

# Einsatzmöglichkeiten von langwelligen Infrarotkameras in rauen Umgebungen

Jan BERG<sup>1</sup>, Ralph BALTES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie, RWTH Aachen, Aachen  
[jberg@imr.rwth-aachen.de](mailto:jberg@imr.rwth-aachen.de); [rbaltes@imr.rwth-aachen.de](mailto:rbaltes@imr.rwth-aachen.de)

**Kurzfassung.** In vielen industriellen Anwendungen werden bildgebende Verfahren eingesetzt, um eine visuelle Erfassung der Umgebung zu erhalten. Dieser wird zur Prozessüberwachung oder Fernsteuerung von Objekten und Systemen verwendet. In den meisten Anwendungsfällen werden hierfür herkömmliche, visuelle Kameras eingesetzt. In der Rohstoffindustrie haben visuelle Kameras aber einen erheblichen Nachteil: die hohe Anfälligkeit gegenüber den rauen Umgebungsbedingungen. Sie benötigen möglichst konstante Lichtverhältnisse, die im Außeneinsatz sowie untertägig nur selten gegeben sind. Zudem sind sie in staubigen Umgebungen kaum bis gar nicht einsetzbar. Dies bedeutet, dass sie für viele Anwendungen im Rohstoffbereich ungeeignet sind.

Im Gegensatz dazu weisen Infrarotkameras, die im langwelligen Infrarotbereich arbeiten, eine hohe Unempfindlichkeit gegenüber diesen Störgrößen auf. Sie bieten daher die Möglichkeit, ein bildgebendes Verfahren in den rauen Bedingungen der Rohstoffindustrie zu realisieren.

Am Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie der RWTH Aachen, werden langwellige Infrarotkameras seit vielen Jahren in unterschiedlichen Anwendungsgebieten in industrienahen Projekten erfolgreich eingesetzt: Die Automatisierung der Beladung von Bändern in Tagebauen konnte mit Hilfe infrarotbasierter bildgebender Verfahren erfolgreich realisiert werden. In einem anderen Anwendungsfall wurde die Homogenität eines Stoffstroms in Echtzeit optimiert, in dem die Wasserzugabe über einen Pelletierteller basierend auf aus der Bildverarbeitung gewonnen Kennwerten geregelt wird. Ebenso sind Anwendungen zur Überwachung der Laufrollen in Bandanlagen unter Brandschutzgesichtspunkten untersucht worden.

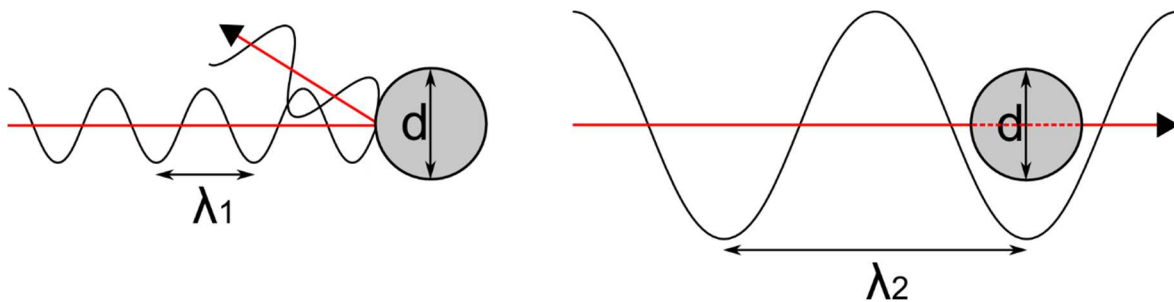
Die Anwendungsmöglichkeiten sind dabei vielfältig und zeigen das Potential zur Prozess- und Anlagenoptimierung / -überwachung mittels bildgebender Verfahren auf der Basis langwelliger Infrarotstrahlung.

