

Applikationsbeispiele von LWIR Kameras zur Prozessüberwachung und Automatisierung

B. Eichentopf, T. Wendel, R. Baltes, K. Nienhaus

RWTH Aachen University – Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie

1 Abstract

Der Einsatz bildgebender Verfahren zur Prozessüberwachung, -automatisierung und -steuerung ist in vielen Industriezweigen bereits weit verbreitet. Im Bergbau und Schwermaschinenbau bringen die dort herrschenden anspruchsvollen Umgebungsbedingungen herkömmliche bildgebende Verfahren, wie z.B. Laserscanner oder im optischen Bereich arbeitende Videosysteme, häufig an ihre Grenzen. Für diese herausfordernden Anwendungsgebiete eignen sich in vielen Fällen bildgebende Verfahren basierend auf langwelligigen Infrarotkameras (LWIR-Kameras).

Die wesentlichen Vorteile von LWIR-Kameras sind deren Unempfindlichkeit sowohl gegenüber Aerosolpartikeln in der Luft (z. B. Staubpartikel, Wasserpartikel) als auch gegenüber mechanischen Belastungen (z. B. Vibrationen). Hinzu kommt, dass LWIR-Kameras rein passiv arbeiten können und damit unabhängig von den Lichtverhältnissen der Umgebung sind. Diese Eigenschaften qualifizieren die langwellige Infrarotthermographie für verschiedenste Anwendungen der Automatisierung und Prozessüberwachung im Bergbau und Schwermaschinenbau.

Am Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie (IMR) der RWTH Aachen University kommen LWIR-Kameras schon seit Jahren erfolgreich in industrienahen Projekten zur Automatisierung und Prozesssteuerung zum Einsatz. So wurden basierend auf LWIR-Bildern mittels Bildauswertung und Kennwertanalyse verschiedenste Stoffströme analysiert. Die generierten Informationen dienten beispielsweise der automatisch geregelten Wasserzugabe oder der automatisierten Abtrennung zu heißen Materials. Andere Anwendungsfälle ermöglichen z.B. die automatisierte Beladung mobiler Bandanlagen im Tagebau mit Hilfe einer algorithmenbasierten Auswertung von LWIR-Bildern der Materialübergabestelle.

Die beschriebenen Einsatzfälle zeigen die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten LWIR-basierter Bildverarbeitung zur Prozess- und Anlagenüberwachung im Bergbau und Schwermaschinenbau auf.

2 Einführung

Die zunehmende Technologisierung ermöglichte dem Bergbau sowohl ein Vordringen in immer komplexere und tiefere Lagerstätten als auch das Bewegen immer größerer Massen sowie die immer selektivere Gewinnung. Um die ökonomische und ökologische Rohstoff- und Energieversorgung langfristig zu sichern, bedarf es permanent neuer technischer Lösungen und Prozesse. [1]

Bereits seit einigen Jahren wird im Bergbau und in der Schwerindustrie in den Bereichen Sensorik und Automation geforscht und entwickelt. Die dadurch ermöglichte Bereitstellung zusätzlicher Informationen für das Personal, die (Teil-) Automatisierung ganzer Prozesse sowie die damit einhergehende Verlagerung von Personal aus Bereichen mit schwierigen Arbeitsbedingungen heraus, bieten enormes Potential. Dabei liegt die besondere Herausforderung für den Einsatz von Messsystemen und Sensoren in den schwierigen Umgebungsbedingungen im Bergbau. Aerosole, wie Staub- oder Wasserpartikel, in der Umgebungsluft sowie unzureichende Ausleuchtung, schränken, je nach Anwendungsfall, die Sichtverhältnisse ein; Vibrationen und Objekteinwirkungen belasten Messsysteme und Sensoren mechanisch. Dies erschwert die Überführung von Sensoren und Systemen, die bereits in der modernen Prozess- und Fabrikautomatisierung eingesetzt werden, wie z. B. Laserscanner oder im sichtbaren Spektralbereich arbeitende Videosysteme, in den Bergbau erheblich. Es bedarf daher Sensoren und Systemen, die widerstandsfähig gegenüber Vibrationsbelastungen, standhaft gegenüber Stoßbelastungen und in einem weiten Temperaturbereich einsetzbar sind. [1] [2]

In diesem Kontext werden am Institut für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie (IMR) der RWTH Aachen University seit Jahren erfolgreich ungekühlte LWIR (aus dem Englischen: Long-wavelength infrared) Kameras eingesetzt. Im Folgenden werden einige dieser Einsatzfälle von LWIR-Kameras für die Prozessüberwachung und –automatisierung exemplarisch aufgeführt und erläutert. Bei diesen Anwendungen kommt es weniger auf eine exakte Temperaturmessung, als vielmehr auf möglichst kontrastreiche Rohdaten für die nachgeschaltete Bildverarbeitung an. [2]

