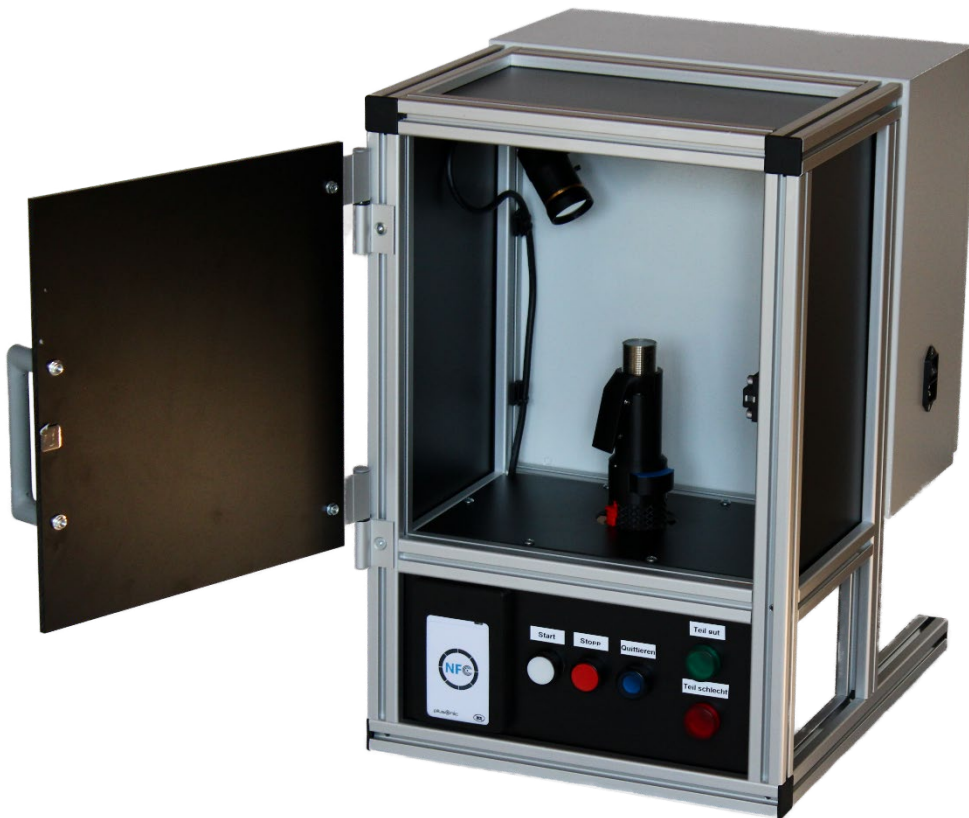


KI-GESTÜTZTE KLEBPROZESSÜBERWACHUNG MIT BILDSENSORIK

ZUSAMMENFASSUNG



Betreuende Lehrkräfte: Tobias Kirchner, Olaf von Maydell

Verfasser: Nicolas Diebel, Jannik Moser

Klasse: WFSEM24

Hildesheim, 13.04.2026

1 Einleitung

Im Rahmen des Technikerprojekts wurde ein Prüfstand zur automatisierten Qualitätsbewertung eines Klebprozesses entwickelt. Das Projekt entstand in Zusammenarbeit mit der T&B electronic GmbH in Alfeld (Leine). T&B ist ein Hersteller industrieller Brandschutzsysteme, der unter anderem Funkenlöschanlagen und Systeme zur Brandfrüherkennung entwickelt und fertigt. Das Unternehmen wurde 1984 gegründet und beschäftigt rund 60 Mitarbeiter.

In der aktuellen Fertigung wird eine Glasscheibe in eine Metallhülse eingeklebt. Die Qualität dieser Verklebung wurde bislang ausschließlich nachgelagert überprüft, wobei die Beurteilung visuell und indirekt im Rahmen einer Dichtigkeitsprüfung erfolgte. Da mögliche Fehler im Klebprozess erst nach dem Aushärten des Klebers erkannt werden konnten, war eine direkte Nacharbeit nicht möglich. Fehlerhafte Bauteile führten somit zu Ausschuss und verursachten zusätzliche Kosten sowie einen erhöhten Material- und Zeitaufwand. Eine frühzeitige, objektive und reproduzierbare Bewertung der Verklebung unmittelbar nach dem Prozess fand bislang nicht statt.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Prüfstands, der die Verklebung unmittelbar nach dem Klebevorgang automatisiert erfasst und durch ein KI-Modell bewertet. Durch die frühzeitige Erkennung fehlerhafter Verklebungen soll eine Nacharbeit ermöglicht und die Anzahl von Ausschussteilen deutlich reduziert werden. Mithilfe einer automatisierten Bildaufnahme und Speicherung werden Prozessdaten systematisch erfasst und mit einem Zeitstempel sowie der prüfenden Person verknüpft. Damit kann eine lückenlose Nachverfolgbarkeit und Dokumentation der Prüfvorgänge gewährleistet werden. Das System ist dabei als unterstützendes Qualitätswerkzeug zur Ergänzung bestehender Prüfverfahren konzipiert.

