAN Standards zur energiesparenden Datenübermittlung über lange Strecken am Beispiel von Gurtförderanlagen vorgestellt. Die Notwendigkeit sicherer Übertragungsverfahren wird diskutiert und eine Lösung aufgezeigt. Weiterhin wird das neu entwickelte Datenanalyseverfahren erläutert.

[Schlüsselwörter: LoRa™ WAN, Instandhaltung, Internet der Dinge, Tragrollenüberwachung, Heißläufer]

The identification of damaged bearings in idlers of belt conveyors is one important aspect to prevent belt fires. The monitoring of the idlers condition is a challenging task due to the number of idlers and the difficult environmental conditions in industrial and mining operation. A new low-cost solution for the identification of damaged idler bearings was developed by the German idler manufacturer Artur Küpper GmbH & Co. KG and the Chair of Material Handling at the University of Magdeburg. The presented concept is based on the collective analysis of the idler bearing temperature and uses long range but low energy wireless technology to transmit data.

[Keywords: LoRa™ WAN, Maintenance, Internet of Things, Sensing Idler]

1 EINLEITUNG

Seitdem es kilometerlange Gurtfördersysteme gibt, besteht der Wunsch nach einer effektiven und benutzerfreundlichen Überwachung der sich im Einsatz befindlichen Tragrollen, um eine Rückmeldung über den Zustand der jeweiligen Tragrolle zu bekommen. Allem voran betrifft dies die Einhaltung und Kontrolle der Lagerbetriebstemperatur. Nicht rechtzeitig erkannte Lagerschäden führen zum Tragrollenausfall bis hin zur Beschädigung des Fördergurts. Im Falle eines Heißlaufs des Wälzlagers können die Schäden an der Bandanlage bis hin zum Gurtbrand reichen (Abbildung 1). Da der Fördergurt das kostenintensivste Bauteil einer Bandanlage ist, und eine Zerstörung des Fördergurtes lange Stillstandzeiten der gesamten Fördertechnik nach sich zieht, führen Gurtbrände zu immensen ökonomischen Schäden.



Abbildung 1: Verheerende Folgen für Bandanlagen durch Brandeinwirkung [Amb16]

Um diesen Gefahren zu entgegnen, wurde in Zusammenarbeit mit der Artur Küpper GmbH & Co. KG in einem öffentlich geförderten FuE Projekt ein vorbeugendes Monitoring-System entwickelt. Dieses System liefert dem Anlagenbetreiber kontinuierlich Zustandsmeldungen über die aktuellen Lagertemperaturen. Potentielle Risiken werden so frühzeitig gemeldet und ungeplante Stillstände wirksam verhindert.

2 URSACHEN UND AUSWIRKUNGEN VON BESCHÄDIGTEN TRAGROLLEN

Die Ursachen für Tragrollenausfälle betreffen in der Regel die Teilsysteme Schmierung und Dichtung der Wälzlager. Allen voran sind mangelhafte Schmierbedingungen (Schmierstoffmenge oder -eigenschaft), sowie schadhafte Dichtsysteme (Eindringen von Schmutz und Feuchtigkeit) die Hauptursachen für Ausfälle (vergl. Abbildung 2).

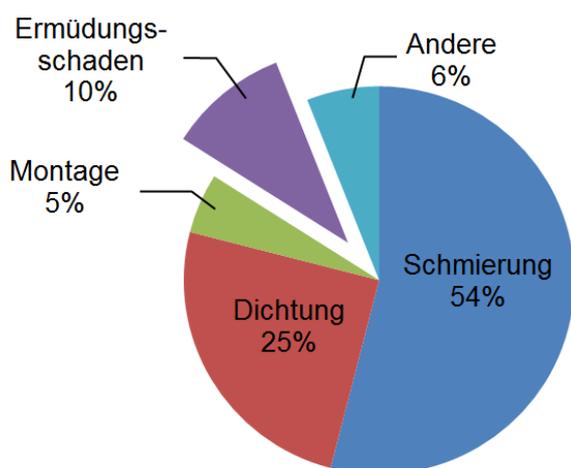


Abbildung 2: wesentliche Ursachen für einen Lagerausfall [FAG00]

Schlechte Schmierbedingungen und verschmutzte Lager führen zu erhöhter Lagerreibung. Dies hat einen steigenden Tragrollenlaufwiderstand, einhergehend mit einer Erhöhung der Lagertemperatur, zur Folge (vergl. Abbildung 3, oben). Ein defektes Lager ist zunächst durch Vibrationen zu erkennen. Diese können in der Folge zunehmende Geräusche verursachen.