3 Grundlagen der Infrarotthermographie

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Infrarotthermographie zusehends entwickelt. Dies ist insbesondere dem enormen Fortschritt im Bereich der Mikrosysteme, IR-Detektoren und Computertechnik geschuldet. Infrarotthermographie visualisiert die für das menschliche Auge unsichtbare Infrarotstrahlung. Auf diese Weise können zusätzliche Informationen extrahiert und komplexe Sachverhalte oder Prozesse vereinfacht werden. [3]

Jeder Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts emittiert Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung. Infrarotstrahlung ist Teil dieser elektromagnetischen Strahlung und befindet sich im elektromagnetischen Spektrum zwischen dem sichtbaren Licht und den Mikrowellen. Die emittierte Infrarotstrahlung ist abhängig von der Temperatur des Objektes, vom Material sowie von der Oberflächenbeschaffenheit und der Abstrahlungsrichtung. [5] [7]

Infrarotkameras detektieren die Infrarotstrahlung und visualisieren sie in Bildern. Sie arbeiten häufig im sogenannten langwelligen Wellenlängenbereich zwischen $8\text{ }\mu\text{m}$ – $14\text{ }\mu\text{m}$ und nutzen dabei eines der sogenannten atmosphärischen Fenster. Im atmosphärischen Fenster wird die ausgesandte langwellige Infrarotstrahlung kaum durch die Atmosphäre behindert. Abbildung 1 verdeutlicht, dass die Strahlung mit der Wellenlänge $\lambda_1 < d$ vom Partikel/Luftmolekül d reflektiert wird, während die Strahlung mit der Wellenlänge $\lambda_2 > d$ diesen passiert. Der Spektralbereich des atmosphärischen Fensters eignet sich demnach ideal für passive Infrarotmessungen. Zudem wird die Infrarotstrahlung in diesem langwelligen Bereich, im Vergleich zum sichtbaren Licht, weniger durch Aerosole beeinflusst. Unter anderem aus diesem Grund eignen sich LWIR-Kameras zur Realisierung von Automatisierungslösungen. [2] [4] [6]

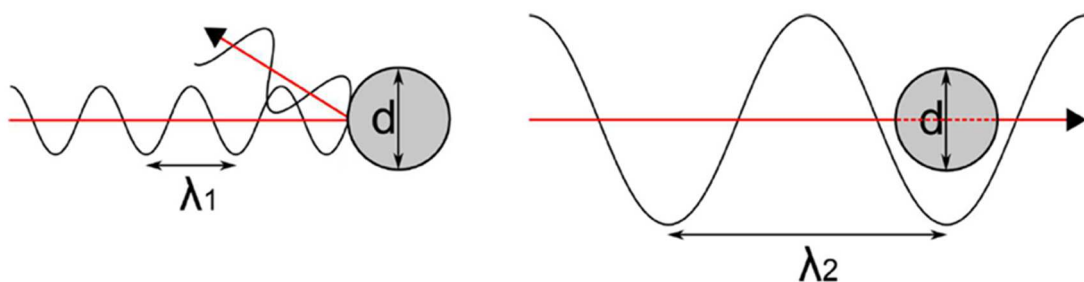


Abbildung 1: Kurzwelligere Strahlung wird von einem Partikel reflektiert (links), langwelligere Strahlung passiert ihn (rechts)

4 Stoffstromanalyse

Die Analyse von Stoffströmen ist in verschiedenen Kontexten von Relevanz. Dabei kann sowohl die Menge des Stoffstromes als auch dessen Zusammensetzung von Interesse sein. Die unterschiedliche Abstrahlung unterschiedlicher Materialien und/oder Materialzustände im infraroten Spektrum, ermöglicht Rückschlüsse auf das Mischverhältnis oder die Zusammensetzung eines Stoffstromes. [2]

In Zuge eines Industrieprojekts wurde der Feuchtegehalt eines Stoffstromes analysiert. Abbildung 2 zeigt schematisch die Aufgabenstellung. [2]

