



Bildverarbeitung im industriellen Umfeld von Abfüllanlagen

Alexander Dicks, Christian Wissel, Martyna Bator, Volker Lohweg

Institut für industrielle Informationstechnik (inIT)
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Campusallee 6, 32657 Lemgo
{alexander.dicks, christian.wissel, martyna.bator,
volker.lohweg}@th-owl.de

Zusammenfassung. In der Abfüllindustrie geht der Trend hin zur Selbstdiagnose, Optimierung und Qualitätsüberwachung der Prozesse. Ziel ist es, die Produktionsmengen zu erhöhen und gleichzeitig die Qualität zu steigern. Hierfür sind neue Konzepte in der Abfüll- und Regelungstechnik notwendig. Für diese Konzepte ist eine kontinuierliche Überwachung des Abfüllvorgangs Voraussetzung. In diesem Beitrag werden Algorithmen zur kontinuierlichen Füllprozessbewertung vorgestellt. Auf Basis von Referenzbildern wird die Füll- und Schaumhöhe bestimmt. Des Weiteren wird die Turbulenz der Flüssigkeit bewertet.

1 Motivation

Um im Abfüllprozess von Getränken die Produktionsmenge der abgefüllten Flaschen zu erhöhen, ist es erforderlich, diesen in Bezug auf die Abfüllgeschwindigkeit zu optimieren. Bisherige Abfüllmethoden über die Seitenwand der Flasche bieten hier nur noch geringe Optimierungsmöglichkeiten, weshalb die Abfüllung per Freistrahlfüllen erfolgen muss. Damit dieser Prozess beschleunigt werden kann, sind Regelungsmethoden notwendig, die den Abfüllprozess autonom optimieren können. Grundvoraussetzung für diese Optimierung ist eine kontinuierliche Überwachung des Abfüllprozesses mit geeigneter Sensorik. Neben den üblichen Sensoren wie z.B. Durchfluss- oder Drucksensor, kann die Analyse des Füllprozesses auch mit Hilfe von Bildverarbeitungsmethoden erfolgen. Ein großer Vorteil ist die berührungslose Kontrolle, weil keine Sonden im Medium verwendet werden müssen. Dieses ist im hygienischen Umfeld der Getränketechnologie ein wichtiger Aspekt. Des Weiteren kann die Kamera abseits beweglicher Maschinenelemente angebracht werden und so vor etwaigen Schäden durch Fehlfunktion der Maschine geschützt werden. Die Füllhöhenkontrolle der Flasche nach Beendigung der Füllung im nachgelagerten Prozess oder die vorherige Kontrolle auf Glasbruch haben sich bereits etabliert. Eine kontinuierliche optische Überwachung der Flasche während der Abfüllung ist bisher nicht Stand der Technik im Maschinen- und Anlagenbau. Um den Prozess mit Regelungsmethoden optimieren zu können, sind die Bewertung der aktuellen Füllhöhe, der Schaumhöhe und der Turbulenz notwendig.

Ziel dieses Beitrags ist die Entwicklung von Bildverarbeitungs-Algorithmen zur Analyse und Überwachung von Getränkeabfüllprozessen. Die zu entwickelnden Algorithmen müssen in der Lage sein, die Füllhöhe des abgefüllten Mediums (z.B. Wasser oder Bier) und die Schaumhöhe, die je nach Abfüllmedium entstehen kann, kontinuierlich wiederzugeben. Des Weiteren muss die Turbulenz analysiert werden. Diese kann entstehen, wenn der Füllstrahl zu Beginn der Abfüllung senkrecht mit einem zu großen Durchmesser auf den Boden der Flasche auftritt. Je größer der Durchmesser, desto turbulenter ist die Abfüllung. Dies wiederum hat eine erhöhte Blasenbildung zur Folge. Das kann dazu führen, dass es zu einer großen Schaumbildung kommt und die Flüssigkeit überschäumt.

2 Bildverarbeitungs-Algorithmen zur Analyse von Getränkeabfüllprozessen

Ausgangspunkt dieser Arbeit bilden Durchflussmess-Füllmaschinen, die unter die Kategorie der Volumen-Füllmaschinen fallen. Diese füllen CO₂-haltige Flüssigkeiten in unterschiedliche Behälter wie z.B. Glas- oder Kunststoffflaschen ab. Diese Füllmaschinen verwenden für die Durchflussmessung einen magnetisch-induktiven Durchflussmesser (MID). Hierfür ist eine Mindestleitfähigkeit der Flüssigkeit Voraussetzung [Hes14]. Glasflaschen haben produktionsbedingt eine so hohe Abweichung, dass bei einer Abfüllung mittels Durchflussmess-Füllmaschinen die Füllhöhenunterschiede in der Flasche sichtbar sind. Dieses will der Abfüllbetrieb vermeiden, weshalb die Getränkemenge in Glasflaschen in der Regel über das Nennvolumen von z.B. 0,5 l gefüllt wird, um eine einheitliche Füllhöhe zu erzielen. Deshalb muss auch bei diesen Füllmaschinen eine kontinuierliche Kontrolle der Füllhöhe im Prozess erfolgen.

Im Bereich der Füllstandmessung gibt es eine Vielzahl von Lösungen, um einen optimalen Flüssigkeitspegel zu erreichen. Dabei sind diese Methoden in der Regel für eine spezielle Anwendung ausgelegt, d.h. es gibt z.Z. keine Messmethode, die für alle Anwendungen gleichermaßen geeignet ist. Unterschieden wird zwischen kontinuierlich arbeitenden Verfahren, die den aktuellen Wert eines Flüssigkeitspegels ausgeben oder sogenannten Grenzstandsensoren, die lediglich anzeigen, ob ein bestimmter Flüssigkeitswert über- oder unterschritten wird. Des Weiteren ist für das Messverfahren entscheidend, ob die Methode bzw. der Sensor im direkten Medienkontakt steht. Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Auswahl geeigneter Messverfahren, sind die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten. So können z.B. Viskosität, Leitfähigkeit oder auch Temperatur die Auswertung beeinflussen [Hes14].

