

Arbeitsschutz an einem Förderband

Farbsensorik zur sicheren Personenerkennung am Beispiel eines Schnee-Beräumungssystems

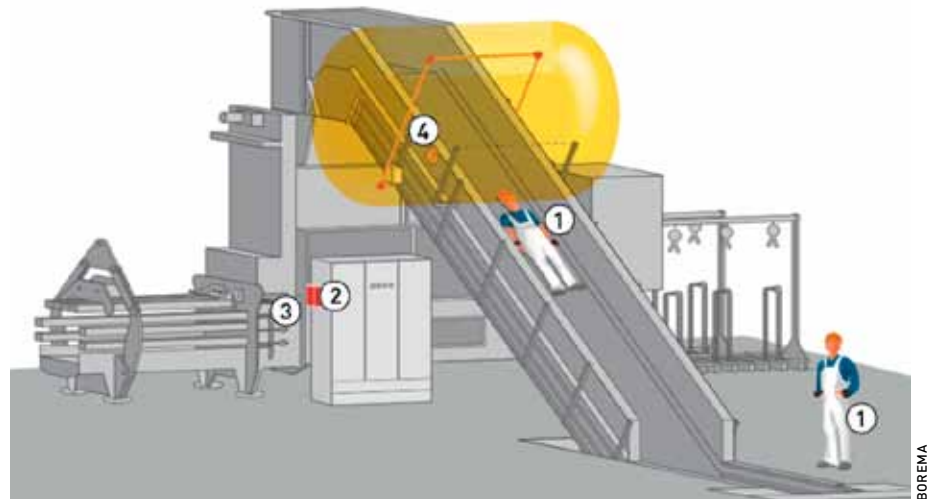
Im Rahmen des ZIM-Forschungsprojekts „Schnee-Beräumungssystem für Flachdächer“, an dem mehrere Partner beteiligt gewesen sind, standen neben der technischen Umsetzung von neuartigen Fördermodulen die Entwicklung und die Bewertung von geeigneten wetterresistenten Personenschutzsystemen im Fokus.

Starke Wintereinbrüche, die laut Statistik alle fünf bis sechs Jahre auftreten, sind für viele Handels- und Wirtschaftsunternehmen sowie öffentliche Einrichtungen ein unkalkulierbares Risiko. Innerhalb kurzer Zeit kann es zu gefährlichen Schneemengen auf den Flachdächern der Gebäude führen und Dacheinstürze, Dachbeschädigungen aber auch Gefahren für Personen mit sich bringen. In der Praxis zeigte sich, dass die Dachschnee-Beräumungen vor allem von großen Flachdächern aufgrund des Fehlens geeigneter Technik nicht effektiv und vor allem nicht ohne Risiken und Folgeschäden durchgeführt werden können.

Gefördert vom Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWK-Kooperationsnetzwerks wurde von Oktober 2019 bis Oktober 2022 innerhalb des Projekts „Schnee-Beräumungssystem für Flachdächer“ zielgerichtet an einem speziellen Fördersystem geforscht.¹⁾ Projektpartner waren die IWB Industrietechnik GmbH („Entwicklung flexibel koppelbarer Standard-Transport-Module für das Schnee-Beräumungssystem“), die Elnic GmbH („Entwicklung von Verfahren und gerätetechnischer Lösung für die Modul-Steuerung und -Kommunikation und zur Sicherung des Arbeitsschutzes beim Schnee-Beräumungssystem“) sowie die Professur Förder- und Materialflusstechnik (FTM) der Technischen Universität Chemnitz, die sich der „Entwicklung der materialtechnischen und der wetterresistenten Transportlösung für die Module“ widmete.

Ansatzpunkte für das Projekt

Die Ausgangssituation des Projekts betrifft die Risiken, die sich nicht nur auf die Gebäude und die Gebäudehülle, sondern auch auf die zur Beräumung eingesetzten Hilfskräfte beziehen. Die hohe Anzahl der Absturzunfälle an Gebäudekanten oder durch nicht sturz sichere



1) Schema des Personenschutzsystems der Fa. Borema [1];

Pos. 1: Person im Gefahrenbereich; Personen, die sich im Gefahrenbereich aufhalten, tragen den P-Tag Personaltransponder – es stehen drei Typen von Transpondern zur Verfügung.