## Einführung

Der Bergbau ist eine der ältesten Industriezweige weltweit und entwickelte sich über die Jahrhunderte fortlaufend. Der stetig wachsende Bedarf an Rohstoffen sowie das Vordringen in immer tiefere und komplexere Lagerstätten erfordern dabei ständig die Entwicklung neuer technischer Lösungen und Prozesse, um wirtschaftlich und sicher die Rohstoffversorgung zu ermöglichen. In der modernen Prozess und Fabrikautomatisierung, werden mit einer ähnlichen Zielvorstellung bereits intensiv Systeme und Sensoren eingesetzt, die die Erfassung von Ist-Zuständen und darauf basierende Automatisierung beziehungsweise Regelung von Prozessen ermöglichen. Vielfach zum Einsatz kommen hier beispielsweise Laserscanner und im optischen Bereich arbeitende Videosysteme. Im Bergbau aber auch in

der Schwerindustrie, ist der Einsatz der vorgenannten Systeme meist nur mit starken Einschränkungen möglich. Aerosolpartikel in der Umgebungsluft, wie Staub- oder Wasserpartikel, sorgen abhängig vom konkreten Anwendungsfall für schlechte Sichtverhältnisse, welche Messsysteme im Spektralbereich des sichtbaren Lichtes oder im Nahinfrarotbereich stark beeinflussen [1]. Darüber hinaus treten auch starke mechanische Belastungen durch Vibrationen oder Objekteinwirkungen auf. Gleichzeitig kann robuste Sensorik in solchen, schwierigen Umgebungsbedingungen den größten Mehrwert bieten. Einerseits können für dort arbeitendes Personal zusätzliche Informationen bereitgestellt werden, die gegebenenfalls nicht mit ihren menschlichen zu erfassen sind, andererseits können ganze Prozesse (teil-)automatisiert werden um das Personal aus den Bereichen mit schwierigen Umgebungsbedingungen zu verlagern.

Am Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie (IMR) werden zur Realisierung von Automatisierungs- und Sicherheitsfunktionen in diesem Kontext seit Jahren Infrarotkameras erfolgreich eingesetzt [2], [3]. Dabei werden insbesondere sogenannte LWIR (von englisch Long Wavelength Infrared) Kameras im Spektralbereich von 8-15  $\mu\text{m}$  eingesetzt. Die circa um den Faktor zehn größere Wellenlänge dieser Infrarotstrahlung im Vergleich zu sichtbarem Licht, ermöglicht eine deutlich geringere Beeinflussung des Strahlungstransportes durch Aerosole [4]. Grafisch ist dies in Abbildung 1 veranschaulicht. Die elektromagnetische Strahlung mit der Wellenlänge  $\lambda_1 < d$  wird vom Partikel reflektiert, die Strahlung  $\lambda_2 > d$  passiert diesen.



**Abb. 1.** Illustration von Reflexion beziehungsweise Passage von Strahlung je nach Verhältnis der Wellenlänge zum Durchmesser eines Partikels

Ein weiterer Vorteil der Technologie ist, dass sie rein passiv arbeitet. Da jeder Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes elektromagnetische Strahlung aussendet, kann diese gemessen werden. Bei höheren Temperaturen verschiebt sich dabei der Spektralbereich, in dem die höchste Leistung abgestrahlt wird, in den Bereich höherer Frequenzen und damit kürzerer Wellenlängen. Bei Temperaturen um die Raumtemperatur wird dabei ein Großteil der Strahlungsleistung im Bereich von 8-15  $\mu\text{m}$  emittiert. Da im über- und untertägigen Bereich Oberflächen mit niedrigem Emissionsgrad selten auftreten, können die meisten Objekte durch ihre Strahlung gut detektiert werden. Auch treten störende Reflexionen nur sehr vereinzelt auf. Positiv wirkt sich insbesondere bei übertägigen Anwendungsszenarien aus, dass LWIR Kameras von Blendeffekten deutlich weniger stark betroffen sind.

Für Automatisierungslösungen ist wichtig, dass das zur Strahlungsmessung eingesetzte System zuverlässig arbeitet. Dazu gehört, dass es dauerhaft den hohen mechanischen Belastungen standhalten kann. Zum Beispiel ist Widerstandsfähigkeit gegenüber Vibrationsbelastungen in Höhe eines Vielfachen der Erdbeschleunigung oft gefordert, ebenso wie Standhaftigkeit gegenüber noch höheren Stoßbelastungen. Auch ein weiter Betriebstemperaturbereich ist wichtig. Insbesondere im untertägigen Bereich ist in großen Teufen mit Umgebungstemperaturen von 50° Grad Celsius und mehr zu rechnen. Daher kommen in diesem Sektor fast ausschließlich ungekühlte, bolometrisch arbeitende