Ein in den letzten Jahren aufkommender Trend, ist die Füllstandüberwachung mit Bildverarbeitungs-basierten Verfahren [VDM16]. Auf dem Markt existieren Systeme, die nach der Getränkeabfüllung die Füllhöhe kontrollieren. Die Krones AG bietet den Checkmat [Kro] an. Dieses System ist mit einer Kamera ausgestattet und überprüft die transparenten Glas- und PET-Flaschen (Polyethylenterephthalat) auf Unter- und Überfüllung. Mit dem Innocheck FHC Camera [KHS] bietet die KHS GmbH ein ähnliches Produkt an. Hier wird ebenfalls

nach der Abfüllung die Über- und Unterfüllung der Flasche geprüft. Die Heuft Systemtechnik GmbH bietet mehrere Inspektionssysteme zur Füllhöhenkontrolle an. Beispielfhaft sei hier der HEUFT SPECTRUM II VX [HEU] erwähnt. Bei diesem System erfolgt die Füllhöhenkontrolle aus einer Kombination von Kameratechnik und Hochfrequenzmessung. Die drei vorgestellten Systeme haben die Gemeinsamkeit, dass eine Füllhöhenkontrolle erst nach dem Füllvorgang erfolgt.

2.1 Verfahren zur Bestimmung der Füllhöhe

Während eines Füllprozesses soll die Füllhöhe der Flüssigkeit kontinuierlich ermittelt werden. Hierfür ist es sinnvoll, die Flüssigkeit von dem restlichen Bildinhalt zu trennen. Dafür wird in dieser Arbeit ein Differenzbild verwendet. Zunächst wird ein Referenzbild $\mathbf{I}_R(x, y)$ der Flasche vor der Abfüllung ohne Flüssigkeit aufgenommen (vgl. [Abbildung 1 a\)](#)). Die Indizes x und y stellen die Spalten (Breite, x) und Zeilen (Höhe, y) des Bildes dar. Die Position des Flaschenbodens ist in dem Bild fest vorgegeben, da sich diese Position während der Abfüllung nicht ändert. Während einer Abfüllung werden die aktuellen Bilder $\mathbf{I}_C(x, y)$ (vgl. [Abbildung 1 b\)](#)) kontinuierlich mit einer Abtastfrequenz f_s erfasst. Anschließend wird das Differenzbild $\mathbf{I}_D(x, y)$ ermittelt, indem das aktuelle Bild von dem Referenzbild subtrahiert wird (vgl. Gleichung 1).

$$\mathbf{I}_D(x, y) = \mathbf{I}_R(x, y) - \mathbf{I}_C(x, y) \quad (1)$$

In [Abbildung 1 c\)](#) ist dieses beispielhaft mit sichtbarem Flüssigkeitsspiegel dargestellt. Aufgrund von Lichtreflexionen, die durch die Flüssigkeit hervorgerufen werden, sind im unteren Bereich der Flasche noch Bildinhalte sichtbar. Um diese Bildstörungen weiter zu reduzieren, wird das Differenzbild gefiltert. Hierfür wird eine histogrammbasierte Segmentierung [Jäh12] mit globalem Schwellwert [SR14] vorgeschlagen.

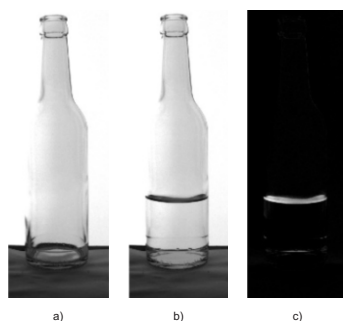


Abb. 1. Visuelle Repräsentation des a) Referenzbildes, des b) aktuellen Bildes und des c) Differenzbildes.

Mit Hilfe der Otsu-Methode [Ots79] wird der globale Schwellwert S_g ermittelt, der als Grenze für die Filterung des Differenzbildes $\mathbf{I}_D(x, y)$ dient. Bei der Otsu-Methode wird die Schwelle gesucht, die die Varianz innerhalb der Klasse (Intra-Klassen-Varianz) minimiert. Die Minimierung der Intra-Klassen-Varianz ist gleichbedeutend mit der Maximierung der klassenübergreifenden (Inter-Klassen-Varianz) Varianz [Ots79]. Alle Grauwerte unterhalb dieses Schwellwerts werden gleich Null gesetzt (vgl. Gleichung 2), um das gefilterte Differenzbild $\mathbf{I}_{DF}(x, y)$ zu erhalten.

$$\mathbf{I}_{DF}(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{für } \mathbf{I}_D(x, y) < S_g \\ \mathbf{I}_D(x, y), & \text{für } \mathbf{I}_D(x, y) \geq S_g \end{cases} \quad (2)$$

In [Abbildung 2](#) ist dieses Verfahren anhand des Differenzbildes aus [Abbildung 1 c\)](#) verdeutlicht. Auf der linken y-Achse und in Blau dargestellt, befindet sich das Histogramm des Bildes. Aufgrund der großen Schwarz-Anteile im Bild, ist das Maximum der Pixelhelligkeiten von 0 bis 24 nicht dargestellt, damit der Rest des Histogramms besser sichtbar ist. Auf der rechten roten y-Achse ist die Inter-Klassen-Varianz dargestellt. Das Maximum für die Inter-Klassen-Varianz liegt bei Eintrag Nr. 78 auf der x-Achse. In diesem Fall würden nun alle Grauwerte im Bild unterhalb von $S_g = 78$ gleich Null gesetzt.

