



Bildverarbeitung: Einfach Erklärt

Grundlagen und Anwendungen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Mittelstand-
Digital



Disclaimer:

Diese Broschüre wirbt nicht für spezifische Hard- oder Software.

Dargestellte Inhalte werden ausschließlich zur Veranschaulichung der Einsatzmöglichkeiten genutzt.

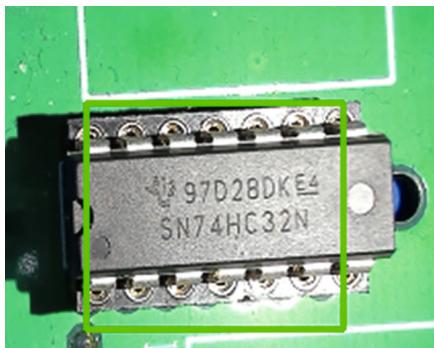


Abb. 1: Ein integrierter Schaltkreis (IC) auf dem nach der Typennummer gesucht.

Wollten Sie nicht schon immer wissen, wie manche Autos die Verkehrsschilder erkennen können oder wie das Smartphone Ihr Gesicht erkennt, um es zu entsperren? Möchten Sie wissen, wie Sie solche oder ähnliche Anwendungen in Ihrem Unternehmen einsetzen können? Die Bildverarbeitung spielt hierbei eine wesentliche Rolle und revolutioniert dadurch zahlreiche Bereiche unseres Lebens – eine Technologie, die Computer befähigt, Bilder zu analysieren und zu interpretieren.

Ziel der Broschüre

Diese Broschüre soll Ihnen ein fundiertes Verständnis der Bildverarbeitung vermitteln, damit Sie die Potenziale dieser Technologie für Ihr Unternehmen nutzen können. Der Fokus liegt auf verschiedenen Aspekten der Bildverarbeitung. Die Broschüre wird hierfür folgende Themen behandeln:

- 1. Grundlagen der Bildverarbeitung:** Hier werden die grundlegenden Konzepte der digitalen Bilddarstellung erläutert.
- 2. Bildbearbeitung:** Dieser Abschnitt befasst sich mit Techniken der Bildbearbeitung, welche zur Verbesserung der Bildqualität, wie z. B. Rauschreduktion, Schärfung oder die Beleuchtung – ein wesentlicher Aspekt für die Bildverarbeitung - eingesetzt wird.
- 3. Die Thermografie:** Mit Hilfe einer speziellen Technik können für das menschliche Auge unsichtbare Strahlungen sichtbar gemacht werden, welche Untersuchungen und Analysen von Objekten ermöglichen.

Durch die Broschüre, wie auch durch unsere Workshops, möchten wir Ihnen ein umfassendes Verständnis für die Thematik der Bildverarbeitung vermitteln und Sie dazu inspirieren, diese faszinierende Welt als wertvolles Werkzeug für Ihr Unternehmen zu nutzen. Dazu bieten wir eine Vielzahl an unterschiedlichen, wechselnden Workshops an. Für Sie ist nicht das Richtige dabei oder Sie interessieren sich für eine spezielle Thematik? Sprechen Sie uns gerne an!

Grundlagen der Bildverarbeitung

Wie Computer Bilder sehen

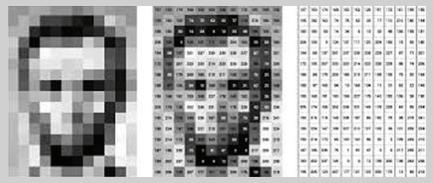


Abb. 2a: Ein Bild besteht für den Computer aus Pixeln, welche einen Farbwert repräsentieren.

Abb. 2b: Ein Bild ist im Grunde genommen eine Tabelle mit Zahlen.

Menschen können Bilder mit all ihren Farben, Formen und Details wahrnehmen. Unterschiedlichste Prozesse im menschlichen Körper sind für diesen Vorgang zuständig [2]. Ein Computer kann ebenfalls Farben, Formen und Merkmale erkennen. Aber wie genau funktioniert das?