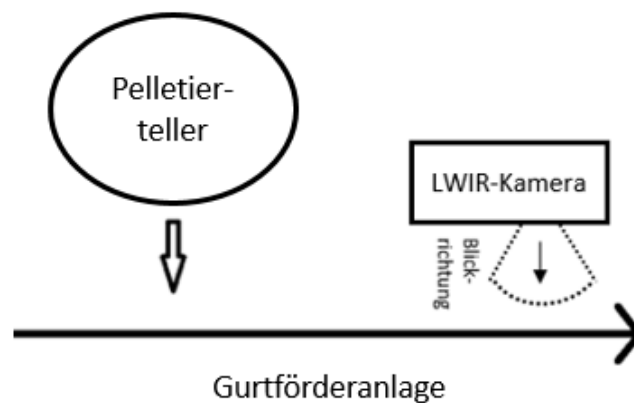


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Messaufbaus

Über einen Pelletierteller erfolgt die Mischung des Materials mit Wasser. Anschließend fällt das Mischgut auf eine Gurtförderanlage zum Weitertransport. In der schematischen Darstellung ist die Transportrichtung des Förderbandes von links nach rechts. Über der Gurtförderanlage ist eine LWIR-Kamera montiert. Die Blickrichtung der Kamera ist von oben herab auf das zu befördernde Mischgut gerichtet. [2]

Abbildung 3 zeigt Infrarotaufnahmen mit unterschiedlichem Feuchtegehalt des Mischgutes. Das linke Teilbild in Abbildung 3 zeigt zu feuchtes Mischgut, das rechte Teilbild zu trockenes Mischgut. [2]

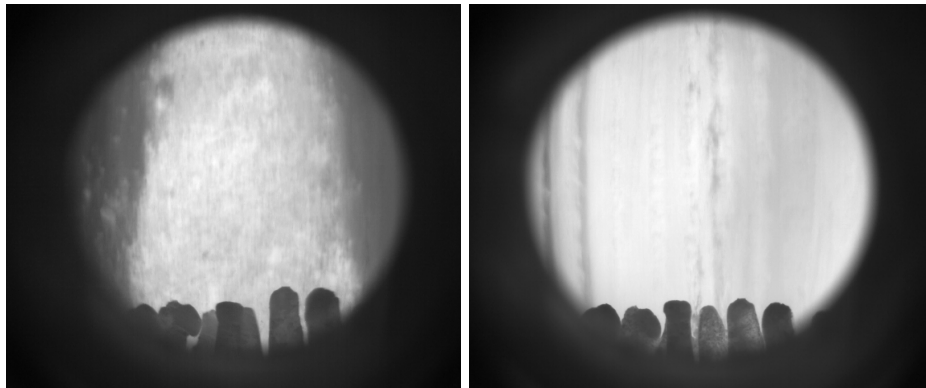


Abbildung 3: Beispielbilder Stoffstromanalyse (links: zu feuchtes Mischgut, rechts: zu trockenes Mischgut)

Mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen werden, basierend auf den aufgenommenen Bilddaten, verschiedene Kennwerte berechnet. Aus den berechneten Kennwerten wird ein Vektor in einem mehrdimensionalen Raum erzeugt, welcher die Charakteristik des Stoffstromes beschreibt. Eine Nachbarschaftsberechnung ordnet den erzeugten Vektor mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einer zuvor definierten Mischgutklasse (zu trocken, gut, zu feucht) zu.



Abbildung 4: Klassierungsergebnis Stoffstromanalyse

Abbildung 4 zeigt das Klassierungsergebnis für die implementierte Feuchtegehaltsbestimmung. Die y-Achse zeigt die tatsächliche Klasse des Stoffstromes, die x-Achse die Klasse, welcher der Klassierungsalgorithmus den Stoffstrom zugeordnet hat. Vom Klassierungsalgorithmus richtig zugeordnete Klassierungsergebnisse sind grün hinterlegt, falsche Klassierungsergebnisse hellrot. So ist beispielsweise die Klasse „zu trocken“ (erste Zeile) in 92 % der Fälle auch als „zu trocken“ erkannt worden. Für das Klassierungsergebnis wird anschließend eine Abweichung vom Sollzustand berechnet, deren Ergebnis in den Regelprozess einfließt. Basierend darauf ist eine automatisierte Feuchtegehaltsanalyse des Stoffstromes möglich und dadurch eine Automatisierung der Wasserzufuhr.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für eine Stoffstromanalyse mittels LWIR-Kamera ist die Detektion von Material mit einer deutlich erhöhten Temperatur innerhalb eines Stoffstromes. Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen entsteht auch bei gleichem Material ein Abstrahlungsunterschied. Diese unterschiedliche Strahlungsintensität wird von der Kamera registriert. Wiederum über Bildverarbeitung kann heißes Material zuverlässig detektiert, identifiziert und, basierend darauf, Notfallprogramme eingeleitet und Brände vermieden werden.