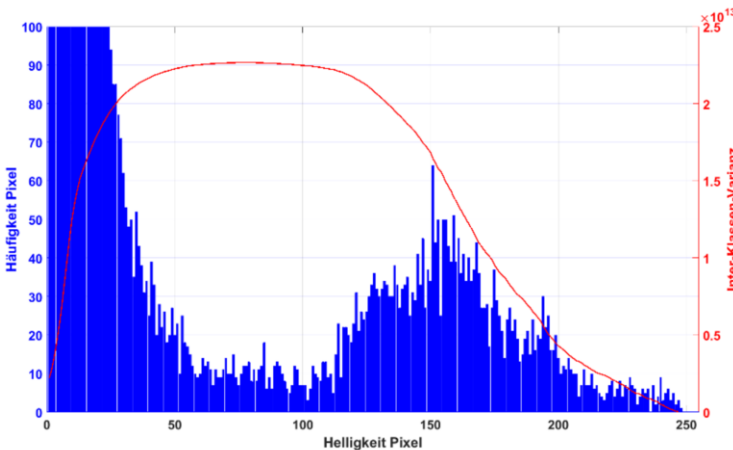


Abb. 2. Veranschaulichung der Methode nach Otsu anhand des Differenzbildes aus [Abbildung 1 c\)](#).

Die Füllhöhenbestimmung aus dem gefilterten Differenzbild $\mathbf{I}_{DF}(x, y)$ erfolgt zunächst über eine horizontale Projektion [Zhu09] der Grauwerte. Hierfür werden die Grauwerte jeder Bildzeile summiert und im Vektor $\mathbf{P}(a)$ zusammengefasst.

Dieser stellt eine eindimensionale Abbildung der Bilddaten dar und ist definiert als:

$$\mathbf{P}(a) = \sum_{y=1}^M \mathbf{I}_{DF}(x, y), \quad 1 \leq x \leq L, \quad 1 \leq y \leq M \quad (3)$$

mit der Anzahl der Spalten M und der Anzahl der Zeilen L des gefilterten Differenzbilds $\mathbf{I}_{DF}(x, y)$. Die horizontale Projektion ist beispielhaft in [Abbildung 3](#) dargestellt. Auf der linken Seite ist die Projektion der Grauwerte des gefilterten Differenzbildes abgebildet und auf der rechten Seite ist das gefilterte Differenzbild zu sehen.

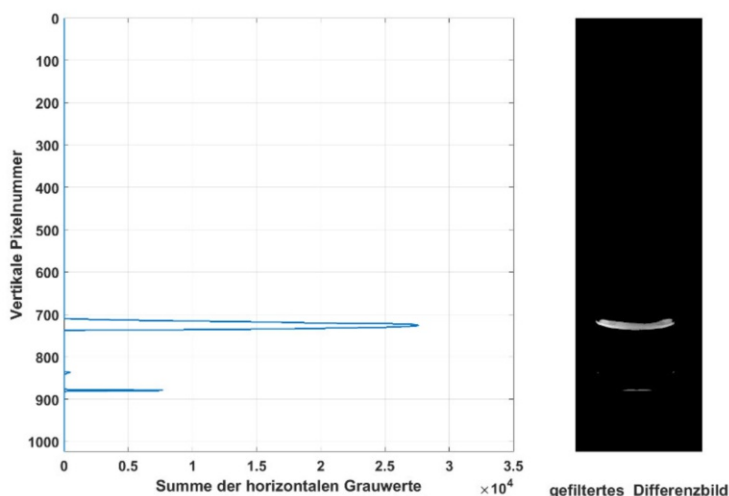


Abb. 3. Gegenüberstellung der horizontalen Projektion $\mathbf{P}(a)$ mit dem gefilterten Differenzbild $\mathbf{I}_{DF}(x, y)$.

Die Position der Füllhöhe F_p wird über das Maximum des Vektors $\mathbf{P}(a)$ bestimmt und ist definiert als:

$$F_p := \max \{ \mathbf{P}(a) \} \quad (4)$$

2.2 Verfahren zur Bestimmung der Schaumhöhe

Für die Bestimmung der Schaumhöhe wird ebenfalls die Methode der horizontalen Projektion aus Kapitel 2.1 Gleichung 3 herangezogen. In [Abbildung 4](#) ist die

horizontale Projektion des gefilterten Differenzbildes einer Abfüllung mit vorhandenem Schaum dargestellt. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass der Schaum sich immer über dem Flüssigkeitsspiegel ansammelt [SLBM17].

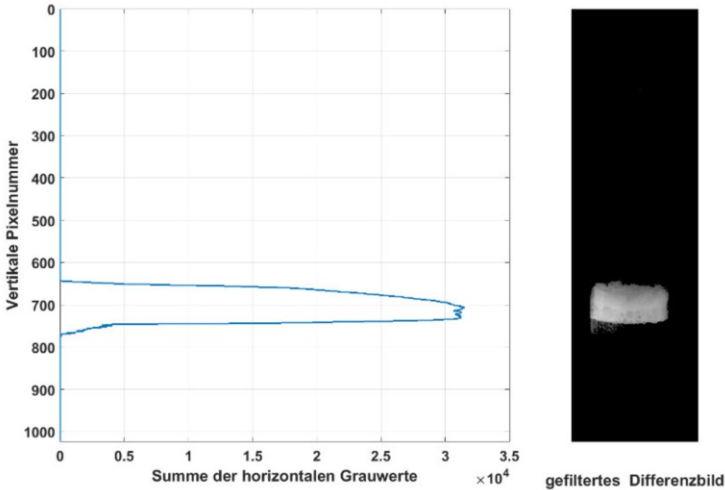


Abb. 4. Gegenüberstellung der horizontalen Projektion mit dem gefilterten Differenzbild mit Schaum.