Computer „sehen“ Bilder auf eine besondere Weise: Farbe, Formen und Merkmale generieren sich aus Zahlen und Algorithmen, die auf umfangreichen Datensätzen basieren. Diese Datensätze, oft in Form von Tabellen, enthalten Informationen, wobei jede Zahl beispielsweise die Farbe oder Helligkeit eines Pixels beschreibt. Jedes Pixel, das kleinste Element eines Bildes, lässt sich mit einer Zelle in dieser Tabelle vergleichen. Der Computer nutzt diese Zahlen, um das Bild zu „berechnen“ (vgl. Abb. 2a und Abb. 2b).

Computer können Farben, Formen oder bestimmte Eigenschaften nicht von selbst erkennen. Sie müssen das erst durch spezielle Algorithmen lernen. Diese Algorithmen untersuchen die Zahlen in der Tabelle der Bildpunkte, sogenannte Pixel und erkennen dabei in einem sehr komplexen Prozess Muster und Strukturen.

Wie werden vom Computer Formen und Merkmale erkannt?

Computer erkennen Formen durch die Analyse der Konturen und Kanten in einem Bild. Diese Konturen und Kanten werden durch die Veränderung der Pixelwerte in der Tabelle dargestellt. So können beispielsweise gerade Linien durch eine gleichmäßige Veränderung der Pixelwerte in einer bestimmten Richtung erkannt werden. Durch die Analyse von Texturen, Mustern oder Objekten können Computer bestimmte Merkmale erkennen. Diese Merkmale werden durch die Kombination von Farben, Formen und anderen Eigenschaften in einem Bild bestimmt. So kann beispielsweise ein Computer lernen, einen Hund von einer Katze zu unterscheiden, indem er die typischen Merkmale wie Fell, Ohren oder Schwanz analysiert.

Bildverarbeitung vs. Bildbearbeitung

Bilder prägen unseren Alltag. Sie transportieren Emotionen, dokumentieren Momente und informieren uns. Doch hinter der scheinbar einfachen Darstellung verbirgt sich eine komplexe Welt der Pixel. Zwei wichtige Disziplinen, die sich mit der Manipulation und Analyse von Bildern befassen, sind die Bildbearbeitung und die Bildverarbeitung.

Bildbearbeitung: Die Kunst der Pixelmanipulation

Bildbearbeitung ist die Kunst, Pixel abzuändern und Bilder neu zu erfinden. Mit Software-Werkzeugen wie Zauberstäben und Pinseln kann man Farben zum Strahlen bringen, Helligkeit und Kontrast fein justieren und störende Elemente verschwinden lassen. Hautunreinheiten werden zur Vergangenheit, und ganze Bildbereiche lassen sich neu gestalten – die Möglichkeiten sind grenzenlos!

Typische Software-Lösungen, die uns dabei helfen, sind zum Beispiel Adobe Photoshop, GIMP, Krita, Lightroom, Paint.NET und PhotoScape. Jede Software hat ihre eigenen Stärken und Schwächen:



Adobe Photoshop: Ein mächtiges Werkzeug mit unzähligen Funktionen, das sich besonders für professionelle Anwendungen eignet.



GIMP: Die kostenlose und Open-Source-Alternative zu Photoshop, die viele leistungsstarke Funktionen bietet.



Krita: Besonders beliebt bei digitalen Künstlern, bietet es eine Vielzahl von Mal- und Zeichenwerkzeugen.



Lightroom: Eine leistungsstarke Software von Adobe. Sie bietet eine Vielzahl an KI-gestützten Werkzeugen, Filtern und Voreinstellungen.



Paint.NET: Die kostenlose Windows-Anwendung, die einfach zu bedienen ist und grundlegende Bildbearbeitungsfunktionen bietet.



PhotoScape: Eine vielseitige Software, die eine Vielzahl von Bearbeitungswerkzeugen und Effekten bietet.

