

Farberkennung in der industriellen Praxis am Beispiel einer Obststeigenidentifikation

Axel Gröhling, Gerd Stanke

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFai)
Rudower Chaussee 30
D-12489 Berlin
Tel.: +49 - 30 - 63 92 16 09 Fax.: +49 - 30 - 63 92 16 61
groehling@gfai.de stanke@gfai.de
www.gfai.de

Zusammenfassung. Es werden ein Verfahren und ein System zur Erkennung der Farbe und des Typs von klappbaren Kunststoffsteigen mit in sich stark strukturierten und durchbrochenen Seitenwänden vorgestellt. Das Verfahren realisiert in einer ersten Stufe eine sichere Farbzuzuordnung der Steigen auch in Fällen von Verschmutzung oder Beschädigung. Diese sichere Farbzuzuordnung dient zur Einstellung von Parametern für den zweiten Schritt, die Bestimmung von Profilmerkmalen der Seitenwände, die farbsensitiv erhoben werden müssen. Das System besteht aus einer Standard-Farbkamera, einem Lasermodul mit Linienuptik und zwei Weißlicht-LED-Leuchten, es ist unter C implementiert. Die Problematik der Farberkennung wird unter Sicht der Umsetzung in eine Produktionsumgebung diskutiert.

Abstract. We present an approach that identifies the colour and model of Round Trip Carriers (RTC's). A first procedure detects the colour by looking at the folded RTC's. These show great variations in the structures seen by the camera. In addition the RTC's can be damaged or dirty. The reliable colour classification result determines the parameters needed for a second procedure performing the model identification. The system consists of a standard colour camera, a laser module fitted with a line optics head and two white-light LED modules. The colour classification method and the problems we encountered when we tried to adjust the system to real-life conditions we discuss in detail. The system is successfully operated at a RTC provider's depot.

Hintergrund

Weltweit operierende Logistiksystemanbieter betreiben Pools von bis zu über 70 Millionen so genannten Round Trip Carriern. Ein Teil davon sind klappbare Kunststoffsteigen für Obst und Gemüse. Es wird damit ein komplettes Kreislaufsystem realisiert. Die Steigen kommen vom Einzelhandel ungeordnet in Depots zurück, werden in die-

sen geprüft, sortiert, gewaschen, palettiert und dann wieder dem Großhandel zur Verfügung gestellt. Die Obststeigen treten in 3 bis 5 Farbvarianten und in bis zu 10 Strukturtypen auf (vgl. Fig. 1), so dass im als Beispiel dienenden Fall bis zu 30 Steigenklassen zu unterscheiden sind. Diese gilt es zu handeln, d. h., zu entpalettieren, zu transportieren, aufzuklappen, zuzuklappen zu palettieren, usw. Für eine Reihe dieser Operationen sowie die sortenreine Auslieferung ist die Kenntnis des jeweilig vorliegenden Typs der einzelnen Steige notwendig. Der Systemintegrator für Anlagen zur Handhabung von klappbaren Transportbehältern, hat auf Grund der Notwendigkeit den jeweils vorliegenden Steigentyp zu kennen, die GFaI beauftragt, ein System zur Erkennung dieser klappbaren Kunststoffsteigen für den Industrieinsatz zur Anwendung zu bringen.

Aufbau des Erkennungssystems

Verwendet werden eine Einchipfarbkamera, ein angepasster Framegrabber, ein Laser mit Linienoptik und zwei Weißlicht-LED-Leuchten. Die Erkennungsprogramme laufen auf einem PC unter Windows NT 4.0. Die Aufgabe besteht definitionsgemäß in der Bestimmung des Steigentyps sowie dessen Farbe. Das Erkennungsergebnis wird an eine SPS übermittelt und dient der nachfolgenden Sortieranlage für die typgerechte Weiterleitung der Steigen.