Es ist zu erkennen, dass das Maximum von $\mathbf{P}(a)$ nicht gleichbedeutend mit der Füllhöhe der Flüssigkeit ist. Das Maximum kann sich in der Mitte des Schaums befinden. Aus diesem Grund werden eine untere Schwelle S_u und eine obere Schwelle S_o für $\mathbf{P}(a)$ eingeführt, mit der sich die Schaumhöhe und dementsprechend auch der Flüssigkeitsspiegel bestimmen lassen. Die Schwellen S_u und S_o sind definiert als:

$$S_u := \max\{\mathbf{P}(a)\} \cdot 0.8 \quad (5)$$

$$S_o := \max\{\mathbf{P}(a)\} \cdot 0.8 \quad (6)$$

Untersuchungen haben ergeben, dass der Faktor 0,8 geeignete Ergebnisse liefert. Die Werte in der horizontalen Projektion, die außerhalb des Schaums liegen, sind geringer als $\mathbf{P}(a) \cdot 0.8$.

Anschließend wird in $\mathbf{P}(a)$ der erste Wert gesucht, der größer oder gleich S_o ist, um das Ende des Schaums zu bestimmen. Pseudocode Algorithm 1 veranschaulicht dies.

Um den Anfang des Schaums zu finden, wird der erste Wert in $\mathbf{P}(a)$ gesucht, der größer oder gleich S_u ist und gleichzeitig der Wert von $\mathbf{P}(a)$ an der Stelle $i+1$

Algorithm 1 Finde Ende Schaum

```

for  $i = 1$  to  $L$  do
  if  $\mathbf{P}(i) \geq S_o$  then
     $F_e = i$ 
    End
  else
    Continue
  end if
end for

```

kleiner als S_u ist. Der gefundene Wert entspricht auch der aktuellen Füllhöhe $F_p = F_a$. Dieses ist im Pseudocode Algorithm 2 dargestellt.

Algorithm 2 Finde Anfang Schaum

```

for  $i = 1$  to  $L$  do
  if  $\mathbf{P}(i) \geq S_u \wedge \mathbf{P}(i)(i + 1) < S_u$  then
     $F_a = i$ 
    End
  else
    Continue
  end if
end for

```

Mit den beiden Variablen F_a und F_e ist nun bekannt, bei welcher vertikalen Pixelnummer der Schaum startet und endet. Um nun eine Längenangabe zu erhalten, muss die Anzahl der Pixel in eine Länge umgerechnet werden. Hierfür wird von der Position des Flaschenbodens F_b die Position der aktuellen Füllhöhe F_a subtrahiert und mit der Punktdichte $ppcm$ [mm/Pixel] multipliziert, um die Füllhöhe F_h in mm zu erhalten.

$$F_h = (F_b - F_a) \cdot ppcm \quad (7)$$

Die Bestimmung der Schaumhöhe erfolgt ähnlich. Die Position F_e , an der der Schaum endet, wird von der Position F_a , an der der Schaum beginnt, subtrahiert. Zum Schluss erfolgt noch die Umrechnung in mm, indem das Ergebnis mit $ppcm$ multipliziert wird.

$$F_s = (F_a - F_e) \cdot ppcm \quad (8)$$

2.3 Verfahren zur Bestimmung der Blasenbildung

Bei der Abfüllung kommt es bei einem zu breiten Füllstrahl und einem zu harten Auftreffen auf dem Flaschenboden zu Turbulenzen und dementsprechend zu einer Blasenbildung. Da sich dieses bei jedem Abfüllvorgang anders verhält, ist es nicht hilfreich auf Referenzbilder von verschiedenen Abfüllungen mit verschiedenen Ausprägungen der Blasenbildung zurückzugreifen. Die Oberfläche der

hochspritzenden Flüssigkeit kann als Textur interpretiert werden. Eine Textur ist die Musterung einer Oberfläche [Jäh12]. Für die Analyse einer Textur haben sich die Haralick'schen Texturmaße [Har79] etabliert. Im vorliegenden Fall eignen sich insbesondere die beiden Texturmaße Energie und Homogenität, denn je höher die Flüssigkeit spritzt, desto inhomogener wird der Bildbereich.

Für die Berechnung der Haralick'schen Texturmaße wird zunächst die Grey-level Co-occurrence Matrix (GLCM, Grauwertübergangsmatrix) [HSD73] berechnet. Die GLCM $\mathbf{G}(i, j)$ beschreibt, wie oft der Grauwert i im definierten Abstand $d = [dx, dy]$ zum Grauwert j innerhalb des Differenzbilds $\mathbf{I}_{DF}(x, y)$ auftritt. Es werden Eigenschaften über die räumliche Verteilung der Graustufen im Texturbild wiedergegeben. $\mathbf{G}(i, j)$ ist definiert als [BPF16]:

$$\mathbf{G}(i, j) = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N \begin{cases} 1, & \text{für } \mathbf{I}_{DF}(x, y) = i \wedge \mathbf{I}_{DF}(x + d_x, y + d_y) = j \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (9)$$

mit $i, j = 0, \dots, N$, wobei N der maximale Grauwert im Bild ist.