Bildverarbeitung: Die Wissenschaft der Bildanalyse

Im Gegensatz zur Bildbearbeitung, die sich auf die Veränderung von Bildern konzentriert, geht es bei der Bildverarbeitung darum, Informationen aus Bildern zu gewinnen. Dabei werden die einzelnen Pixel oder Pixelgruppen analysiert, um Muster, Formen und Farben zu erkennen.

Was ist Bildverarbeitung?

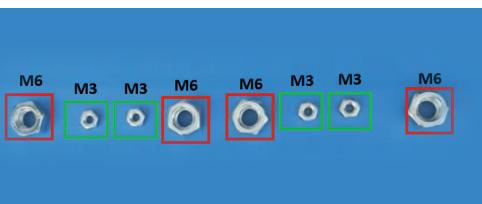


Abb. 3: Gefundene Muster durch die Bildverarbeitung. Hier werden Muster entsprechend ihrer Größe markiert.

Vereinfacht gesagt, ist Bildverarbeitung die Fähigkeit von Computern, Bilder zu „verstehen“. Dabei werden Bilder in digitale Daten umgewandelt, die dann von Algorithmen verarbeitet werden. Diese Algorithmen suchen nach Mustern, Formen, Farben und anderen Merkmalen, um Informationen aus den Bildern zu extrahieren.

Wie funktioniert Bildverarbeitung?

Die Bildverarbeitung durchläuft im Wesentlichen folgende Schritte:

1. **Bildaufnahme:**

Das Bild wird mit einer Kamera oder einem Scanner aufgenommen. Die Bildaufnahme ist essenziell. Je besser die Bildaufnahme gemacht wurde, desto besser können die unterschiedlichen Algorithmen nach Mustern, Formen, Farben und anderen Merkmalen suchen. Dabei spielt die Beleuchtung eine kritische Rolle. Hierbei muss man u. a. darauf achten, dass die Objekte gut zu erkennen und nicht überbelichtet oder sogar mit Reflexionen verdeckt sind.

2. **Vorverarbeitung:**

Das Bild wird bereinigt und optimiert, um die Analyse zu erleichtern.

Hierbei werden unterschiedliche Algorithmen verwendet. Die aufgenommenen Bilder werden mittels Bildbearbeitung für die weitere Verarbeitung vorbereitet. Dabei erstreckt sich das Spektrum von einer einfachen Filterung über Farbsättigungsanpassung bis hin zur Übersetzung in ein Schwarz-Weiß- oder Graustufenbild.

3. Segmentierung:

Das Bild wird in verschiedene Regionen aufgeteilt, um einzelne Objekte oder Bereiche zu identifizieren.

Innerhalb dieses Schrittes werden im Normalfall eine oder mehrere Stellen auf dem Bild definiert bzw. markiert, die von besonderem Interesse sind, worauf der Algorithmus sozusagen „schauen“ soll. Somit können störende Elemente auf ein Minimum verkleinert werden, sodass der Algorithmus noch effektiver arbeiten kann. Diese Interessensregion nennt man „Region of Interest“ oder kurz ROI.

4. Merkmalsextraktion:

Wichtige Merkmale wie Form, Farbe, Textur und Position werden aus den Regionen extrahiert.

Mittels einer Vielzahl an möglichen Algorithmen kann man nun innerhalb der ROI die Daten extrahieren, die man benötigt. Sei es die Form, Farbe oder andere Merkmale des Objektes, welche für eine offene Aufgabe benötigt werden. Auch die Möglichkeit der Schrifterkennung, der sogenannten „Optical Character Recognition (OCR)“, als auch der Schriftprüfung, der sogenannten „Optical Character Verificaion (OCV)“, kann in diesem Schritt durchgeführt werden.