Im Gegensatz zu Schwingungen und Geräuschen lässt sich die Temperatur messtechnisch sehr kostengünstig erfassen und auswerten. Daher wird in diesem Forschungsprojekt die Temperaturmessung zur Erkennung defekter Lager angewandt.

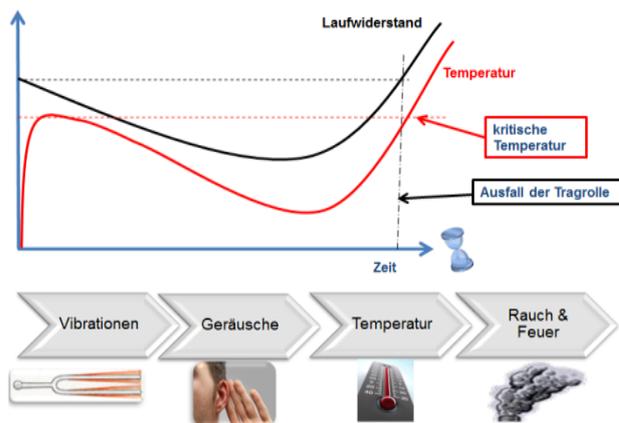


Abbildung 3: Auswirkungen von Lagerschäden

3 KONZEPT DER SENSORTRAGROLLE

Zukünftig soll jedes Tragrollenlager mit Temperatursensoren ausgestattet werden. Der Großteil der international eingesetzten Bandanlagen verfügt über feststehende Tragrollenstühle. Dies ermöglicht es, die Kontaktierungseinrichtung für die Signalübertragung zwischen Temperatursensor und Funkknoten innerhalb des Stahlbaus des Tragrollenstuhls aufzunehmen. Somit ist diese optimal vor Umwelteinflüssen geschützt.

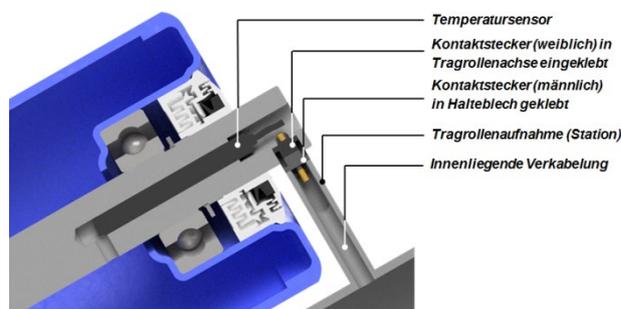


Abbildung 4: Integration digitaler Temperatursensoren in Tragrollen, (c) Artur Küpper GmbH & Co. KG

In jeder Tragrollenachse werden zwei digitale Temperatursensoren direkt unter den Wälzlager verbaut. Daraus ergeben sich für den gemuldeten Obertrum mit drei Tragrollen 6 Messstellen für jeden Tragrollenstuhl. Die Messsignale der Temperatursensoren werden von einem Funkknoten pro Tragrollenstuhl erfasst und der entsprechenden Messstelle zugeordnet. Zusammen mit einer eindeutigen Identifizierungsnummer des Sensorknotens werden die Informationen in festgelegten Intervallen an den Leitstand übermittelt.