Der Abstand zwischen dx und dy kann frei gewählt werden. Meist sind Pixel nicht über große Entfernungen korreliert, daher sind Werte $d = 1$ oder $d = 2$ üblich [JHG99]. Wenn $d = [0, 1]$ gewählt wird, werden direkt nebeneinander liegende Pixel verglichen (direkter rechter Nachbar). Durch die Wahl der Parameter von d wird auch bestimmt, in welchem Winkel die Pixel miteinander verglichen werden. So können z.B., ausgehend vom Pixel-of-Interest (POI), die Winkel 0° , 45° , 90° und 135° gewählt werden.

Für die Berechnung der Haralick'schen Texturmaße muss die GLCM normalisiert werden. Die normalisierte GLCM ist definiert als [Har79]:

$$\mathbf{g}(i, j) := \frac{\mathbf{G}(i, j)}{R} \quad (10)$$

mit der Summe aller Einträge R . Die Summe aller Elemente von $\mathbf{g}(i, j)$ ist 1.

Für die Analyse der Flüssigkeit auf Turbulenz und Blasenbildung unterhalb des Flüssigkeitsspiegels, werden die Haralick'schen Texturmaße Homogenität H und Energie E vorgeschlagen. Ein homogenes Bild hat nur eine geringe Anzahl von verschiedenen benachbarten Grauwerten. Die Homogenität H misst die Verteilung der Elemente in $\mathbf{g}(i, j)$ in Bezug auf die GLCM-Diagonale. Eine Diagonalmatrix ergibt einen Homogenitätswert von 1. Die Homogenität H mit dem Bereich $[0, 1]$ ist definiert als [Har79]:

$$H = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{\mathbf{g}(i, j)}{1 + |i - j|} \quad (11)$$

Die Energie E ist ein weiteres Maß für die Homogenität einer Textur. Eine geringe Anzahl verschiedener benachbarter Grauwerte in einem homogenen Bild führt zu wenigen, aber relativ großen Einträgen in der GLCM. Die GLCM eines inhomogenen Bildes hingegen, enthält aufgrund der größeren Grauwertübergänge, viele Einträge mit kleineren Werten. Die Energie E ist definiert als [Har79]:

$$E = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \mathbf{g}^2(i, j). \quad (12)$$

Die Energie E gibt die Summe der quadrierten Elemente von $\mathbf{g}(i, j)$ zurück und hat einen Bereich von $[0 \ 1]$.

3 Untersuchungen und Ergebnisse

Um die Abfüllung von Getränken durchzuführen, steht eine Testumgebung mit einem Abfüllventil und einem MID zur Verfügung. Für die Bilderfassung wird die Kamera VC nano Z 0015 eingesetzt. Die Kamera hat einen 1/1.8" monochromen CMOS-Sensor mit einer maximalen Auflösung von 1600x1200 Pixel. Bei maximaler Auflösung ist eine Bildrate von 55 Bilder/Sekunde möglich. Des Weiteren verfügt die Kamera über einen Dual-Core ARM-Prozessor (Advanced Reduced Instruction Set Computer Machine) mit integriertem FPGA (Field Programmable Gate Array) und einem internen DDR-SDRAM Speicher (Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory). Damit ist es möglich, die Bildaufnahmen direkt auf der Kamera zu speichern oder diese dort zu verarbeiten. Als Objektiv wird ein Tamron M118FM06 mit einer Brennweite von 6mm eingesetzt. Dieses ermöglicht eine Abbildung im Nahbereich [Ste16].

Als Methode der Beleuchtung wird das Durchlicht-Verfahren verwendet. Hiermit ist es möglich, Bauteile oder in diesem Fall die Füll- und Schaumhöhe präzise zu vermessen [Sac17]. Hierbei ist die Beleuchtung hinter der Flasche und gegenüberliegend der Kamera angeordnet. So befindet sich die Flasche im Lichtstrahlengang der Beleuchtung. Durch diese Beleuchtungsmethode ist die Flasche nur noch als Schattenriss erkennbar und die einfließende Flüssigkeit hebt sich deutlich hervor. Durch die starke Lichtquelle ist die Testumgebung relativ unempfindlich gegenüber Fremdlicht (Störlicht) [Sac17]. Als Lichtquelle wird das LED-Panel VT-6137 verwendet. Dieses hat eine Farbtemperatur von 4000 Kelvin (Neutralweiß) und einen Lichtstrom von 4320 Lumen.

3.1 Ergebnisse der Füllhöhenbestimmung

Zunächst wird die Füllhöhenbestimmung einer Abfüllung einer 0,5 l PET-Flasche betrachtet. Hierzu wird von jeder Bildaufnahme die Füllhöhe bestimmt. Um die Füllhöhen auf ihre Richtigkeit zu überprüfen, ist an der errechneten Pixelposition eine rote Linie eingezeichnet (vgl. [Abbildung 5](#)). Aus [Abbildung 5 a](#)) geht hervor, dass sich bei dem ersten Aufschlag des Flüssigkeitsstrahls auf dem Boden kein eindeutiger Flüssigkeitsspiegel bildet. Dementsprechend ergibt sich die Füllhöhe nicht am oberen Rand der Flüssigkeit, sondern dort, wo die meiste Flüssigkeit vorhanden ist. Für die Bilder b) bis d) befindet sich die rote Linie immer auf der Höhe des Flüssigkeitsspiegels und damit am oberen Ende der Flüssigkeit. Im Bild b) sind noch ein paar Luftblasen über der roten Linie sichtbar. In diesem

Beispiel konnte für die Bilder immer die korrekte Position der Füllhöhe gefunden werden.