2 Technisches Konzept des Prüfstands

Um dieses Ziel zu erreichen, musste ein System entwickelt werden, das mehrere technische Aufgaben miteinander verbindet. Der Prüfstand musste den Prüfling reproduzierbar aufnehmen, Bilder unter gleichbleibenden Bedingungen erfassen, diese Bilder automatisiert auswerten und das Ergebnis verständlich an den Bediener zurückgeben.

In Abbildung 1 ist das Bedienfeld und der Prüfraum des Geräts dargestellt. Das Grundkonzept besteht darin, die Hülse in definierter Lage zu positionieren und während des Prüfvorgangs kontrolliert zu drehen. Dadurch kann die Klebestelle nicht nur von einer einzelnen Seite, sondern über ihren Umfang hinweg betrachtet werden. Dies ist wichtig, weil eine fehlerhafte Verklebung lokal begrenzt auftreten kann und mit nur einer Aufnahme möglicherweise nicht sicher erfasst würde.

Ebenso wichtig war eine kontrollierte Aufnahmesituation. Für eine zuverlässige Bildauswertung müssen die Bedingungen möglichst konstant sein. Deshalb wurde der Prüfraum so



Abbildung 1: Bedienfeld und Prüfraum

gestaltet, dass äußere Einflüsse wie wechselndes Umgebungslicht möglichst gering bleiben. Nur unter wiederholbaren Bedingungen lassen sich Bilder sinnvoll vergleichen und per KI auswerten.

Als Recheneinheit wurde ein Jetson Orin Nano gewählt, der Bildaufnahme, Auswertung und Steuerung direkt am Prüfstand übernehmen kann. Dadurch konnte ein kompakter Aufbau realisiert werden, der grundsätzlich unabhängig von externer Rechentechnik arbeitet.

Neben der eigentlichen Prüfung wurde auch die Bedienbarkeit berücksichtigt. Im Bedienpult befinden sich der RFID-Reader zur Identifikation des Bedieners, Taster für Start, Stopp und Quittieren sowie Meldeleuchten zur optischen Rückmeldung des Systemzustands (Start, Quittieren, Teil gut, Teil schlecht).

3 Umsetzung des Systems

Die besondere Herausforderung des Projekts lag darin, die verschiedenen Teilbereiche zu einem funktionierenden Gesamtsystem zu verbinden. Das Projekt umfasste mechanische Konstruktion, elektrische Anbindung, Softwareentwicklung, Datenverarbeitung und KI-Integration. Die zentrale Leistung des Projekts bestand darin, Mechanik, Elektrik, Bildverarbeitung, Software und KI zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem zu integrieren.

Die Mechanik des Prüfstands wurde so ausgelegt, dass der Prüfling sicher aufgenommen und reproduzierbar bewegt werden kann. Die elektrische Umsetzung musste Motor, Kamera, Bedien- und Anzeigeelemente in ein gemeinsames System integrieren. Daher wurde dieses mit einer einheitlichen Versorgungsspannung von 12 V DC aufgebaut, um den Verdrahtungsaufwand zu reduzieren und auf ein zusätzliches Netzteil zu verzichten. Die Ein- und Ausgänge werden über ein Modbus-I/O-Modul angebunden, während der Schrittmotor über einen Motortreiber betrieben wird.

Die Software wurde in Python umgesetzt und als zustandsbasierter Ablauf in Form einer State Machine aufgebaut. Dadurch lassen sich Betriebszustände, Übergänge und Fehlerfälle eindeutig abbilden.

Bei der Strukturierung des Programms wurde auf einen Multithreading-Ansatz gesetzt. Der Grund dafür liegt darin, dass im Prüfstand mehrere Aufgaben parallel beziehungsweise überlappend anfallen. Bildaufnahme, Auswertung, Bedienung und Datenspeicherung sollen sich möglichst wenig gegenseitig blockieren. Durch die Aufteilung auf mehrere Abläufe konnte das System reaktionsfähig gehalten werden.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Systems ist die strukturierte Datenspeicherung. Dafür werden die Prüfvorgänge in einer SQLite-Datenbank dokumentiert. Gespeichert werden dabei unter anderem Prüfergebnisse, aufgenommene Bilder sowie die Zuordnung zu Bedienperson und Prüfvorgang. Dadurch wird eine durchgängige Rückverfolgbarkeit geschaffen. Gleichzeitig bilden die gespeicherten Daten eine wichtige Grundlage, um Ergebnisse nachzuvollziehen und das System später weiter zu verbessern.