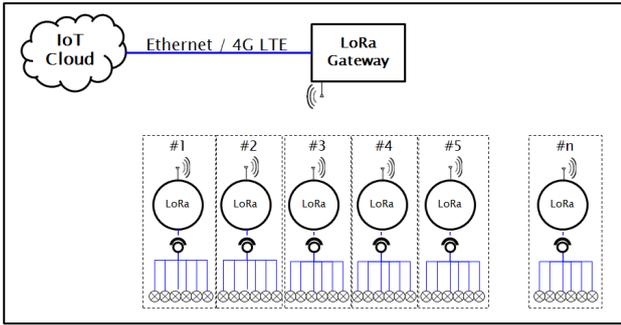


Abbildung 5: Konzept der Sensordatenübertragung

Für die Funkübertragung kommt eine energie- und kosteneffiziente Übertragungstechnologie zum Einsatz. Diese basiert auf der Long-Range, Low-Power Wide Area Network (LoRa™ WAN) Technologie. Im Gegensatz zu RFID, Bluetooth, WLAN und anderen Funktechnologien zeichnet sich LoRa™ WAN durch eine Reichweite von bis zu 5 km und einem sehr geringen Energieverbrauch aus. Dies ermöglicht es, mit relativ wenig Infrastruktur ganze Hafenanlagen oder Tagebaue abzudecken.



Abbildung 6: notwendige Reichweite in typischen Tagebauen in Deutschland, Bildquelle: (c) google maps

Die Sensorknoten bestehen aus einem leistungsstarken STM32 Mikrocontroller, einem Semtech LoRa™ Funkmodul und einer integrierten Batterie. Die Firmware steuert den Energieverbrauch so, dass nach der erfolgreichen Messwerterfassung und -übertragung an ein Gateway alle Komponenten in den sogenannten Tiefschlafmodus versetzt werden. Die Batterielaufzeit kann dadurch, je nach Umgebungsbedingungen, bis zu zehn Jahre betragen. Der nächste Messvorgang wird vom Gateway synchronisiert für alle Sensorknoten festgelegt, sodass die Kanalbelegung bei der Verwendung einer sehr großen Anzahl von Sendern minimiert wird. Ein Gateway kann, unter Beachtung der gesetzlichen Vorgaben, bis zu 10.000 Sensorknoten, bei einem Übertragungsintervall von 15 min, erfassen.

4 INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSINFRASTRUKTUR

Die aggregierten Daten jedes Sensorknotens werden an die Gateways in ihrer Umgebung übertragen. Die Anzahl der Gateways hängt von der Abdeckung und der Abschattung einzelner Sensorknoten, beispielsweise durch den Stahlbau der Bandanlage, ab. Ein direkt im Gateway installierter Paket-Forwarder überträgt die empfangenen Datenpakete an die Gateway-Bridge. Diese leitet die Daten an den LoRa™ Server weiter. Der Server dekodiert die Nutzdaten der Einzelpakete und sendet sie an eine benutzerdefinierte Webanwendung. Die Webanwendung sammelt die Daten und führt die Datenanalyse durch (vergl. Abbildung 7).

Das LoRa™ WAN Kommunikationskonzept basiert auf drei Schichten:

- der physikalischen Schicht, diese wendet die LoRa™ Modulation auf das Signal an,
- der MAC-Schicht, diese implementiert die Geräteverwaltung,
- dem LoRa™-Netzwerk Server, dieser empfängt eingehende Sensorknotendaten und leitet sie an die Endanwendung weiter.

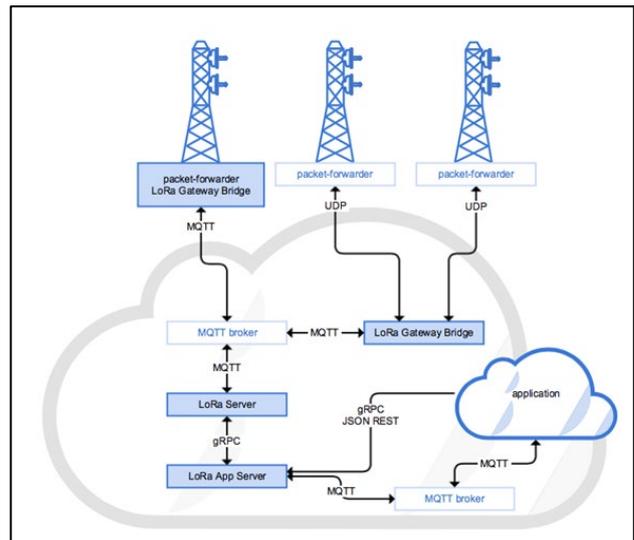


Abbildung 7: Systemarchitektur der verwendeten IuK Infrastruktur [Bro19]

Das verwendete Softwarepaket ist das opensource LoRa™-Server Projekt [Bro19].