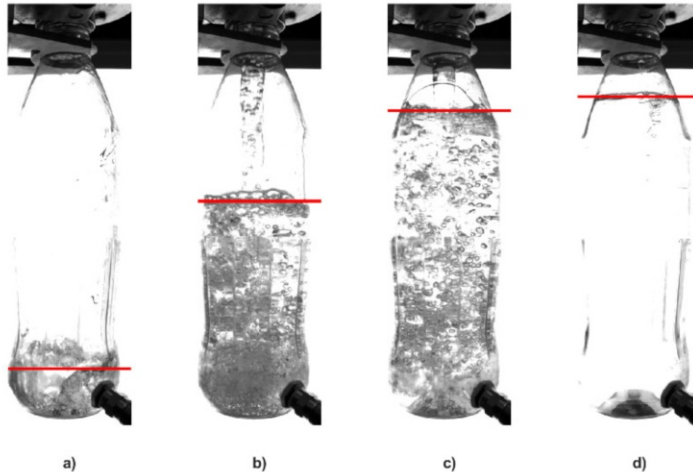


Abb. 5. Abfüllung mit einem Füllventil und eingezeichneten Füllhöhen an der berechneten Pixelposition.

3.2 Ergebnisse der Schaumhöhenbestimmung

Als nächstes wird die Schaumhöhenbestimmung bei einer Abfüllung einer 1,5 l PET-Flasche untersucht. Hier wurde eine geringe Menge Spülmittel in die Flasche eingebracht, um den Schaum zu erzeugen. Die 1,5 l Flasche wurde gegenüber der 0,5l Flasche verwendet, um mehr Platz für die Schaumbildung in der Flasche zu ermöglichen. Des Weiteren ist es mit dieser Flasche möglich, eine größere Turbulenz bzw. Blasenbildung zu erzeugen, da die Fallhöhe für den Füllstrahl größer ist. Von dieser Abfüllung werden vier Aufnahmen a) bis d) verwendet, um die Ergebnisse Schaumhöhenbestimmung darzustellen (vgl. [Abbildung 6](#)). Der Schaumanfang und das Schaumende sind jeweils mit einer roten Linie markiert, die die Pixelposition der berechneten Schaumhöhen angibt.

In [Abbildung 6 a\)](#) ist ein starkes Hochspritzen der Flüssigkeit nachdem Aufprall des Flüssigkeitsstrahls auf dem Flaschenboden sichtbar. Ein eindeutiger Flüssigkeitsspiegel ist nicht erkennbar. Dieses spiegelt sich auch in der Berechnung der Füll- bzw. Schaumhöhe wieder. Der Schaumanfang und das Schaumende liegen auf der selben Position, weshalb in a) nur eine rote Linie sichtbar ist.

In b) ergibt sich bei der Abfüllung eine sehr starke Turbulenz der Flüssigkeit. Aus dem Bild ist ersichtlich, dass sich hier kein Schaum erkennen lässt. An dieser Stelle werden die Grenzen des Schaums nicht korrekt wiedergegeben. Dieses

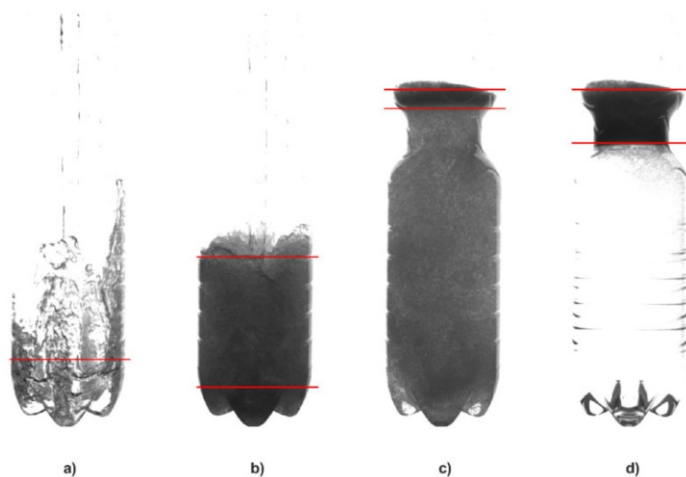


Abb. 6. Abfüllung a) bis d) im Füllventil mit den eingezeichneten Pixelpositionen der Schaumbildung.

liegt an der hohen Turbulenz, da sich in der Flüssigkeit keine klaren Grenzen abzeichnen.

Wenn eine Schaumbildung erkennbar ist, wird die Schaumhöhe korrekt erkannt (vgl. [Abbildung 6c](#)). Zwar ist hier noch eine starke Blasenbildung sichtbar, der Schaum ist aber deutlich dunkler oberhalb der Flüssigkeit abgesetzt. Ist der Füllvorgang abgeschlossen (vgl. [Abbildung 6d](#)), ist der Schaum deutlich sichtbar. Die untere und obere Schaumgrenze werden hier korrekt wiedergegeben. Oberhalb der beiden roten Linien in [Abbildung 6 c](#)) und [d](#)) sind leichte Schaumanteile sichtbar. Da sich die obere Schaumkante nicht als waagerechte Linie ausbildet, wird hier die Position gefunden, bei der der Schaum als erstes eine vollständige Schicht über die gesamte Flaschenbreite gebildet hat.

3.3 Ergebnisse der Beurteilung der Turbulenz

Für die Analyse der Algorithmen zur Beurteilung der Turbulenz werden die Bilder aus [Abbildung 5 a](#)) bis [d](#)) verwendet. Für jedes Bild wird die Homogenität (vgl. Gleichung 11) und die Energie (vgl. Gleichung 12) des Bildausschnitts vom Flaschenboden bis zur Füllhöhe berechnet. Ein Wert bei nahe 0 gibt eine starke Turbulenz wieder. Ist der Wert dagegen bei 1, ist keine Turbulenz vorhanden.