4 Bildauswertung und KI-Modell

Die Bildauswertung wurde so aufgebaut, dass aus den aufgenommenen Kamerabildern eine möglichst einheitliche und zuverlässig bewertbare Grundlage für das KI-Modell entsteht. Abbildung 2 zeigt zunächst ein vom Prüfstand aufgenommenes Bild des Prüflings.

Da für die Bewertung nicht das gesamte Bild relevant ist, wird der Bereich der Verklebung im nächsten Schritt automatisch eingegrenzt. Die dabei genutzte Kantenerkennung ist in Abbildung 3 dargestellt. Auf dieser Grundlage wird der relevante Bildausschnitt eingegrenzt und die Klebestelle gezielt vom restlichen Bildinhalt getrennt.

Der relevante Bereich wird anschließend so aufbereitet, dass die Verklebung in einer einheitlichen Form dargestellt werden kann. Dazu wird nur der für die Bewertung relevante Bereich der Klebestelle aus dem Bild herausgelöst und der ursprünglich runde Verlauf der Verklebung in eine rechteckige Darstellung überführt. Auf diese Weise ist nur noch die Verklebung selbst sichtbar, während Hintergrund und andere irrelevante Bildanteile ausgeblendet werden. Abbildung 4 zeigt diesen Verarbeitungsschritt mit dem ermittelten Bildausschnitt, der Maske und der aufbereiteten Darstellung der Verklebung. Zusätzlich wird erkannt, ob ein Prüfling korrekt eingelegt wurde und um welchen Hülsentyp es sich handelt, damit jeweils die passende Auswertung erfolgen kann. Für die eigentliche Bewertung wurde ein Anomalieerkennungsverfahren gewählt. Dieses vergleicht neue Aufnahmen mit den Merkmalen fehlerfreier Verklebungen und erkennt Abweichungen, die auf einen Fehler hindeuten. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass für das Training keine vollständige Abdeckung aller möglichen Fehlerbilder erforderlich ist. Stattdessen wird das Modell auf Basis fehlerfreier Beispiele aufgebaut und kann dadurch auch Abweichungen erkennen, die in den Trainingsdaten noch nicht enthalten waren. Gleichzeitig benötigt das Verfahren bei der Auswertung vergleichsweise wenig Rechenleistung. Damit wurde ein Verfahren gewählt, das den praktischen Anforderungen des Projekts in Bezug auf Robustheit, Nachvollziehbarkeit und Ressourcenbedarf gerecht wird.