Pos. 2: Das ALM-Logikmodul ist die zentrale Überwachungseinheit; in den Not-Halt-Kreis der Anlage integriert, regelt und protokolliert das ALM sämtliche Funktionen des PSS-Sicherheitssystems.

Pos. 3: Das Touch-Screen-Display des ALM zeigt alle Betriebszustände und Vorkommnisse in sieben Sprachen. Hier werden auch die P-Tag personalisiert.

Pos. 4: ATM-Aktivierungsmodule werden auf den Zufuhrsystemen vor der Gefahrenquelle montiert; gelangt ein P-Tag in das ATM-Frame, wird die Anlage im Not-Halt ausgeschaltet.

Bauteile verdeutlicht das Problem. Demzufolge galt es, vor allem die Risiken deutlich zu reduzieren und mehr Sicherheit für die Einsatzkräfte zu schaffen. Der Arbeitsschutz ist beim Einsatz von Schneefräsen auf Flachdächern kritisch zu betrachten, ebenso an allen Gebäudekanten, da ab 1 m Höhe grundsätzlich von einer Absturzgefahr auszugehen ist. Die Beräumung der Schneemengen kann händisch oder mithilfe von Förderbändern durchgeführt werden.

Eine Aufgabe des Projekts bestand darin, die Problematik „Mensch auf Förderband“ (Ohnmächtigkeit, Personenerkennung, Absturz-sicherung) zu bearbeiten, um den Einsatzkräften mehr Sicherheit zu bieten. Dazu gehörten die Entwicklung bzw. die Auswahl eines Mess- und Detektionsverfahrens sowie dessen anwendungsspezifische Anpassung.

Die Arbeitssicherheit hat höchste Priorität. Auf dem Markt werden aktuell bereits verschiedene Systeme zum Thema „Arbeitssicherheit und Personenschutz“ angeboten. Es gibt gesetzlich geforderte Maßnahmen, wie Not-Halt-Taster und Reißleinen zum Stoppen von Anlagen durch das aktive

Auslösen, um Personen zu schützen. Jedoch sind auch berührungslose Schutzsysteme in solchen Gefahrensituationen einzusetzen, wo mechanische Lösungen nicht ausreichen. Dazu zählt auch der Fall einer bewussten oder handlungsunfähigen Person (bei Systemen ohne Verwendbarkeit von z.B. Zweihandschaltungen), die eine Anlage selbst stoppen und hieraus eine Gefährdung für Leib und Leben entstehen kann. Grundsätzlich sind bei der Entwicklung von sicheren Anlagen die EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, die DIN EN ISO 12100:2011-03 für die Risikobeurteilung und Risikominderung sowie die DIN EN ISO 13849-1:2016-06 für sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen als allgemeine Gestaltungsleitsätze im Rahmen der Sicherheit von Maschinen zu berücksichtigen. Weiterhin gelten u. a. die DIN EN ISO 13855:2010-10 zur Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf die Annäherung des menschlichen Körpers, die DIN EN IEC 61496-1:2021-06 für berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen und die DIN EN IEC 62046:2019-03 für Schutzeinrichtungen zur Anwesenheitserkennung von Personen. Darüber hinaus liegen für ein-

1) Förderhinweis: Dieses Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Tabelle ① Angelernte Referenzwerte

Angelernter Referenzwert 1	Angelernter Referenzwert 2	Angelernter Referenzwert 3
Ein weißes Objekt soll Schnee simulieren.	Eine gelbe Warnweste soll die Einsatzperson simulieren.	Blaue Kleidung soll die Einsatzperson simulieren.
		

TU CHEMNITZ

zelne Anlagen- und Maschinenarten zusätzliche Sicherheitsnormen vor, die hierfür beachtet werden müssen und teilweise Personenschutzsysteme ausdrücklich fordern. Oft fehlt jedoch den Systemen, die am Markt verfügbar sind, das vom Gesetzgeber geforderte Baumusterzertifikat. Zudem erfüllen sie meist nur das Performancelevel c. Demnach müssen Personenschutzsysteme vom Hersteller einer Baumusterprüfung unterzogen werden, um das Baumusterzertifikat zu erhalten. Unter anderem eröffnet das berührungslose Personenschutzsystem Life Guard PSS i-BOR 17 von Borema [1] neue Möglichkeiten bezüglich Standard Industrie 4.0. Es verfügt über eine RFID-Technologie und erfüllt normbasierte Forderungen bezüglich des Personenschutzes. Die überwachte Anlage wird bei einem sicherheitsrelevanten Vorfall automatisch im Not-Halt ausgeschaltet (Bild ①).