5 Bandschieflauferkennung und Beladungsautomatisierung

Sowohl in übertägigen als auch in untertägigen Bergbaubetrieben kommen häufig Bandanlagen, auch Gurtförderer genannt, für den Massentransport zum Einsatz. Die Gesamtlänge aller Bandanlagen in einem Tagebau kann leicht einige Kilometer erreichen. Sie sind aufgrund ihrer strategischen Position zum Massentransport direkt hinter dem Gewinnungsgerät von essentieller Bedeutung für den Betrieb. Beim Stillstand einer Bandanlage, steht in der Regel auch das vorgelagerte Gewinnungsgerät und damit möglicherweise die Förderung des gewinnbringenden Wertminerals. Aus diesem Grund wurde am IMR im Rahmen eines F&E-Auftrages der MIBRAG mbH ein auf LWIR-Kameras basierendes System zur Überwachung von Gurtförderern entwickelt. Durch das LWIR-Kamera basierte Überwachungssystem ist eine Verfügbarkeitserhöhung bei gleichzeitiger Verschleißminderung und damit eine Kostenreduktion möglich. [2]

Abbildung 5 zeigt schematisch die Aufgabenstellung. Das vom Gewinnungsgerät hereingewonnene Material wird über einen zwischengeschalteten Beladewagen an der sogenannten „mobilen Bandübergabe“ auf das Förderband übergeben. Hierbei fällt das Material von oben entlang einer Beladeschurre auf den

Fördergurt. Die Transportrichtung des Fördergurtes ist in Abbildung 5 von unten nach oben. Der Beladewagen verfügt über mehrere Freiheitsgrade relativ zum Band und kann folglich nach rechts und links verschoben sowie im Winkel verändert werden. Dies ermöglicht u.a. die Optimierung der Beladeposition. Die Materialaufgabe auf den Gurtförderer sollte möglichst mittig erfolgen, da eine ungleichmäßige Beladung zu einem Ausrichtungsfehler des Gurtes im Gurtförderer führen kann. Ein Ausrichtungsfehler führt zu erhöhtem Verschleiß und bei extremem Bandschieflauf zu Beschädigungen an den Gurtkanten. [5] [2]

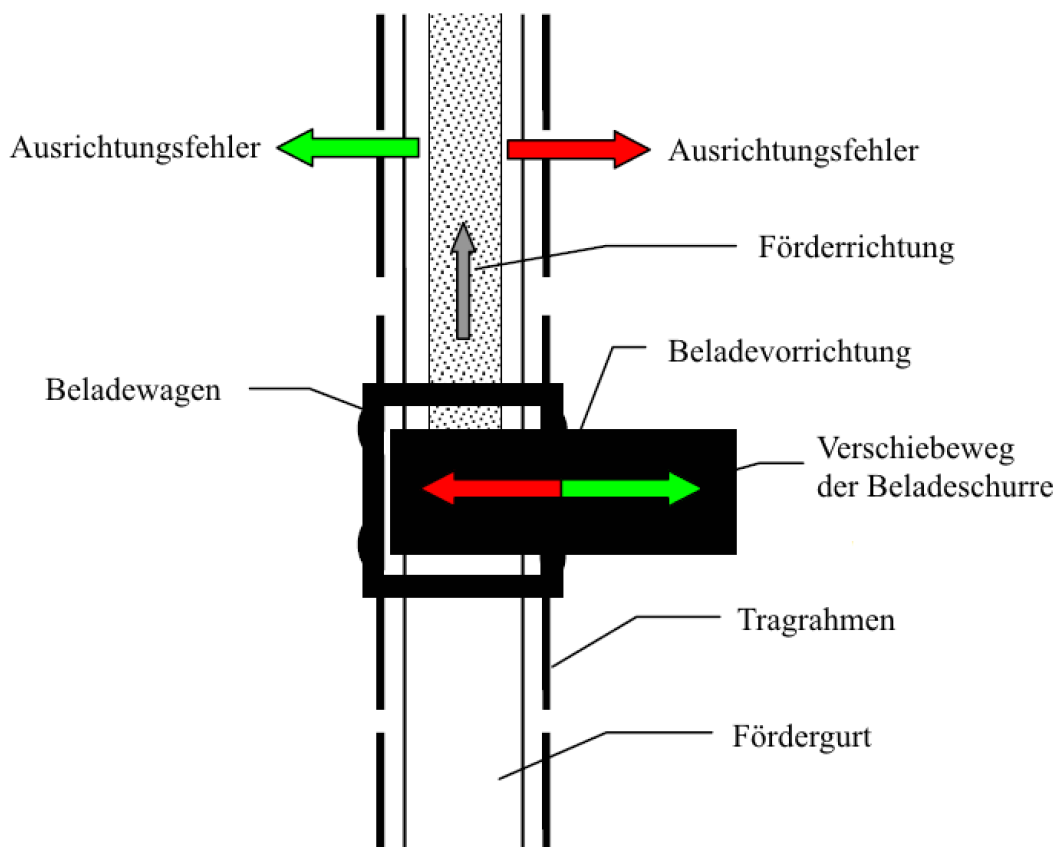


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bandbeladung [5]