Die Erkennungseinheit ist über einem sich kontinuierlich bewegenden Transportband (vgl. auch Fig. 7) positioniert und bis auf den Bandein- und -auslauf gegen Fremdlicht abgeschattet, dies dient gleichzeitig dem Schutz der Mitarbeiter vor dem eingesetzten Laser. Die Steigen werden mit einer Geschwindigkeit von ca. 1200 mm pro Sekunde unter der Erkennungseinheit transportiert. Die Kamera ist so ausgerichtet, dass sie in der Bildmitte den von dem Laser erzeugten und von der Struktur der Seitenwände verzerrten Lichtschnitt sieht (vgl. Fig. 2). Am oberen Bildrand befinden sich zwei Fenster, in denen die Farbmessung erfolgt. Nach einer automatischen Detektion des Steigenanfanges werden alle 20 ms während des Steigendurchlaufes Halbbilder aufgenommen, die Werte der Farbanalysen der Fenster aller Halbbilder und die „im Fluge“ für alle zulässigen Farben berechneten Profile der Seitenwände werden in zwei Ringpuffer geschrieben. Bei einer 600 mm lange Steige entstehen somit ca. 25 – 30 Datensätze/Profile pro Objekt. Nach gleichfalls automatischer Detektion des Steigenendes erfolgt in der zeitlichen Lücke bis zum nächsten Steigenanfang die Farbklassifikation sowie die davon abhängige Auswertung der Profile der Seitenwände. Eine leichte Schrägstellung der nicht ganz exakt geführten Steigen unter der Erkennungseinheit muss dabei mit verkraftet werden.

Einfluß der Farbe auf die Typzuordnung

Das für die Anwendung vorgegebene Spektrum enthält grüne, gelbe, rosa und rote Steigen, wobei die Farben grün und gelb in zwei stark differierenden Grundtönungen

auftreten, und überhaupt durch den Prozess der Granulatherstellung und das Auftreten von Verschmutzungen keine Einheitlichkeit in den farblichen Erscheinungsbildern gegeben ist. Insbesondere das verwendete rote Laserlicht wird nicht nur durch die unterschiedlichen Winkelverhältnisse über der Steigenbreite, sondern vor allem auch von den auftretenden Steigenfarben unterschiedlich reflektiert: dunkelgrüne Steigen scheinen den Laser fast vollständig zu absorbieren, während rote Steigen wie Lichtleiter reagieren und der Laserstrich dabei in ein „flächiges“ Leuchten transformiert wird. Es ist daher notwendig, für die einzelnen Steigenfarben unterschiedliche Parameter für die Erstellung der Profilaufnahmen der Laserlinie zu verwenden, da ansonsten der Profilverlauf, der die Stegpositionen und damit den Steigentyp charakterisiert, bis zur Unkenntlichkeit und damit bis zur Nichtauswertbarkeit deformiert werden kann. Die Fig. 3 belegt dies, sie zeigt in a und b Profile, bei denen die für die unterschiedlichen Steigentypen charakteristischen stabilisierenden Längsstege gut ausgeprägt sind, in c hingegen ist das Profil bei der Verwendung des gleichen Steuerparameters zur Unkenntlichkeit verzerrt. Bedingt ist dies durch die sich in c von den vorherigen Typen unterscheidende Grundfarbe. Eine farbabhängig angepasste Wahl des Steuerparameters gibt hingegen ein in der Nachfolge wieder gut auswertbares Profil, vergleiche Fig. 3d.

Probleme bei der Farbauswertung

Die Farbauswertung muss nicht nur sicher sein, sondern die verwendeten Komponenten müssen auch eine hohe Lebensdauer aufweisen. Als Lichtquelle wurde deshalb eine regelbare Weißlicht-LED-Matrix gewählt. Für diese Lichtquelle spricht ihre kompakte Bauform, die lange Lebensdauer, der erreichbare Schutzgrad (IP 65) sowie der vertretbare Preis. Als nachteilig ist allerdings zu erwähnen, dass die verwendeten LED's ein Licht mit dominantem Blauanteil abgeben.

In einer Verfahrensvariante wurde nur eine und zwar mittig positionierte Beleuchtungsquelle eingesetzt. Dies hatte den Vorteil, dass vorwiegend der nur schwach strukturierte Steigenboden beleuchtet war, und hier zwischen den Typen relativ geringe Unterschiede im Rückstrahlverhalten auftraten. Mit diesem Verfahren waren grüne, gelbe und rote Steigen zu unterscheiden. Die Farbklassifikation wurde nach einer Mittelung in der Region of Interest und anschließender HSI-Konvertierung in der Hue-Komponente durchgeführt. Dieses Verfahren funktionierte bei den ersten Tests mit sauberen Steigen sehr gut, versagte aber, als Steigen aus der Produktion, dem Rücklauf aus dem Einzelhandel, getestet wurden. Es wurden z. B. grüne Steigen, deren Boden mit Erde verschmutzt waren, als gelb klassifiziert, zusätzlich traten andere Fehler auf. Eine Prüfung der Hue-Werte zeigte eine korrekte Programmfunktion, der Farbwert entsprach einfach dunkelgelb bzw. einer Rückweisungsklasse. Dieser eigentlich offensichtliche und einfache Ansatz zur Farbklassifikation zog für die Aufgaben des praktischen Einsatzes nicht. Es ergab sich in einer Nachspezifikation der Aufgabenstellung, dass die auftretenden Verschmutzungen übliche sind.