Im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie wurde von Comnovo aber auch eine interaktive Warnweste zum Zweck des „Social Distancing“ entwickelt. Sie warnt vor zu nahem Kontakt zueinander [2]. Diese Lösung ist auch für das Beräumssystem vorstellbar, indem textile Sensoren in der Bekleidung der Einsatzkräfte vor einem zu nahen Kontakt zum Förderband warnen und das System ausschalten bzw. die Fördergeschwindigkeit reduzieren. Weitere Systeme zur Personenerkennung und zum maschinellen Sehen bietet u.a. die Fa. BerryBase [3]. Ihr Produkt HuskyLens ist ein AI-Sensor für maschinelles Sehen. Dieser Sensor verfügt über verschiedene Funktionen, wie Gesichtserkennung, Objektverfolgung, Objekterkennung, Linienverfolgung, Farberkennung und Tag (QR-Code)-Erkennung. Denkbar ist, dass dem Sensor mit Wiedererkennungswert ausgestattete „Objekte“ der Einsatzkräfte, wie einheitliche Mützen, Westen usw., angelernt werden. Sobald sich diese Objekte dem Förderband nähern oder auf die Anlage gelangen, wird das System ausgeschaltet oder verlangsamt [3].

Lösungsansatz für die Personensicherheit

Ziel war es, neben der Erkennung des Gewichts eine sichere Erkennung der Lage von Perso-

nen zu schaffen. Ein geplanter Lösungsansatz bestand darin, mithilfe von sogenannten Farbsensoren zwischen einer farbigen Bekleidung und dem weißen Schnee zu unterscheiden. Auf diese Weise soll eine zusätzliche Sicherheit geschaffen werden. Mithilfe eines Farbsensors können farbbedingte Veränderungen auf dem Förderband in Form von Farbmaßzahlen erfasst werden.

Farbsensoren sind signalgebende optische Geräte zur selektiven Erfassung und Bewertung von Farben des sichtbaren Spektralbereichs des Lichts. Sie dienen der Qualitätskontrolle und Prozesssteuerung. Ziel der Farbmetrik (Wissenschaft von Farben) nach DIN 5033-1 [4] ist es, das visuelle Empfinden von Farbe objektiv messbar in ein Maßsystem zu überführen. Dabei sollen nicht der physikalische, spektrale Farbreiz, sondern die wirkende Farbvalenz und die Farbmaßzahlen bestimmt werden. Eine numerische Darstellung der Farbvalenz als Farbsystem erfordert eine mathematische Abbildung oder einen geeigneten optischen Filter. Bei der Farbmessung kann zwischen Gleichheits-, Dreibereichs-/Helligkeits- und Spektralverfahren unterschieden werden. Die meisten Farbsensoren arbeiten nach dem Dreibereichsverfahren und sind dem menschlichen Auge nachempfunden. Als Ursache der Farbwahrnehmung wird die Absorption einer auftretenden elektromagnetischen Strahlung (Weißlichtquelle) durch drei Zapfen der menschlichen Netzhaut gesehen. Dabei wird eine Reizung der Zapfen hervorgerufen – der sog. Farbreiz. Seine Wirkung wird durch die spektralspezifische Reaktion der Netzhaut je Zapfen als Farbvalenz charakterisiert. Die Farbwahrnehmung folgt dann als Farbeempfindung im Gehirn [5, 6, 7].

Versuchsdurchführung und Funktionsweise des Farbsensors

Das Funktionsprinzip des im Forschungsprojekt verwendeten Farbsensors CRT448 von Leuze electronic [8] basiert auf dem Dreibereichsverfahren. Der erste Schritt betraf die Bestimmung und Festlegung von drei Farbmaßzahlen (= Referenzwerte).

Die Referenzwerte wurden dem Farbsensor wie folgt angelernt:

1. Farbe (Schnee = weiß),
2. Farbe (Warnweste = gelb) und
3. Farbe (Kleidung = blau).

Anschließend wurden die Referenzwerte vom Farbsensor in die Farbanteile der Grundfarben Rot, Gelb sowie Blau zerlegt und abgespeichert (Tabelle ①).