Für diese Aufgabenstellung wurden an der mobilen Bandübergabe drei LWIR-Kameras installiert. Eine Kamera nimmt Infrarotbilder von der eigentlichen Materialübergabe im Bereich der Schurre auf (vgl. Abbildung 6). Durch Auswertung des LWIR-Bildes kann auf den Beladungsquerschnitt geschlossen und dadurch die Position der Materialaufgabe bestimmt werden. [5]



Abbildung 6: LWIR-Bild der Materialübergabe [5]

Die beiden anderen LWIR-Kameras wurden vor und hinter der Bandübergabe oberhalb des Bandes mit Blickrichtung auf den einlaufenden sowie auf den auslaufenden Gurt appliziert. Abbildung 7 zeigt exemplarisch eine Aufnahme des auslaufenden Gurtes. Die Aufnahmen dienen zur Bestimmung der Bandposition, also eines möglichen Bandschiefelaufs, sowohl vor als auch hinter der Beladeschurre. [5]



Abbildung 7: LWIR-Bild des beladenen Fördergurtes [5]

Auch die Bandposition kann wiederum über Bildverarbeitungsalgorithmen bestimmt werden. Hierzu wird an beiden Seiten des Fördergurtes über verschiedene Kantenerkennungsalgorithmen die Abweichung zur definierten Sollposition der Gurtkante ermittelt. Durch die Kombination sämtlicher

Informationen kann die Position der Schurre und damit die Materialaufgabe durch den Bediener oder eine Automatisierungseinrichtung optimiert werden. [2]

6 Zusammenfassung

Infrarotthermographie eignet sich für verschiedene Automatisierungslösungen sowohl im Bergbau als auch im Schwermaschinenbau. Aufgrund ihrer wellenlängenbedingten Unempfindlichkeit gegenüber Aerosolpartikeln in der Umgebungsluft, kommen am IMR insbesondere LWIR-Kameras zur Prozessüberwachung und –automatisierung zum Einsatz. Aus den kontrastreichen Rohdaten werden mit Hilfe der Bildverarbeitung die notwendigen Informationen extrahiert. So werden bei der Beladungsautomatisierung und der Bandschiefelaufkennung geometrische Informationen zur Berechnung des Beladungsquerschnitts und des Bandschiefelaufs verarbeitet. Bei der Analyse des Feuchtegehalts basiert die Regelung der Wasserzugabe auf einer Kombination von unterschiedlichen Strahlungsintensitäten und geometrischen Informationen.

Insbesondere die Einbeziehung exakter Temperaturwerte in die Bildverarbeitung ermöglicht für die Stoffstromanalyse und Maschinenüberwachung zukünftig neue Anwendungsfälle. Unter anderem deswegen dürfte sich der Einsatz von Infrarotthermographie basierend auf LWIR-Kameras im Bergbau und in angrenzenden Industrien weiter intensivieren. [2]

7 Literatur

- [1] Berg, J.; Baltes, R.: Einsatzmöglichkeiten von langwelligen Infrarotkameras in rauen Umgebungsbedingungen. Thermographie-Kolloquium 2015.
- [2] Bartnitzki, T.: Forschung für den Bergbau 4.0. Bergbau, Energie und Rohstoffe 2015. S. 234 - 240
- [3] Vollmer, M.; Möllmann, K.: Infrared Thermal Imaging. Fundamentals, Research and Applications. Wiley-VCH, Weinheim, 2013.
- [4] Nienhaus, K.; Pretz, T.; Wotruba, H.: Sensor Technologies: Impulses for the Raw Materials Industry. Shaker, Aachen, 2014.
- [5] Nienhaus, K.; Warcholik, M.; Büschgens, C.; Müller, D.: Belt Positioning and Skewing Revention in Lignite Mining Using Long-

- Wavelength Infrared Cameras. 12th International Symposium on Continuous Surface Mining (ISCSM), Aachen, 2014.
- [6] Fouad, N. A.; Richter, T.: Leitfaden Thermographie im Bauwesen. Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung. Fraunhofer, Stuttgart, 2008.
- [7] Schuster, N.; Kolobrodov, V.G.: Infrarotthermographie. Wiley-VCH, Weinheim, 2004.