5 DATENSICHERHEIT

Die Datenpakete der Sensoren werden verschlüsselt übertragen. Die verwendeten Funkknoten unterstützen eine Hardwareverschlüsselung. Somit ist die Funkübertragung innerhalb des Sensornetzes als sehr sicher einzustufen. Ab dem Gateway liegen die Daten zunächst unverschlüsselt vor, da sie beim Empfang direkt hardwareentschlüsselt werden. Dies ist notwendig, um im Gateway die Zuordnung der Messstelle zu den Sensorwerten zu realisieren. Für die weitere Übertragung zur Cloud werden die Daten erneut verschlüsselt und komprimiert.

Der Cloud-Server zur Datenanalyse wird in einem geschützten Netz innerhalb der vorhandenen IuK-Infrastruktur des Anlagenbetreibers betrieben. Somit ordnet sich das entwickelte Überwachungssystem als *Industrial Intranet of Things* [Rob19] ein.

6 KONZEPT DER KOLLEKTIVEN DATENAUSWERTUNG

Anders als viele Wälzlager im allgemeinen Maschinenbau sind Tragrollen direkt sehr rauen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. So kann beispielsweise die Sonneneinstrahlung eine Tragrollenseite signifikant erwärmen. Weiterhin führen unterschiedliche Belastungen zwischen Mittel- und Seitenträgrolle bzw. unterschiedliche Belastungen der inneren und äußeren Lager der Seitenträgrollen zu unterschiedlichen Beanspruchungen der Lager im Betrieb. Dies kann zur Abweichung von im Voraus statisch festgelegten Schwellwerten führen. Trotzdem sind diese Tragrollen nicht sofort schadhaf und müssen auch nicht sofort ausgetauscht werden.

Da die Betrachtung einzelner Tragrollen zu Fehlinterpretationen führen kann, müssen die Werte mehrerer benachbarter Tragrollen mit gleichen Installationsbedingungen verglichen werden. Dies wird mit der sogenannten *kollektiven Zustandsüberwachung* erreicht.

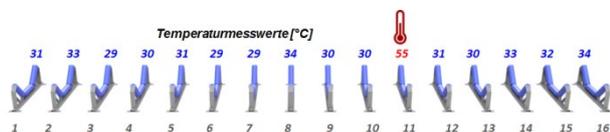


Abbildung 8: kollektive Auswertung der Temperaturmesswerte einer Stationsseite

Bei der kollektiven Zustandsüberwachung ergeben die Mittelwerte der Temperatur mehrerer Tragrollen gleicher Einbauposition entlang einer Seite des Gurtförderers einen aktuellen, dynamischen Referenzwert. Ergibt sich für eine Tragrolle eine signifikante Verschlechterung im Vergleich zum Referenzwert, kann

davon ausgegangen werden, dass diese Tragrolle schadhaf ist und ausgetauscht werden muss. Fehlalarme werden mit diesem Verfahren nahezu ausgeschlossen. Dies erhöht die Akzeptanz des Überwachungssystems beim Anlagenbetreiber.

7 ANWENDUNGSSZENARIO

Das beschriebene System aus Sensortragrollen, Funkmodulen, IuK-Infrastruktur und kollektiver Sensordatenauswertung in der Cloud wurde erfolgreich am *Gurtförderer-Versuchsstand im industriellen Maßstab* (vergl. Abbildung 10) am Institut für Logistik und Materialflusstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg erprobt. Für die Versuche wurden 10 Tragrollenstühle mit insgesamt 60 Temperatursensoren ausgestattet.