Der zweite Schritt war die Positionierung des Farbsensors am Förderband. Dabei wurden während des Testes die drei unterschiedlichen Objekte – Schnee (= weiß), eine Warnweste (= gelb) sowie ein Bekleidungsstück (= blau; Person, die dem Förderband zu nahe kommen könnte) – simuliert. Diese Objekte wurden auf dem laufenden Förderband punktuell mit der Weißlichtquelle (LED) des Farbsensors beleuchtet (Bild ②).



TU CHEMNITZ

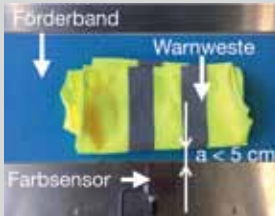


② Positionierung des Farbsensors am Förderband

Das reflektierende Licht wurde vom Farbsensor erfasst, der die angelernten Farbanteile der Referenzfarben mit dem gemessenen Farbwert innerhalb einer voreingestellten Toleranzgrenze verglich. Bei diesem Vergleich wird der Farbabstand ΔE zwischen der gemessenen (Objekt-)Farbe und den drei Referenzwerten gemessen.

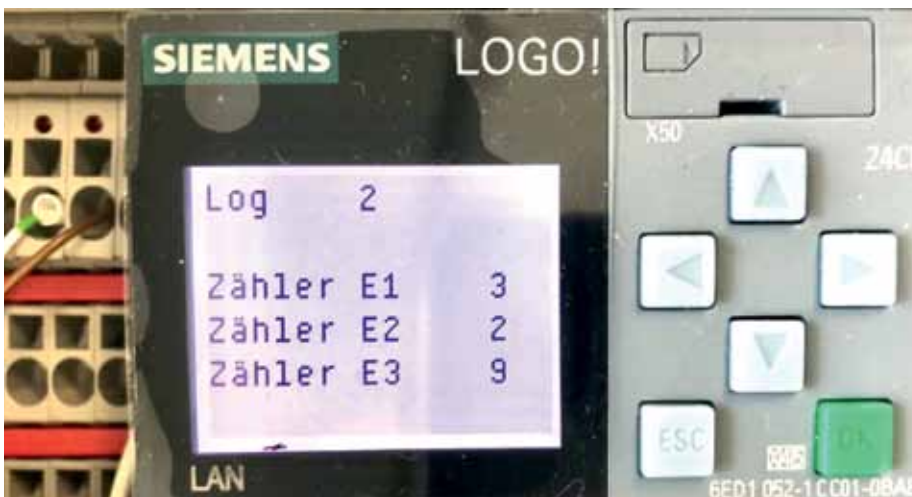
Im dritten Schritt setzt der Farbsensor ein Ausgangssignal. Dabei wird der Farbabstand ΔE aus den Koordinaten des LAB-Farb- raumes (Rot-Grün-Achse; Gelb-Blau-Achse; Helligkeit) ermittelt. Bei Übereinstimmung der gemessenen Werte innerhalb des Toleranzbereichs und einem der Referenzwerte wird ein verwertbares Ausgangssignal gesetzt (Bild ③). Dabei ist die wichtigste Kenngröße dieser Messmethode die Anzahl der gemessenen Übereinstimmungen der Referenzwerte – der Sensor hat die angelernten Farbmaßzahlen der Objekte erkannt und unterschieden.

Entsprechend Tabelle ② wurden unterschiedliche Szenarien untersucht und bewertet. Im Mittelpunkt standen vor allem die Distanz und der Winkel zwischen Sensor und dem vorbeilaufenden Objekt.

Tabelle ② Untersuchte Farberkennung bei unterschiedlichen Szenarien von Objekten auf dem Förderband

Geringe Distanz... ...des Objektes Warnweste zum Farbsensor ($a < 5 \text{ cm}$) sowie Parallellage der Warnweste zum Farbsensor	Große Distanz... ...des Objektes Warnweste zum Farbsensor ($a > 5 \text{ cm}$) sowie Parallellage der Warnweste zum Farbsensor	Variierende Distanz... ...des Objektes Warnweste zum Farbsensor sowie diagonal einlaufendes Objekt zum Farbsensor
		