Im Rahmen eines Industrieprojektes wurde beispielsweise ein System realisiert, welches darauf zielt, eine signifikante Verschleißminimierung und damit Kostenreduktion und Verfügbarkeitserhöhung der Bandanlagen zu erreichen. Abbildung 2 zeigt die Aufgabenstellung dabei schematisch. Ein Fördergurt wird mit dem von einem Bagger hereingewonnen Material beladen. Dieses im Bild von unten nach oben laufende Band ist auf einem Tragrahmen auf Bandrollen gelagert. Der Bagger verfügt über einen sogenannten Beladewagen, der über eine Schurre das Material möglichst mittig auf den Fördergurt aufgibt. Dieser Beladewagen kann sich unabhängig vom Fördergurt auf dem Untergrund bewegen. Um trotzdem eine gute Aufgabe auf das Band zu ermöglichen, kann die Schurre dabei in einem gewissen Bereich verschoben werden.

Die Positionierung der Schurre oberhalb des Fördergurtes sollte dabei so gewählt werden, dass sich der Schwerpunkt des Beladungsquerschnittes in der Bandmitte befindet. So können unnötige quer zur Transportrichtung wirkende Kräfte vermieden werden. Diese Kräfte resultieren andernfalls in erhöhter Reibung zwischen Bandrollen und Gurt, was einen erhöhten Verschleiß bedingt. Bei extremer Falschbeladung kann es zu starkem Bandschieflauf kommen, der eine hohe Belastung der Bandkanten verursacht und zu starken Beschädigungen dieser Bandkanten führen kann. Da die Ausrichtung der Schurre über dem Band über menschliche Bediener erfolgt, ist eine optimale Aufgabe nicht immer gewährleistet. Auch bei automatisiert geregelter Aufgabe ist eine optimale Ausrichtung nicht immer gegeben, da eine Rückkopplung der erzielten Beladung meist nicht erfolgt.

Um sowohl den Bandschieflauf zu messen als auch den Beladungsquerschnitt zu messen, wurden zwei LWIR Kameras am Beladewagen installiert. Eine schaut dabei in Förderrichtung auf das Band im Bereich der Schurre. Zu sehen ist dies in Abbildung 3. Die Blendfreiheit des Systems ist dabei von Vorteil, wie im direkten Vergleich zwischen dem Bild der im sichtbaren Spektralbereich arbeitenden Kamera (links) mit dem der Infrarotkamera (rechts) ersichtlich ist. Mittels industrieller Bildverarbeitung kann aus dem rechten Bild auf den Beladungsquerschnitt auf dem Band geschlossen werden, was eine erste Aussage über die Qualität der Positionierung der Schurre über dem Band zulässt. Im Falle einer manuellen Steuerung der Schurrenposition kann das Videobild der LWIR Kamera dabei insbesondere bei schlechter Sicht auch als sinnvolle Hilfe für den Bediener eingesetzt werden.



**Abb. 3.** Vergleich zwischen einem im sichtbarem Spektralbereich aufgenommenen Bild (links) und dem einer LWIR Infrarotkamera (rechts) (Aus [5])

Eine weitere Infrarotkamera wurde in Förderrichtung hinter der Beladeschurre oberhalb des Fördergurtes mit Sichtfeld auf Band und Tragrahmen installiert. Die Bilder dieser Kamera dienen dabei der Messung des Bandschieflaufs. Beispielhaft ist dies anhand von Abbildung 4 ersichtlich. In die Abbildung sind auch die von der verwendeten

Bildverarbeitung ausgegebenen Positionsinformationen zu sehen. Mit Hilfe der kombinierten Informationen beider Infrarotkameras, kann der Bandschieflauf gemessen und die Positionierung der Schurre optimiert werden.