Abhilfe konnte geschaffen werden, indem die Beleuchtung geteilt und an zwei Stellen so plaziert wurde, dass sie die Ränder der zusammengeklappten Steigen und damit die weniger der Verschmutzung unterliegenden Außenseitenwände beleuchtet.

Als Folge dieser Umstellung ergab sich aber, dass, um Störungen durch Etiketten zu vermeiden, die Farbmessung über die gesamte Steigenlänge durchgeführt werden musste. Parallel mit dieser Umstellung der Beleuchtung ging einher, dass zusätzlich rosafarbene Steigen mit erkannt werden sollten. Die Klassifikation alleine mit einer Komponente, den Hue-Werten, erwies sich in diesem Fall zur Unterscheidung von gelben und rosafarbenen Steigen als nicht geeignet. Es war notwendig, wieder auf einen mehrkanaligen Ansatz, ein Mahalanobis-Klassifikator im RGB-Raum [1] zurückzugreifen. Mit diesem Verfahren ist bei den relativ sauberen Seitenteilen eine sichere Farberkennung auch dann gewährleistet, wenn die Granulatmischungen in ihren Farberscheinungen gewisse Abweichungen von der Norm aufweisen und wenn, wie nachfolgend beschrieben, tatsächlich die Steigenfarbe und nicht der Schatten oder die Überstrahlung in dem für die Farbmessung verwendeten Bildausschnitt bestimmt wird.

Bei der zentral positionierten Beleuchtung wurde bei einem großen Teil der Steigen vor allem, wie genannt, der Steigenboden beleuchtet. Dabei entsprachen die Verhältnisse der Farbmessung denen der Vermessung einer homogenen Fläche. Die Seitenteile der Steigen dagegen sind stark strukturiert und haben unterschiedliche Höhenausprägungen, die auch stark unterschiedliche Abschattungen aus Kamerasicht provozieren. Der im Detail unbestimmte Aufnahmezeitpunkt, der sich dahingehend auswirkt, dass nicht bekannt ist, welcher Teil der Seitenteilstruktur gerade im Bild ist, verschärft das Problem noch. Fig. 4 und 5 geben einen Eindruck von der Inhomogenität der Farbausprägungen in den Bildausschnitten von an und für sich jeweils gleichfarbigem Steigenmaterial.

Aufgrund der Systemgeometrie steht keine Referenz für die Farbmessung während der Produktion zur Verfügung. Der Gurt, auf dem die Steigen transportiert werden, ist dafür zu inhomogen und verschmutzt. Die Kontrolle der korrekten Funktion der Beleuchtung erfolgt durch die Überwachung des Stromflusses. Die LED's sind in 5 Reihen mit je 5 Elementen parallel geschaltet. Das Durchbrennen einer LED führt zu einer signifikanten Änderung des Stromflusses und wird als Fehlermeldung vom Netzteil an die übergeordnete Steuerung gemeldet. Das „leise“ Sterben einer LED – LED wird dunkler ohne Änderung im Stromfluss – kann nur im Rahmen der normalen Systemdurchsichten entdeckt werden.

Während der Erprobung vor Ort trat als beeinflussender Fakt neu auf, dass Grün und Gelb nicht durch einen einheitlichen Farbton, sondern durch erheblich differierende Farbtöne vertreten waren. Dadurch ergab sich, dass für grüne und gelbe Steigen jeweils eine weiter differenzierte Unterscheidung notwendig war, um eine bessere Anpassung der Parameter für die Profilauswertung zu erreichen. Fig. 6 zeigt einen Stapel „grüner“ Steigen, die Variationen sind im gedruckten Bild nicht so deutlich sichtbar. So ist Grün z. B. durch die RGB-Werte 90/250/140, durch 25/140/40, aber auch durch 20/150/60 und viele andere repräsentiert. Auf die Nichtverwendbarkeit der Hue-Komponente wurde eingegangen.