Die Ergebnisse für die vier Bilder sind in [Tabelle 1](#) dargestellt. Für die Bilder [a](#)) bis [c](#)) ergeben sich Homogenitätswerte im Bereich zwischen 0,52 und 0,63. Für die Energie sind bei den Bildern [a](#)) bis [c](#)) die Unterschiede größer. Es ergeben sich Werte zwischen 0,16 und 0,31. Aus der [Tabelle](#) ist zu entnehmen, dass das Bild [b](#)) in beiden Fällen den geringsten Wert aufweist. Das bedeutet, dass in [b](#)) die größte Turbulenz der vier Bilder vorhanden ist. Dieses spiegelt sich auch

optisch in dem Bild wieder. Bild d) weist keine Turbulenz auf, dementsprechend liegen die Werte für Homogenität und Energie bei 0,97 bzw. 0,94.

Tabelle 1. Ergebnis der Homogenität und Energie der gefilterten Differenzbilder von [Abbildung 5 a\)](#) bis d)

Bild	5 a)	5 b)	5 c)	5 d)
Homogenität	0,60	0,52	0,63	0,97
Energie	0,25	0,16	0,31	0,94

Die Homogenität und die Energie für den gesamten Füllvorgang sind in [Abbildung 7](#) dargestellt. Hierbei wurden 10 Bilder während des Füllvorgangs aufgenommen. Die Homogenität (blau) und die Energie (rot) zeigen ein ähnliches Verhalten. Wenn der Homogenitätswert ansteigt, steigt auch die Energie. Es zeigt sich für die Energie eine Spannweite der Werte von $\approx 0,8$. Wohingegen die Homogenität eine Spannweite von $\approx 0,5$ hat. Dieses lässt auf eine höhere Empfindlichkeit der Energie schließen.

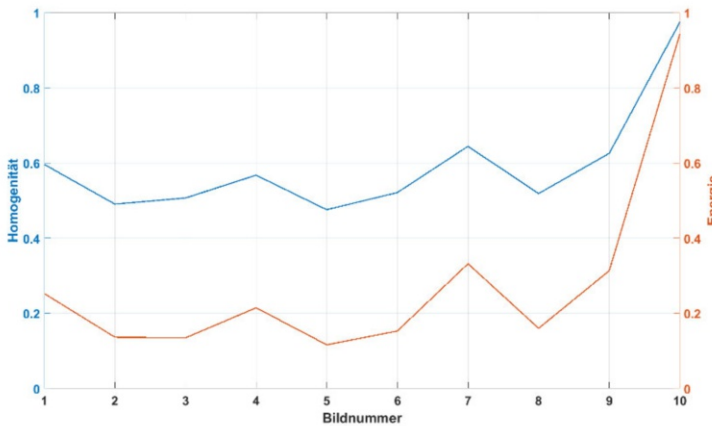


Abb. 7. Die Homogenität (blau) und die Energie (rot) der gesamten Abfüllung aus dem Beispiel von [Abbildung 5](#).

Beide Texturmaße eignen sich für die Beurteilung der Blasenbildung. Aufgrund der höheren Empfindlichkeit wird die Energie der Homogenität vorgezogen

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag werden Algorithmen zur Beurteilung der Füll- und Schaumhöhe in Getränkeabfüllprozessen vorgestellt. Des Weiteren wird untersucht, mit welchen Merkmalen die Turbulenz der Flüssigkeit beschrieben werden kann.

Für die Berechnung der Füllhöhe ist ein Verfahren vorgeschlagen, welches auf einem Differenzbild basiert. Dieses wird aus dem Referenzbild einer nicht gefüllten Flasche und einem aktuellen Bild des Füllprozesses erstellt. Hierdurch bleibt im Bild nur noch die Flüssigkeit sichtbar. Um die Position des Flüssigkeitsspiegels zu bestimmen, wird die horizontale Projektion des Differenzbildes bestimmt. Hierzu werden alle Grauwerte jeder einzelnen Bildzeile aufsummiert. Mit Hilfe der horizontalen Projektion lässt sich die Position des Flüssigkeitsspiegels bestimmen. Diese Position in Bezug zum Flaschenboden, kann mit der Punktdichte in eine Höhenangabe umgerechnet werden.

Je nach abgefülltem Medium kann während des Füllvorgangs Schaum entstehen, wenn der Füllstrahl zu Beginn einen großen Durchmesser hat. Um die Schaumhöhe zu messen, wird ebenfalls auf die horizontale Projektion eines Differenzbildes zurückgegriffen. Hiermit werden die Position des Schaumanfangs und des Schaumendes bestimmt. Auch hier erfolgt die Umrechnung in eine Höhenangabe mit Hilfe der Punktdichte.

Die Blasenbildung, die aufgrund von Turbulenzen während der Abfüllung entsteht, wird mit Hilfe der Haralick'schen Texturmaße Homogenität und Energie beurteilt. Hierzu wird zunächst der Ausschnitt aus dem Differenzbild gewählt, der sich zwischen aktueller Füllhöhe und Flaschenboden befindet. Von diesem Bildausschnitt wird die Grey-level Co-occurrence Matrix (GLCM) berechnet. Anschließend wird die GLCM normiert, um folgend die Homogenität und Energie zu berechnen.