Farbsensor erkennt jedes einlaufende Objekt und setzt ein Ausgangssignal	Farbsensor erkennt $< 10 \%$ der einlaufenden Objekte und setzt entsprechend wenig Ausgangssignale	Farbsensor erkennt einlaufendes Objekt nur im Nahbereich ($a < 5 \text{ cm}$) und setzt ein Ausgangssignal, jedoch kann die Erkennung dadurch zeitlich zu spät für die betroffene Person sein

TU CHEMNITZ



TU CHEMNITZ

③ Gesetzte Ausgangssignale hinter den Zählerwerten (Zähler E1 bis E3 entsprechen den angelernten Referenzwerten 1 bis 3)

Ergebnisse und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Farbsensor die drei unterschiedlichen Objekte (Tabelle ①) bei laufendem Förderband im Labormaßstab erkannt und unterschieden hat. Der Sensor hat dabei die drei angelernten Referenzwerte erkannt und entsprechende Ausgangssignale (Bild ③) gesetzt. Der Sensor kann jedoch nur in einer sehr kurzen Distanz zum Förderband unterschiedliche Farbmaße erkennen und somit zu einer Personen-erkennung beitragen. Ebenfalls wurden unterschiedliche Lichteinfälle und deren Wirkung auf den Sensor untersucht. Dabei erfolgten gezielte Positionierungen einzelner Lichtquellen direkt auf dem Sensor. Aufgrund der polarisierenden Wirkung der Sensorlinse wurde kein negativer Einfluss auf das Messergebnis festgestellt. Im Labormaßstab konnte der untersuchte Farbsensor die gestellten Anforderungen erfüllen:

- Gewährleistung der elektrischen und datenseitigen Einsatzfähigkeit des Sensors im angestrebten Temperaturbereich bei Schnee, Eis und Nässe
- Betriebsbereich: -25 °C bis $+20 \text{ °C}$
- Lagerungsbedingungen für den Nicht-Betriebsfall: -25 °C bis $+50 \text{ °C}$.

Bei den Versuchen zeigten sich positive und vielversprechende Ergebnisse. Für eine zuverlässige, nachweisbare Erkennung kann der Sensor in Kombination mit anderen Systemen geeignet sein. Dies muss aber in weiteren Versuchen bestätigt werden. Innerhalb des Projekts wurden ausschließlich Laborversuche ohne Personen durchgeführt. Ebenso kritisch zu betrachten sind die Positionierung des Sensors am Förderband und der Abstand, mit dem die Objekte am Sensor vorbeilaufen.

Literatur

- [1] Borema Umwelttechnik AG: Life Guard PSS i-BOR 17. online: https://www.borema.ch/fileadmin/images/produkte/PPS_i_BOR_17/PPS_17_Prospekt_hoch.pdf (Stand: 22.11.2022).
- [2] comnovo GmbH: Social Distancing – Warnung bei zu nahem Kontakt. online: www.comnovo.de/?oxy_portfolio_image=social-distancing-praezise-warnung-bei-zu-nahem-kontakt (Stand: 22.11.2022).
- [3] BerryBase by Sertronics GmbH: DFRobot Gravity: HuskyLens, AI Machine Vision Sensor, Artikel-Nr.: SEN0305. online: www.berrybase.de/sensoren-module/kameramodule/dfrobot-gravity-huskylens-ai-machine-vision-sensor?c=91# (Stand: 22.11.2022).
- [4] DIN 5033 Farbmessung, Teil 1; Grundbegriffe der Farbmatrik, Oktober 2017.
- [5] Richter, M.: Einführung in die Farbmatrik, Sammlung Göschen. Berlin/Boston: De Gruyter 2011.
- [6] Scharfsinn & Weitblick – Kenner-Blick (2019): Farbmatrik. online: www.kennerblick.net (14.08.2019).
- [7] Schmieder, A.: Schadensanalyse hochfester, laufender Faserseile. TU Chemnitz, Dissertation 2019.
- [8] Leuze electronic GmbH + Co. KG: Switching sensors. online: www.leuze.com/en-int/products/switching-sensors/color-sensors?p=1 (Stand: 22.11.2022).



Dr.-Ing. Annett Schmieder, Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Professur für Förder- und Materialflusstechnik an der Technischen Universität Chemnitz



Dipl.-Ing. Tobias Schöneck, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Professur Förder- und Materialflusstechnik an der Technischen Universität Chemnitz



Prof. Dr.-Ing. Markus Golder, Leiter der Professur für Förder- und Materialflusstechnik an der Technischen Universität Chemnitz