**Abb. 4.** Beispielhafte Infrarotaufnahme eines beladenen Förderbandes mit eingeblendeten geometrischen Markern (Aus [5])

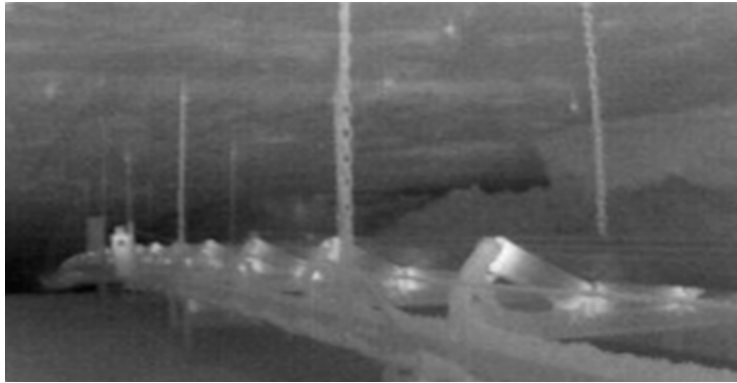
### **Bandrollenüberwachung**

Bandrollen sind wie der Fördergurt wichtige Elemente in einem Förderbandsystem. Auch sie haben einen wichtigen Einfluss auf die Verfügbarkeit und die Transportkosten. Die Bandrollen agieren als Träger des Fördergurtes. Sie sind meist an Girlanden aufgehängt und rotieren darauf kugelgelagert. Die Lager dieser Bandrollen sind den üblichen Verschleißerscheinungen unterworfen. Dadurch bedingt erhöht sich im Laufe der Zeit die Reibung innerhalb der Lager, was eine entsprechende Mehrleistung der Motoren zum Betrieb der gesamten Bandanlage erfordert und auch die Reibung zwischen Bandrolle und Fördergurt steigen lässt.

Wichtiger ist allerdings, dass die Temperaturen innerhalb dieser Lager durch die höhere Reibung signifikant ansteigen. Im Extremfall kann dies dazu führen, dass die Lager eine Temperatur erreichen in der sie eine Brandgefahr darstellen. Da hiervon eine Gefahr für sowohl das Personal als auch das Förderband ausgeht, werden derartige Systeme meistens zyklisch geprüft beziehungsweise begangen. Hierzu werden defekte Bandrollen oftmals akustisch identifiziert. Problematisch ist, dass sich zwar ein Großteil der defekten Lager akustisch erkennen lässt, jedoch nicht jedes der defekten Lager. Außerdem treten auch Lager akustisch in Erscheinung, die eigentlich noch für längere Zeit problemlos eingesetzt werden könnten. Dies bedingt einen eigentlich nicht notwendigen Wartungsaufwand.

Auch hier kann Infrarottechnologie gewinnbringend eingesetzt werden. Durch die erhöhte Reibung innerhalb der Lager der Bandrollen ergibt sich zwangsläufig eine

Erwärmung. Diese kann mittels Infrarotthermographie festgestellt und bei entsprechender radiometrischer Auswertung auch konkret bewertet werden. So können maximal zulässige Temperaturen für Lager definiert werden. Abbildung 5 zeigt die LWIR Aufnahme eines untertägig eingesetzten Förderbandes. Klar zu erkennen sind die Bandrollen, welche im Bereich der Lager eine Erwärmung zeigen, welche sich noch im Rahmen eines normalen Betriebs befindet.



**Abb. 5.** Beispielhafte Infrarotaufnahme eines untertägigen Förderbandes

Solche infrarothermographischen Systeme sind teilweise bereits im Einsatz. Während einerseits durch solche Systeme die Erkennungssicherheit defekter Bandrollen steigt, sinkt gleichzeitig die Fehldetektionsrate. Darüber hinaus kann eine deutlich höhere Detektionsgeschwindigkeit im Vergleich zu der ursprünglich verwendeten akustischen Methodik erreicht werden.

### **Stoffstromanalyse**

Die Analyse von Stoffströmen ist nicht nur im bergbaulichen Kontext von Interesse. Dabei können sowohl geometrische Aspekte wie Ausdehnung und Zusammensetzung des Stoffstromes von Interesse sein, sondern auch seine Zusammensetzung aus verschiedenen Materialien. Infrarotthermographie bietet hierbei vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Da je nach Emissionsgrad eine unterschiedliche starke Abstrahlung der Materialien im infraroten Spektrum erfolgt, kann beispielsweise auf Mischverhältnisse geschlossen werden.