Die Position des Flüssigkeitsspiegels konnte bei den durchgeführten Versuchen korrekt bestimmt werden. Die Positionen des Schaumanfangs und des Schaumendes werden bei den durchgeführten Versuchen korrekt bestimmt. Einschränkungen gibt es hier bei zu turbulenten Phasen während des Füllvorgangs. Dann lässt sich der Schaum nicht von der Flüssigkeit unterscheiden und es kommt zu falschen Höhenangaben. Die Beurteilung der Turbulenz mit den Haralick'schen Texturmaße Homogenität und Energie liefert nachvollziehbare Ergebnisse. Es zeigt sich, dass beide Merkmale einen Wert nahe der 1 annehmen, wenn keine Turbulenz vorhanden ist. Steigen Blasen in der Flüssigkeit auf, verringern sich diese Werte. Die Untersuchungen mit unterschiedlich großer Blasenbildung zeigen eine höhere Empfindlichkeit bei der Energie.

Die vorgestellten Algorithmen liefern gute Ergebnisse. Trotzdem lassen sich diese Ergebnisse nicht verallgemeinern, da bei den abzufüllenden Medien eine große Variantenvielfalt herrscht. Hier muss näher untersucht werden, wie sich die Algorithmen bei unterschiedlichen Flüssigkeiten wie z.B. Bier, Saft, Limonade, etc. verhalten. Da es bei Abfüllanlagen auch zum Wechsel von z.B. Apfelsaft zu Orangensaft kommen kann, sollte so ein Mediumwechsel ebenfalls untersucht werden.

Des Weiteren gibt es bei den Getränkeherstellern den Trend zur individualisierten Flasche. Früher gab es z.B. bei den Bierflaschen nur eine geringe Anzahl an unterschiedlichen Flaschen. Mittlerweile prägen viele große Brauereien ihr eigenes Relief auf die Flaschen [Sue]. Hierbei sollte untersucht werden, welchen Einfluss die Reliefs auf die Algorithmen und hier im besonderen auf die Bildung des Differenzbildes haben.

Neben diesen weiterführenden Untersuchungen sollte auch das beschriebene Problem mit der Schaumhöhenbestimmung bei zu großen Turbulenzen untersucht werden. Des Weiteren wäre es sinnvoll, die Algorithmen an einer Anlage eines Abfüllbetriebs zu testen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde teilweise durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projekts DnSPro gefördert, Förderkennzeichen: 16ES0391.

Literatur

- [BPF16] Jürgen Beyerer, Fernando Puente León und Christian Frese. *Automatische Sichtprüfung: Grundlagen, Methoden und Praxis der Bildgewinnung und Bildauswertung*. Springer Berlin and Springer Vieweg, Berlin, 2., erw. u. verb. Aufl. 2016. Auflage, 2016.
- [Har79] R. M. Haralick. Statistical and structural approaches to texture. *Proceedings of the IEEE*, 67(5):786–804, 1979.
- [Hes14] Stefan Hesse. *Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation: Funktion - Ausführung - Anwendung*. Morgan Kaufmann, 2014.
- [HEU] HEUFT SYSTEMTECHNIK GmbH. HEUFT SPECTRUM II VX. <https://heuft.com/de/produkte/beerage/vollgut/fuellmanagement-heuft-spectrum-ii-vx>, zuletzt geprüft am 09.07.2018.
- [HSD73] Robert M. Haralick, K. Shanmugam und Its'Hak Dinstein. Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3(6):610–621, 1973.
- [Jäh12] Bernd Jähne. *Digitale Bildverarbeitung und Bildgewinnung: Und Bildgewinnung*. Springer Vieweg, Berlin u.a., 7., neu bearb. Aufl., Auflage, 2012.
- [JHG99] Bernd Jähne, Horst Hauecker und Peter Geiler. *Handbook of computer vision and applications: Volume 2: Signal Processing and Pattern Recognition*. Academic Press, San Diego, 1999.
- [KHS] KHS GmbH. Innocheck FHC Camera. <https://www.khs.com/produkte/detail/fuellstandskontrolle-innocheck-fhc/>, zuletzt geprüft am 09.07.2018.
- [Kro] Kronos AG. Checkmat Kontrollsysteme für Füller und Verschleißer. https://www.kronos.com/media/downloads/checkmat_fueller_de.pdf, zuletzt geprüft am 09.07.2018.
- [Ots79] Nobuyuki Otsu. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1):62–66, 1979.

- [Sac17] Michael Sackewitz, Hrsg. *Handbuch zur industriellen Bildverarbeitung: Qualitätssicherung in der Praxis*. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 3., vollst. überarb. und akt. auflage. Auflage, 2017.
- [SLBM17] E. Salerno, P. Levoni, G. S. Barozzi und A. Malfatto. Foam evolution in a processed liquid solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 796, 2017.
- [SR14] Herbert Süße und Erik Rodner. *Bildverarbeitung und Objekterkennung: Computer Vision in Industrie und Medizin*. Lehrbuch. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, aufl. 2014. Auflage, 2014.
- [Ste16] Stemmer Imaging. *Das Handbuch der Bildverarbeitung*. Stemmer Imaging, Puchheim, 2016.
- [Sue] Sueddeutsche Zeitung. Bierflaschen: Die Verpackung wird zum Problem. <https://www.sueddeutsche.de/stil/bier-die-verpackung-macht-den-unterschied-1.3181237>, zuletzt geprüft am 07.08.2018.
- [VDM16] VDMA Fachabteilung Industrielle Bildverarbeitung. *Industrielle Bildverarbeitung 2017/18: Schlüsseltechnologie für die Automatisierung*. VDMA Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 2016. https://ibv.vdma.org/documents/256550/13380407/IBV_Dt_2017_LR.pdf/761434f2-0791-4df6-ad1c-a22956f7671a, zuletzt geprüft am 07.08.2018.
- [Zhu09] Huasheng Zhu. New Algorithm of Liquid Level of Infusion Bottle Based on Image Processing. In *International Conference on Information Engineering and Computer Science*, Seiten 1–4, 2009.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