Hier würde die Bildverarbeitung praktisch enden. Man könnte nun noch einen Schritt zusätzlich einfügen, damit die gewonnenen Daten mit Hilfe von gespeicherten Daten verglichen werden können, um das Objekt oder die Szene zu identifizieren – auch als Klassifikation bekannt. Dies ist jedoch Hauptaufgabe der Künstlichen Intelligenz und der Deep-Learning-Anwendungen, welche hier nicht weiter thematisiert werden.

Bildbearbeitung

In diesem Abschnitt geht es um die Bildverbesserung, einem wichtigen Aspekt innerhalb der Bildverarbeitung. Ein (fast) perfektes Foto bzw. eine Aufnahme ist essenziell für den weiteren Verlauf der Bildverarbeitung. Aber wie bekommt man gute Bilder? Was muss man beachten? Dies und noch viel mehr erwartet Sie in diesem Abschnitt.

Das kritische Element der Bildverarbeitung: Licht

Bilder sind die Grundlage für viele Anwendungen der künstlichen Intelligenz, insbesondere in der Bildverarbeitung. Doch bevor ein Algorithmus Objekte, Muster oder andere Merkmale erkennen kann, muss das Bild selbst (fast) perfekt sein. Und hier spielt das Licht eine entscheidende Rolle.

Deshalb müssen beim Digitalisieren von Bildern verschiedene physikalische Effekte beachtet werden. Polarisation, Intensität und die Wahl der Farbe des Lichts beeinflussen die Qualität des Bildes maßgeblich. Störende Elemente wie Interferenz, Überbelichtung, Schattenbildung und Reflexionen müssen vermieden oder zumindest minimiert werden.

Je besser das Bild, desto präziser kann der Algorithmus arbeiten.
Schattenbildung, Reflexionen sollten vermieden und eventuell sogar farbiges Licht verwendet werden.

Schattenbildung vermeiden

In der Bildverarbeitung ist gutes Licht essenziell. Denn nur wenn ein Objekt optimal ausgeleuchtet ist, können Algorithmen Merkmale wie Farbe, Kanten und sogar Schriften zuverlässig erkennen.

Schattenbildung kann bei der Bildverarbeitung zu erheblichen Problemen führen: Algorithmen können die Konturen des Objekts falsch interpretieren, Objekte an Stellen „sehen“, wo keine sind, oder wichtige Details übersehen.

Besonders bei robotergestützten Systemen, die auf präzise Bilderkennung angewiesen sind, können Schatten zu schwerwiegenden Fehlfunktionen führen. Ein Roboter könnte beispielsweise ein Objekt falsch greifen oder eine Aufgabe nicht korrekt ausführen. Um Schattenbildung zu vermeiden, ist es entscheidend, das Objekt ins richtige Licht zu rücken. Hierbei stehen verschiedene Methoden zur Verfügung:

Auflicht

Dies ist eine Technik, bei der das Licht von oben auf das Objekt gerichtet wird. Dadurch kommt eine gleichmäßige Ausleuchtung des Objekts zustande und die Schattenbildung wird minimiert. Ferner werden dadurch die Oberflächenstrukturen klar und deutlich sichtbar. Insbesondere für flache Objekte ist das Auflicht geeignet, da es die Tiefenwirkung verstärkt und Details hervorhebt (siehe Abb. 4a) [3].

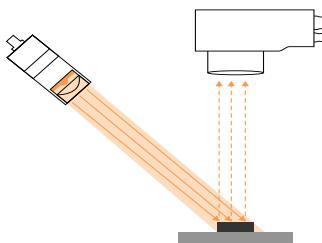


Abb. 4a: Genereller Aufbau eines Auflichtes [1]



Abb. 4b: Resultat des Auflichtes am Beispiel eines Tablettensplitters. [1]

Domlicht

Dies ist eine kuppelförmige Beleuchtung, bei der die Leuchtmittel ringförmig angeordnet sind und in eine Kuppel hineinstrahlen. Die Reflexionen werden durch die Geometrie von oben auf das Objekt gerichtet. Diese Art der Beleuchtung wird verwendet, um unebene Strukturen auszuleuchten sowie Höhenunterschiede verschwinden zu lassen. Dies vermindert Reflexionen und Schatten werden vermieden (siehe Abb. 5b im Vergleich zur Abb. 4b) [3].