Auswertung der Farbstichproben

Die größten Probleme für die Farbzuoordnung entstehen durch die Variationen in der Intensität zwischen den Bildern und zusätzlich innerhalb eines Bildausschnittes, von annähernd spiegelnd bis abgeschattet, vgl. Fig. 4 und 5. Um diese Einflüsse zu unterdrücken, wird nur ein geschickt bewerteter Anteil der Bildpunkte für die Farbmessung verwendet und davon ein mittlerer Wert für eine Aufnahme links und rechts abgeleitet. Die überstrahlten Bereiche sowie die Abschattungen finden durch diesen Ansatz keine Berücksichtigung.

Die zu erwartenden Werte der zu klassifizierenden Farben werden eingelernt, dabei ist darauf zu achten, dass alle verschiedenen Seitenteil- und damit Steigentypen berücksichtigt werden, um die analytisch nicht vernünftig beschreibbaren Verhältnisse der Abschattung und Spiegelung einigermaßen repräsentativ in der Stichprobe für die Ableitung der Verteilungsparameter des Klassifikators präsent zu haben.

Die rechte und die linke Seite der Steigen sind separat behandelt, um Unterschiede der Beleuchtungseinrichtungen zu berücksichtigen. Diese Messungen werden mit dem genannten Mahalanobis-Klassifikator ausgewertet. Die nachstehende Tabelle dient zur Veranschaulichung der für den Einsatzfall erreichbaren Klassifikationsgüte.

Table 1.

	Dunkelgrün	Grün	Dunkelgelb	Gelb	Rosa
Dunkelgrün	5,56	2,84	17,76	15,34	18,81
Grün	1,64	5,27	15,45	13,59	16,61
Dunkelgelb	7,13	12,51	3,47	0,37	8,43
Gelb	6,56	10,01	0,86	5,24	9,42
Rosa	11,44	15,40	8,00	8,64	4,34

Die Diagonale zeigt den größten Mahalanobis-Abstand innerhalb der Lernstichprobe einer Klasse, die anderen Einträge in der Zeile zeigen den kleinsten Mahalanobis-Abstand zu einem Element der Lernstichprobe der jeweils anderen Farbklassen. Dabei sind starke Überschneidungen bei grün – dunkelgrün bzw. bei gelb – dunkelgelb deutlich, wobei aber im Gegensatz dazu eine ausreichende Trennung zwischen den Oberklassen grün, gelb und rosa erreicht wird. Nur diese Oberklassen werden für die Ausgabe des Klassifikationsergebnisses weiter verwendet. Ein Farbwert wird der Klasse mit dem geringsten Mahalanobis-Abstand zugeordnet. Dabei wird zusätzlich geprüft, ob dieser Abstand kleiner als der größte Intra-Klassenabstand der Lernstichprobe ist. Ist dies nicht der Fall, so wird dieser Farbwert als „unbekannt“ markiert und dies der Steuerung mitgeteilt.

Von den ca. 25 – 30 Aufnahmen, die für die Farbklassifikation einer Steige zur Verfügung stehen, werden die erste und die letzte Aufnahme nicht berücksichtigt. Die Farbzuoordnung für die gesamte Steige erfolgt nach dem Abstimmungsprinzip (voting classifier [2]). Eine Oberklasse muß mindestens eine definierte Anzahl aller möglichen Einträge gewinnen, damit sie als Steigenfarbe akzeptiert werden kann. Ist dies nicht der Fall, so ist das Ergebnis: „Unbekannte Farbe“, die Steige wird im Prozes-

sablauf ausgeschleust. Für die Oberklassen „grün“ und „gelb“ wird nach erfolgter Zuordnung zu diesen Oberklassen jeweils wieder eine Abstimmungsentscheidung für eine der Unterklassen herbeigeführt, um die entsprechenden Parameter bzw. Profile zur weiteren Auswertung für die Typzuordnung auszuwählen.