Nach dem Einlaufen der Tragrollen wurde durch einseitige Erwärmung einer Tragrolle ein Ausfall eines Lagers simuliert (vergl. Abbildung 9, $t=29$ Min.). Es wurde gezeigt, dass aufgrund des massiven Stahlbaus des Systems Tragrolle, die spezifische Wärmekapazität sehr hoch ist, sodass eine Übertragung der Sensorwerte aller 15 min für die verwendeten Tragrollen ($D=90$ mm, $L=250$ mm) ausreichend ist, um schadhafte Lager sicher zu detektieren.

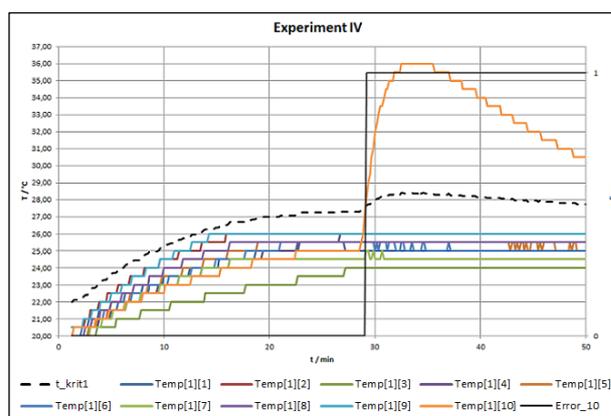


Abbildung 9: Temperaturverlauf von 10 Messstellen entlang einer Seite des Gurtförderer-Versuchsstands

Dieses Messintervall ermöglicht einen Lebenszyklus der eingebauten Energieversorgung von bis zu zehn Jahren. Dies ist von äußeren Faktoren, beispielsweise der Selbstentladung und der Umgebungstemperatur abhängig, da diese signifikanten Einfluss auf die Lebensdauer der verwendeten Batterien haben. Eine Energieversorgung mittels integrierter Generators wurde aufgrund der mechanischen Komplexität und den daraus resultierenden Kostennachteilen für das Gesamtkonzept verworfen.



Abbildung 10: experimenteller Nachweis der Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems am Gurtförderer-Versuchsstand im industriellen Maßstab am Institut für Logistik und Materialflusstechnik

8 FÖRDERHINWEIS

Die vorgestellten Entwicklungen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „NekoS – 3iS Intelligent-Cloud-Maintenance“ durchgeführt. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Förderkennzeichen 16KN074721.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- [Amb16] AFRICAN MINING BRIEF: *Conveyor Belt Fire Detection Solutions*. URL <https://ambriefonline.com/wp-content/uploads/2016/02/AMB-Jan-Feb-2016.pdf>
- [FAG00] FAG: *Wälzlagerschäden - Schadenserkenkung und Begutachtung gelaufener Wälzlager*. Schweinfurt, 2000 (Publ.-Nr. WL 82 102/2 DA)
- [Bro19] ORNE BROCAAR: *LoRa Server*. URL <https://github.com/brocaar/loraserver>
Überprüfungsdatum 2019-06-17
- [Rob19] MARK ROBERTI: *The Intranet of Things: The Internet of Things used by consumers and the ones used by companies will likely be very different*. URL <https://www.rfidjournal.com/articles/view?12450> –
Überprüfungsdatum 2019-06-17

Univ.-Prof. Dr.-Ing. André Katterfeld, Head of Institute of Logistics and Material Handling Systems, Otto-von-Guericke-University Magdeburg.

Dipl.-Ing. Christian Richter, Research Assistant at the Chair of Material Handling, Institute of Logistics and Material Handling Systems, Otto-von-Guericke-University Magdeburg.

Dipl.-Inf. Karl Fessel, Research Assistant at the Chair of Material Handling, Institute of Logistics and Material Handling Systems, Otto-von-Guericke-University Magdeburg.

M. Sc. Yevgeniy Chumachenko, Research and Development department, Artur Küpper GmbH & Co. KG, Bottrop

Adresse:

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Logistik und Materialflusstechnik
Lehrstuhl Förder- und Materialflusstechnik
Universitätsplatz 2, 39104 Magdeburg, Germany,
Tel: +49 391-67-50178, Fax: +49 391-67-52646,
E-Mail: christian.richter@ovgu.de