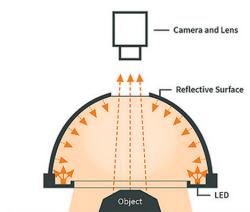


Abb. 5a: Genereller Aufbau eines Domlichtes. [1]

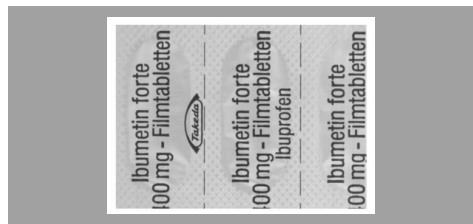


Abb. 5b: Resultat des Domlichtes am Beispiel eines Tablettensplitters. [1]

Reflexionen vermeiden!

In der Welt der Bildverarbeitung ist es essenziell, dass Objekte klar und deutlich abgebildet werden. Doch ein häufiges Problem sind störende Reflexionen, die die Analyse und Erkennung von Merkmalen erschweren.

Objekte reflektieren Licht in unterschiedlichem Maße. Diese Reflexionen können die Bildqualität beeinträchtigen und wichtige Informationen verschleiern. Um dieses Problem zu lösen, gibt es verschiedene Techniken:



Abb. 6: Mit Nutzung eines Polarisierungsfilters (rechte Seite) können Reflexionen minimiert oder komplett unterbunden werden

Polarisationsfilter

Diese Filter blockieren bestimmte Lichtwellen und reduzieren so unerwünschte Reflexionen (siehe Abb. 6) [1].

Winkeländerung der Lichtquelle

Durch die Veränderung des Einfallwinkels des Lichtes auf das Objekt können störende Reflexionen minimiert werden [1].



Abb. 7a: Deutliche Reflexion des Lichts unter einem falschem Winkel



Abb. 7b: Nach Winkelkorrektur: bessere Sicht auf die FIN ohne größere Reflexionen

In Abbildung 7a erkennt man erhebliche Reflexionen, wohingegen nach einer Winkelkorrektur in Abbildung 7b die FIN (Fahrzeugidentifikationsnummer) wesentlich besser zu sehen ist. Diese Bilder entstanden im Zuge eines Digitalisierungsprojektes des Mittelstand-Digital Zentrum Spreeland.

Farbiges Licht als Hilfsmittel

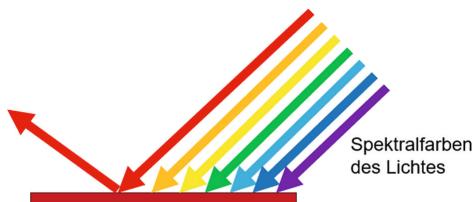


Abb. 8: Ein Körper erscheint rot, sofern er alle Farben des Lichtspektrums bis auf rot absorbiert.

Dieser Effekt basiert auf einem physikalischen Prinzip: Wir sehen ein Objekt nur in der Farbe, die es nicht absorbiert. Alle anderen Farben des Lichtspektrums werden vom Objekt geschluckt. Die Wahl der Beleuchtung – insbesondere die Lichtfarbe – beeinflusst, wie gut ein Bild verarbeitet werden kann. Farben und Kontraste, die unter bestimmten Lichtverhältnissen besser hervorstechen, ermöglichen eine genauere Erkennung von Merkmalen, die in der Bildverarbeitung wichtig sind.

QR-Codes

QR-Codes bestehen aus kontrastierenden schwarzen und weißen Mustern. Die Beleuchtung mit rotem Licht kann die Kontraste verringern, wodurch der QR-Code schwerer zu erkennen ist. Blaues Licht hingegen hat eine höhere Energie und kann die Kontraste stärker hervorheben, wodurch der QR-Code besser sichtbar wird.