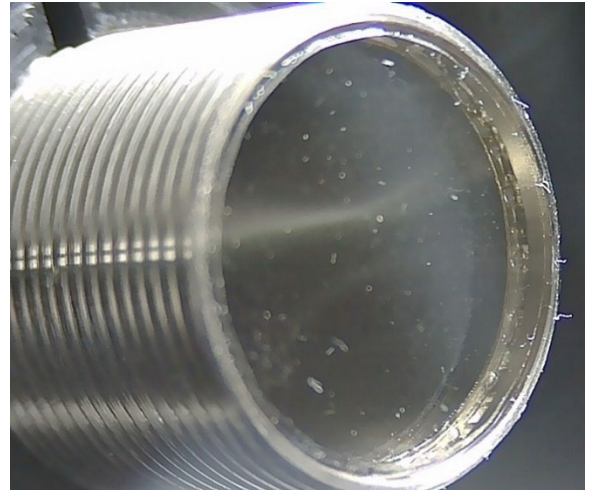


Abbildung 2: Originalbild

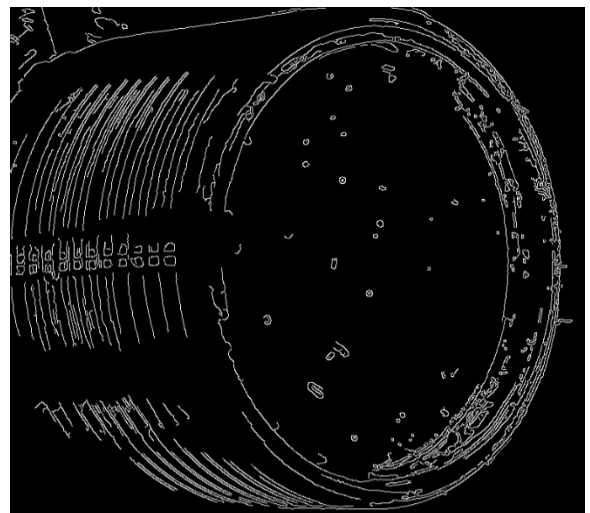


Abbildung 3: Region of Interest

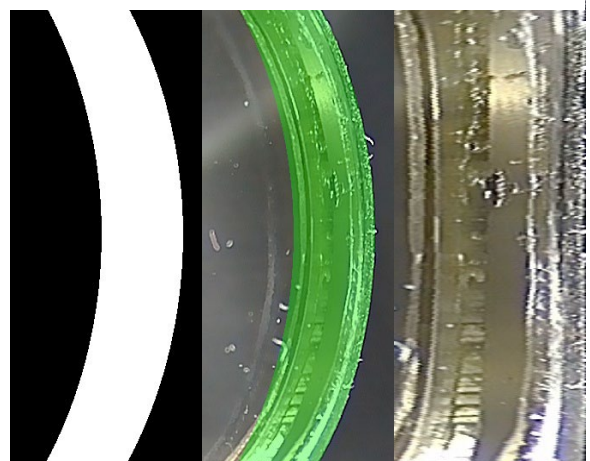


Abbildung 2: Maske und normalisierte Verklebung

5 Herausforderungen und Lernfortschritt

Das Projekt war in besonderem Maß interdisziplinär. Es vereinte mechanische Konstruktion, elektrische Systemintegration, Softwareentwicklung, Datenverarbeitung und künstliche Intelligenz in einem gemeinsamen Anwendungskontext. Gerade diese Kombination machte das Projekt anspruchsvoll und lehrreich.

Eine wesentliche Herausforderung bestand darin, dass viele Teilaufgaben voneinander abhingen. Die KI-Entwicklung setzte geeignete Bilddaten voraus. Diese konnten jedoch erst entstehen, wenn der Prüfstand selbst bereits weit genug entwickelt war. Gleichzeitig mussten mechanische, elektrische und softwareseitige Entscheidungen so getroffen werden, dass sie auch für die spätere Bildauswertung sinnvoll sind.

Für das Projektteam ergab sich daraus ein erheblicher Lernfortschritt. Neben fachlichen Kenntnissen in den einzelnen technischen Bereichen war vor allem das Verständnis für das Zusammenspiel der Disziplinen ein wesentlicher Gewinn. Das Projekt zeigte deutlich, dass die Entwicklung eines KI-gestützten technischen Systems nicht nur aus einem trainierten Modell besteht, sondern aus vielen aufeinander abgestimmten Entscheidungen im Gesamtsystem.

6 Fazit und Ausblick

Mit dem Projekt wurde ein Prüfstand entwickelt, der die Qualität einer Verklebung direkt nach dem Klebeprozess mithilfe von Bildsensorik und künstlicher Intelligenz bewerten kann. Damit greift das System einen konkreten Schwachpunkt der bisherigen Fertigung auf. Bislang konnten fehlerhafte Teile erst in einem späteren Prüfschritt erkannt werden, wodurch zusätzlicher Material- und Zeitaufwand entstand.

Das Projekt zeigt, dass ein solcher Ansatz grundsätzlich technisch umsetzbar ist und für den praktischen Einsatz in der Fertigung einen erkennbaren Nutzen bietet. Wesentlich ist dabei die Verbindung aus automatisierter Bildaufnahme, KI-gestützter Bewertung und strukturierter Dokumentation der Prüfvorgänge.

Für die weitere Entwicklung ist vor allem die Validierung unter realen Produktionsbedingungen von Bedeutung. Dabei muss untersucht werden, wie gut die Ergebnisse des Prüfstands mit der bestehenden Dichtigkeitsprüfung übereinstimmen. Erst dieser Vergleich zeigt, wie zuverlässig die KI-basierte Bewertung im praktischen Einsatz arbeitet und wo noch Optimierungsbedarf besteht. Darüber hinaus bestehen sowohl mechanisch als auch softwareseitig weitere Entwicklungsmöglichkeiten. Eine steifere mechanische Ausführung kann zu einer gleichmäßigeren Bildaufnahme beitragen und damit die Bildaufbereitung vereinfachen sowie die Zuverlässigkeit verbessern. Auch Optimierungen im Softwareablauf können nicht nur die Prüfzeit weiter verkürzen, sondern ebenfalls die Stabilität und Zuverlässigkeit des Systems erhöhen.

Zum Abschluss möchten wir uns bei der T&B electronic GmbH, insbesondere bei Herrn Berlitz, für die konstruktive Zusammenarbeit und die Unterstützung bei der Umsetzung des Projekts bedanken. Unser Dank gilt außerdem den betreuenden Lehrkräften Herrn Kirchner und Herrn von Maydell, die das Projekt fachlich begleitet und unterstützt haben.