Die Typzuordnung selbst ist hier nicht im Detail beschrieben. Sie fasst den gewonnenen Profilverlauf als geometrischen Kode auf, für den die Stegorte an typspezifischen Stellen gefunden werden müssen. Gleichfalls muss die Höhenausprägung des Kodeprofiles in einem typ- und damit stegspezifischen Bereich liegen.

Einsatzerfahrungen

Die Farbauswertung und auf ihrer Basis die Typklassifikation funktionieren in der Praxis trotz der schwierigen Randbedingungen hervorragend. Durch die Punktauswahl- und Abstimmungsregeln bei der Farbklassifikation werden potentielle Fehlklassifikationen und Störungen, z. B. durch Spiegelungen, Abschattungen, Etiketten und Verschmutzungen, unterdrückt. Die erreichten Erkennungsraten, schon kombiniert für Farbzurordnung und Typklassifikation, liegen besser als 99,5 Prozent, d. h. ausreichend sicher zum Betreiben einer Gesamtanlage.

In der Kette der Aufgabendefinition hatten wir während der Entwicklungsphase zu wenig Kontakt zu den Objekten (Steigen) und Prozessabläufen. Die eigentliche vorliegende Aufgabenstellung hat sich erst im Einrichtungsprozess in der Halle für die Aufstellung der Anlage kundgetan, was so eigentlich alles zu beachten und zu lösen war. Die wichtigen Informationen ergeben sich erfahrungsgemäß vor Ort, wenn interessierten Technikern die Arbeitsweise des eigenen Verfahrens erklärt wird, um von ihnen im Gegenzug die relevanten Informationen über die tatsächlich vorliegenden Einsatzbedingungen zu erhalten. Als Beispiel sei nur angeführt, dass wir sehr lange davon ausgehen mussten, dass „Grün“ auch immer „Grün“ sei. Der erste Besuch in einem Depot hat uns diese Illusion genommen.

Literatur

1. Bässmann H., Kreyss J.: Bildverarbeitung, Ad oculus. Springer-Verlag, 3. Auflage, Berlin, 1998
2. Baskakova L. V., Zuravlev Yu. I.: A Model of Recognition Algorithm, with Representative Collections and Systems of Support Sets. Zhurnol Vychislitelnoi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki, 1981 Vol. 21, no. 5, pp. 1264-1275



Fig. 1. Farb- und Typenvariationen von Obststeigen im auf- und zusammengeklappten Zustand, die beiden mittleren Steigen im mittleren Stapel repräsentieren unterschiedliche Farbklassen

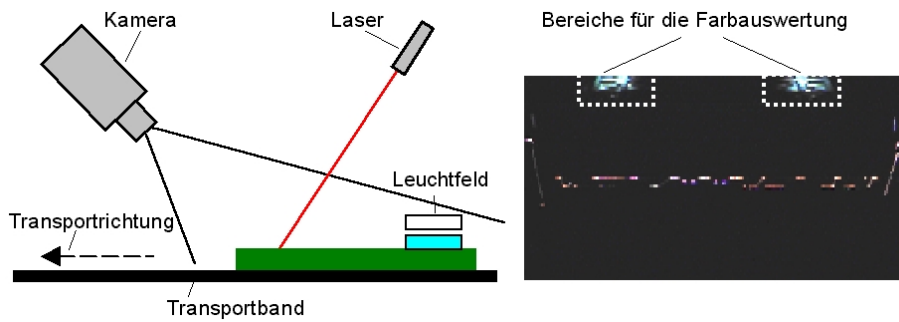


Fig. 2. Anordnung der Komponenten des Erkennungssystems in Relation zum Transportband (links), Sichtfenster der Kamera (rechts)