Neben der Optimierung der Beleuchtung können Farben gezielt eingesetzt werden, um bestimmte Merkmale in einem Bild hervorzuheben. Die Wahl der Lichtfarbe beeinflusst die Wahrnehmbarkeit von Objekten und Informationen – ein Prinzip, das in der Bildverarbeitung genutzt wird.

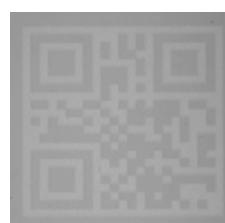


Abb. 9a: QR-Code unter rotem Licht



Abb. 9b: QR-Code unter blauem Licht

Infrarotlicht

Infrarotlicht ist für das menschliche Auge unsichtbar, wird aber von speziellen Kameras erfasst. Dies kann genutzt werden, um Informationen wie das Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD) auf Verpackungen sichtbar zu machen – insbesondere wenn sie mit bestimmten Farbstoffen oder Tinten gedruckt sind, die im Infrarotbereich reflektieren oder durchlässig sind.



Abb. 10a: Deckel eines Joghurtbechers in Grautönen mit weißem Licht



Abb. 10b: Deckel eines Joghurtbechers mit IR-Licht bestrahlt. Das Mindesthaltbarkeitsdatum ist nun gut zu lesen.

Zeichenerkennung mit dem Computer



Abb. 11a: Mikrochip eines Echtzeitsystems



Abb. 11b: Segmentiertes Bild zur Erkennung der Mikrochip-Kennung

Optische Zeichenerkennung (OCR) ist eine Schlüsseltechnologie in der Bildverarbeitung, die es Computern ermöglicht, Text aus Bildern zu extrahieren – egal ob es sich um etwas Gedrucktes oder Handgeschriebenes handelt. So wie wir Menschen einen Text auf einem Blatt Papier lesen können, kann OCR digitale Bilder analysieren und den darin enthaltenen Text in eine bearbeitbare und maschinenlesbare Form umwandeln.

Diese Technologie analysiert die Formen der Buchstaben und Zeichen in einem Bild und wandelt diese in Text um, sodass z. B. gescannte Inhalte durchsucht, bearbeitet und gespeichert werden können.

Diese Technologie findet vielfältige Anwendung – von der Digitalisierung alter Dokumente bis hin zur automatischen Texterkennung von Kennzeichen oder Mikrochip-Kennungen. OCR spielt eine wichtige Rolle bei der Erschließung von Informationen aus der analogen Welt und macht sie für digitale Prozesse zugänglich.

Thermografie

Macht sichtbar, was Mensch nicht sehen kann

Thermografie ist eine faszinierende Technik, die die unsichtbare Welt der Wärmestrahlung sichtbar macht. Mit speziellen Kameras wird die sogenannte Infrarotstrahlung, die jeder Körper abgibt, gemessen und in ein sichtbares Bild umgewandelt. Dieses Bild zeigt die Temperaturverteilung auf der Oberfläche des Objekts und enthüllt so Details, die mit dem bloßen Auge nicht erkennbar sind. So können wir die Wärmeverteilung von Objekten und Lebewesen präzise analysieren und wertvolle Informationen gewinnen.

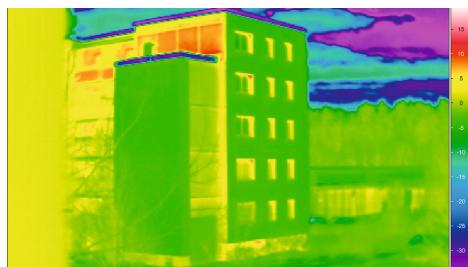


Abb. 12a: Untersuchung der Dämmung eines Miethauses

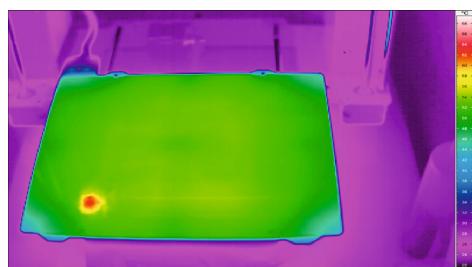


Abb. 12b: Heizbett eines 3D-Druckers, beachten Sie unten links den roten Punkt. Dies ist die Reflexion der 215°C heißen Düse.