Realisiert wurde im Rahmen eines Industrieprojektes die Online-Analyse eines Stoffstromes in Hinblick auf dessen Feuchtegehalt. Auf einem Pelletierteller erfolgt dabei die Mischung des Grundmaterials mit Wasser. Das Mischgut fällt anschließend auf ein Förderband zum Weitertransport. Im konkreten Aufbau wurde eine Infrarotkamera hinter der unterhalb des Pelletiertellers angebrachten Schurre montiert, so dass diese von oben herab auf das Förderband und das darauf geförderte Mischgut gerichtet ist. Die thermische Abstrahlung des Mischgutes ändert sich dabei in Abhängigkeit des Wasseranteils, so dass eine Regelung des zugeführten Wassers möglich wird. Abbildung 6 zeigt zwei beispielhafte Bilder der Infrarotkameras in Falschfarbendarstellung. Das linke Teilbild zeigt dabei ein zu trockenes Mischgut, das rechte Bild ein gutes Mischungsergebnis.

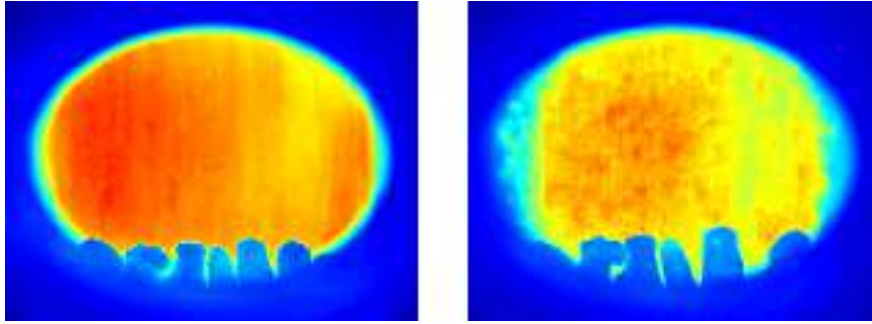


Abb. 6. Beispielhafte Infrarotbilder aus der Stoffstromanalyse

## Zusammenfassung und Fazit

Thermografie beziehungsweise LWIR Kamertechnologie eignet sich gut für die Realisierung von Automatisierungslösungen im Bergbau und in verwandten Industrien mit rauen Umgebungsbedingungen. Die Fähigkeit von langwelliger Infrarotstrahlung Aerosolpartikel in der Atmosphäre besser als sichtbares Licht zu passieren, ist dabei vorteilhaft. Der Einsatz von LWIR Kameras als Ersatz von im sichtbaren Spektralbereich arbeitenden Kameras ist dabei als vorteilhaft zu sehen. Meist bieten bergbauliche Szenarien inhärent einen ausreichenden Kontrast in ihrer infraroten Abstrahlung, so dass geometrische Informationen aus dem Kameradatenmaterial extrahiert werden können.

Neben den vorgenannten, beispielhaften Szenarien sind weitere denkbar beziehungsweise teilweise bereits im industriellen Einsatz. Die Nutzung von thermographischen Ansätzen zur Gewinnung von exakten Temperaturwerten findet dabei bisher nur vereinzelt Anwendung. Insbesondere im Bereich der Stoffstromanalyse und Maschinenüberwachung ist hierbei jedoch großes Potential zu sehen. Der Einsatz von Multispektral-infrarottechnologie könnte hier insbesondere in der Stoffstromanalyse, beispielsweise für Aufbereitungsprozesse weiteres Potential erschließen. Insgesamt dürfte sich der Einsatz von thermographischen Verfahren in der Rohstoffindustrie daher in Zukunft weiter intensivieren.

## Referenzen

- [1] J. Ryde and N. Hillier, "Performance of laser and radar ranging devices in adverse environmental conditions," *Journal of Field Robotics*, pp. 712--727, 2009.
- [2] F. Mavroudis and K. Nienhaus, "Automation and process monitoring in the mining industry by infrared sensor technology and industrial image processing," *Glückauf Mining Reporter*, vol. 1, 2009.
- [3] K. Nienhaus, F. Mavroudis and B. Hackelbörger, "Shearer Loader Automation and Communication - A Guide to the Autonomous Shearer Loader," in *Aachen International Mining Symposia (AIMS)*, Aachen, 2009.
- [4] C. Bohren and D. Huffmann, *Absorption and scattering of light by small particles*, John Wiley & Sons, 2008.
- [5] K. Nienhaus, M. Warcholik, C. Büschgens, Müller and Dietmar, "Belt Positioning and Skewing Revention in Lignite Mining Using Long-Wavelength Infrared Cameras," in *12th International Symposium on Continuous Surface Mining (ISCSM)*, Aachen, 2014.