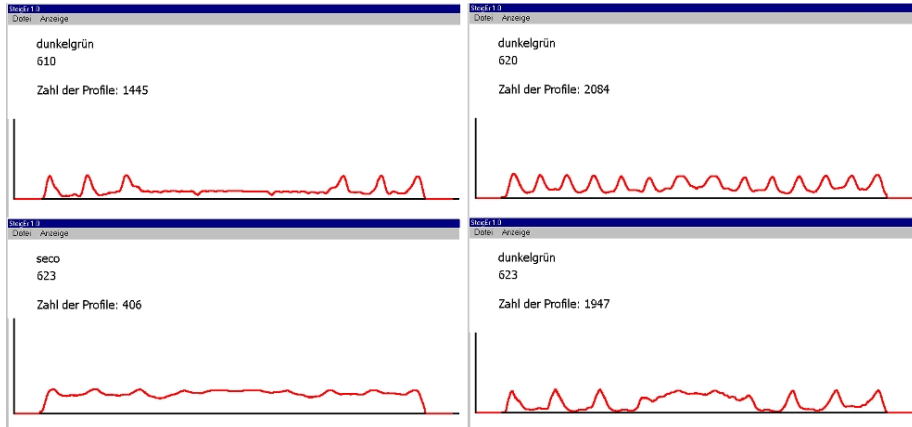


Fig. 3. Profilverläufe erstellt mit der Farbklasse angepassten Parametern (a, links oben; b, rechts oben) und mit der Farbklasse nicht angepassten Parametern (c, links unten); Profilverlauf für c nach erfolgter Farbanpassung der Parameter (d, rechts unten)

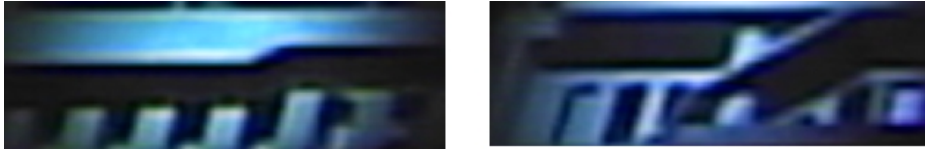


Fig. 4. Beispielpaar zweier Sichtfelder einer Steigenfarbe, die Unterschiedlichkeit der Farbrepräsentation im Kamerabild ist deutlich

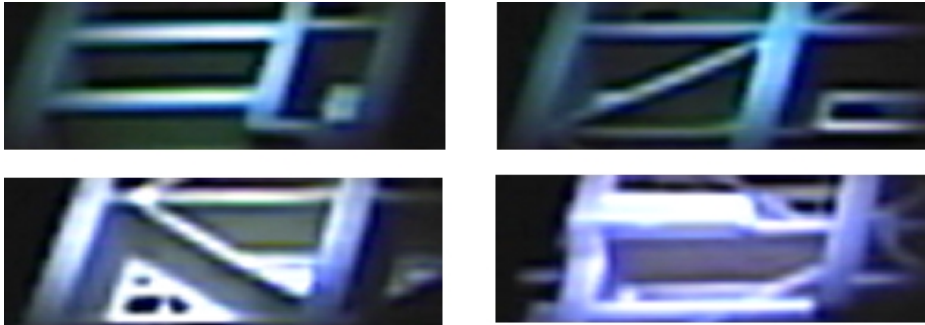


Fig. 5. Erscheinungsbilder unterschiedlicher Steigenfarben, das gleichzeitige Auftreten von Abschattungen und Überstrahlungen ist in einem Bildausschnitt gut sichtbar, dies wird für die Auswertung noch mit dem Effekt der Fig. 4 überlagert

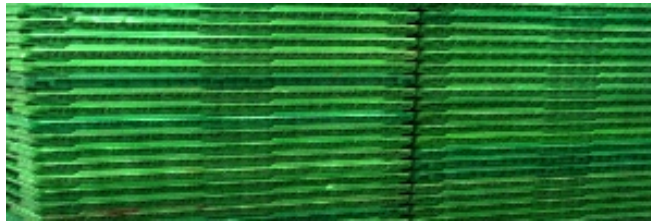


Fig. 6. Beliebig herausgegriffener grüner Stapel mit einer Varianz an Grüntönen (durch Druck ggf. nicht so deutlich erkennbar)

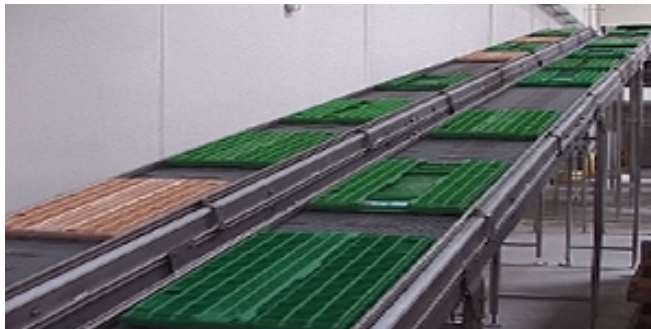


Fig. 7. Zuführungsband im Produktionsprozess