Wie funktioniert Thermografie?

Thermografie-Kameras wandeln die Infrarotstrahlung, die von jedem Objekt abgestrahlt wird, in elektrische Signale um. Hierbei wird der elektrische Widerstand einer Metallplatte gemessen, welches ein Maß für die einfallende Wärmestrahlung ist. Somit kann die Infrarotstrahlung in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Diese Signale werden dann in ein Falschfarbenbild umgewandelt, wobei oft warme Bereiche hell und kalte Bereiche dunkel dargestellt werden.

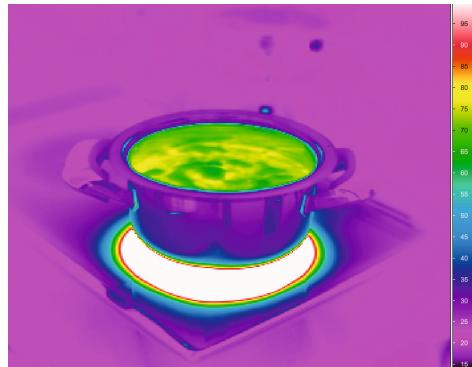


Abb. 13: Oberflächentemperaturen eines Topfes auf einem Ceranfeld

Die Thermografie-Kamera liefert in der Regel Bilder mit einer Graustufenauflösung, die dem jeweiligen Temperaturwert entsprechen. Die Auflösung und Genauigkeit der Bilder hängen von verschiedenen Faktoren ab, wie der Art des Sensors, dem Objektiv und der Umgebungstemperatur.

Es gibt zwei Arten von Thermografie-Systemen: passive und aktive. Passive Systeme messen die von Objekten abgestrahlte Wärme, während aktive Systeme eine zusätzliche Wärmequelle verwenden, um die Temperatur zu beeinflussen.



Abb. 14a: Verklebte Laminatfliesen

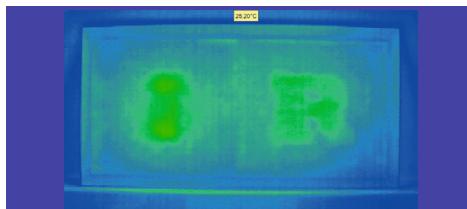


Abb. 14b: Aufnahme mit einer IR-Kamera nach aktiver Wärmebehandlung der Laminatfliesen. Unregelmäßigkeiten in der Klebung können hierdurch identifiziert werden.

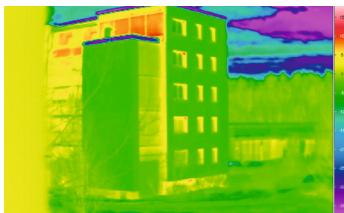


Abb. 15: Mittels Thermografie können Isolationsmängel und Undichtigkeiten erkannt werden.

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten

Gebäudethermografie:

Wärmeverluste an Fassaden, Fenstern und Dächern lassen sich mit Thermografie präzise lokalisieren. So können Energieeinsparungen und eine effizientere Heizungsoptimierung erzielt werden.

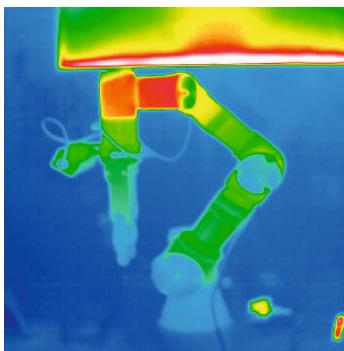


Abb. 16: Frühzeitige Erkennung von Überhitzung von Maschinen um Ausfälle zu vermeiden.

Landwirtschaft:

Pflanzenkrankheiten und Stresszustände lassen sich mit Thermografie frühzeitig diagnostizieren. So können Landwirte gezielt Maßnahmen ergreifen, um den Erntertrag zu sichern.

Industrie:

In der Produktion werden Thermografie-Kameras eingesetzt, um Überhitzungen in Maschinen und elektrischen Anlagen frühzeitig zu erkennen und so kostspielige Ausfälle zu vermeiden.

Zukunftsperspektive

Die Thermografie ist eine vielversprechende Technik mit einem breiten Anwendungsspektrum. Sie ermöglicht es uns, die Welt mit neuen Augen zu sehen und so innovative Lösungen für verschiedene Herausforderungen zu entwickeln. So kann die Thermografie helfen, Energie zu sparen, Schäden zu vermeiden und die Sicherheit zu erhöhen. Die unsichtbare Welt der Wärmestrahlung wird mit dieser Technik zu einem wertvollen Werkzeug für Forschung, Industrie und unser tägliches Leben.

Sie möchten Ihre Kenntnisse zum Thema Thermografie vertiefen? Dann bietet Ihnen der Workshop „Das Unsichtbare sichtbar machen: Thermografie – Grundlagen und Anwendungen“ vom Mittelstand-Digital Zentrum Spreeland eine ideale Gelegenheit dazu.

Dieser Workshop vermittelt Ihnen die Grundlagen der Thermografie und zeigt Ihnen ebenso Anwendungsmöglichkeiten, um z. B. die Qualitätskontrolle als auch die Prozessoptimierung innerhalb Ihrer Fertigungsstrecke zu optimieren.

Literatur

[1] Lumimax Wissensreihe. (9), 2022. URL <https://www.iimag.de/lumimax/wissen.html>

[2] Angelika Erhardt. Einführung in die Digitale Bildverarbeitung - Grundlagen, Systeme und Anwendungen. Vieweg + Teubner, 2008. ISBN 978-3-519-00478-3

[3] Christian Demant; Bernd Streicher-Abel; Axel Springhoff. Industrielle Bildverarbeitung - Wie optische Qualitätskontrolle wirklich funktioniert. Springer, 3rd edition, 2011. ISBN 978-3-642-13096-0

Impressum

Herausgeber:

Mittelstand-Digital Zentrum Spreeland
c/o Technische Hochschule Wildau
FG: iC3@Smart Production
Hochschulring 1, 15745 Wildau
roadshow@digitalzentrum-spreeland.de
Telefon: +49 3375 508 782

Vertreten durch: Die Technische Hochschule Wildau ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts und eine staatliche Einrichtung des Landes Brandenburg. Sie wird nach außen durch die Präsidentin, Prof. Dr. Ulrike Tippe, vertreten.

Zuständige Aufsichtsbehörde: Die Hochschule untersteht der Rechtsaufsicht des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg.

Autor:

Frank Quadt, M.Sc.

Satz/Layout:

hyperworx Medienproduktionen
Görlitzer Str. 18
03046 Cottbus

Bildnachweis:

S. 1: Integrierter Schaltkreis (Foto: Autor)
S. 2: Foto: Autor
S. 3: Icons der Software (Quelle: Wikipedia)
Abb. 3: Autor
Abb. 4a–5b: Entnommen aus Lumimax White Paper
Abb. 6: Entnommen aus Lumimax White Paper
Abb. 7a,b: Quelle: MDZ-Projekt
Abb. 8: Autor
Abb. 9a,b – 10a,b: Quelle: Lumimax
Abb. 11a,b – 16: Autor

Notizen

Kontakt

Mittelstand-Digital Zentrum Spreeland
c/o Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
Siemens-Halske-Ring 14
03046 Cottbus

Tel.: +49 355 69-5171
info@digitalzentrum-spreeland.de
www.digitalzentrum-spreeland.de

Folgen Sie uns

