

## Entwicklung eines Echtzeit-sensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten

Development of a Real-time Sensor for Determination of Starch Content in Potato Tubers as a Functional Part of an Opto-electronic Sorting Device

Gefördert vom:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Mit Unterstützung durch:



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH



**Bornimer Agrartechnische Berichte**

Heft 51

Potsdam-Bornim 2005

# **Entwicklung eines Echtzeit- sensors für die Stärke- bestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten**

Development of a Real-time Sensor  
for Determination of Starch Content  
in Potato Tubers as a Functional Part  
of an Opto-electronic Sorting Device

Gefördert vom:



Mit Unterstützung durch:



---

Bornimer Agrartechnische Berichte

Heft 51

Potsdam-Bornim 2005

**Herausgeber:**

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam

 0331 5699-0  
Fax 0331 5699-849  
E-Mail [atb@atb-potsdam.de](mailto:atb@atb-potsdam.de)  
Internet [www.atb-potsdam.de](http://www.atb-potsdam.de)

**Bearbeiter des ATB:**

Dr. rer. agr. Thomas Hoffmann  
Dr. agr. Gerhard Wormanns  
Dipl.-Ing. Andre Jacobs  
HS-Mathem. Ingolf-Gerrit Richter

Die Bearbeitung erfolgte im Rahmen des Förderprogramms "Forschung für die Umwelt" zum Thema

**Agrartechnik - Integrierter Umweltschutz in der Landwirtschaft**

„Verbesserung der Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktionsverfahren durch Entwicklung innovativer Sensorik und Gestaltung der Produktionsprozesse im Sinne eines integrierten Umweltschutzes“

**Projektpartner:**

**Kooperationspartner SELECT®**  
Joachim Poller

**Typographische Gestaltung:**

Christine Bronowski

November 2005

Herausgegeben vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) mit Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und Unterstützung des Projektträgers des BMBF, Forschungszentrum Jülich GmbH (PTJ).  
BMBF-FKZ: 0339992 Teilprojekt 10 (5572)

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

Eine Weiterveröffentlichung von Teilen ist unter Quellenangabe und mit Zustimmung des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. möglich.

ISSN 0947-7314

© Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam-Bornim 2005

## Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung .....	5
	Abstract .....	6
<b>1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Stand von Wissenschaft und Technik .....</b>	<b>8</b>
2.1	Bestimmung des Stärkegehaltes über die Knollendichte .....	8
2.2	Bestimmung des Stärkegehaltes über spektrale Messungen .....	9
<b>3</b>	<b>Zielstellung .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Ermittlung des Stärkegehaltes über die Knollendichte .....</b>	<b>11</b>
4.1	Auswahl des Messverfahrens .....	11
4.2	Dynamisches Wiegen von Einzelknollen .....	14
4.3	Algorithmus zur Signalauswertung .....	16
4.4	Aufbau der Wägelinie .....	17
4.4.1	Anforderungen an die Wägelinie .....	17
4.4.2	Zuführung der Knollen auf die Waage .....	17
4.4.3	Mechanische Vereinzelung der Knollen .....	20
4.4.4	Konzept der Gesamtanlage .....	22
4.4.5	Auswahl der Vorzugsvariante für die Gesamtanlage .....	34
<b>5</b>	<b>Weiterführende Untersuchungen zur Massebestimmung .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Bestimmung des Stärkegehaltes über spektrale Messungen .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerung .....</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses .....</b>	<b>41</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>43</b>
	Abkürzungsverzeichnis .....	46
	Bilderverzeichnis .....	47
	Tabellenverzeichnis .....	48
	Reihe Bornimer Agrartechnische Berichte .....	49



## Entwicklung eines Echtzeitsensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten

### Kurzfassung

Die Stärkegehalte von Kartoffelknollen einer Warenpartie können in einem weiten Bereich streuen. Mit dem Stärkegehalt ändern sich oftmals die Kocheigenschaften der Knollen. Um bei der Frischkartoffelaufbereitung oder der Veredlung eine gleichbleibende Produktqualität erzielen zu können, müssen die Kartoffeln nach ihrem Stärkegehalt klassiert und getrennt verarbeitet werden.

Die in der Praxis vorherrschende Methode zur Dichtebestimmung durch Tauchen der Knollen in Solbäder oder Dispersionen belastet die Umwelt und ist nicht mehr zeitgemäß.

Ziel des Projektes war die online - Stärkebestimmung von Einzelknollen als Voraussetzung für das Klassieren eines Kartoffelstroms in 3 Stärkeklassen. Zur Stärkebestimmung sind zwei Wege untersucht worden:

- Bestimmen der Knollendichte durch eine neuartige Verknüpfung von optoelektronisch ermitteltem Volumen und dynamischem Wiegen der Einzelknollen.
- Spektrale Messung des Stärkegehaltes oder geeigneter Hilfsgrößen mit Hilfe von nah-infrarotem (NIR) Licht.

Beim ersten Lösungsweg wird der Stärkegehalt aus der Knollendichte berechnet. Um die Dichte der Knollen ermitteln zu können, wurde vom ATB ein Verfahren zur dynamischen Massebestimmung der Einzelknollen und vom Kooperationspartner SELECT® ein Verfahren für die Volumenmessung entwickelt.

Zur dynamischen Wägung der Knollen wurde eine Bandwaage der Firma WIPOTEC eingesetzt. Zum Wiegen der unruhig liegenden Knollen innerhalb des zulässigen Fehlerbereiches war ein spezieller Auswertalgorithmus zu programmieren. Durch Anpassen von Baugruppen für die Vereinzelnung der Knollen sowie für die Zu- und Abführung konnten mit einer Wägelinie 4 -5 Knollen pro Sekunde gewogen werden.

Um höhere Stückzahlen erreichen zu können, sind Konzepte für den parallelen Einsatz mehrerer Wägelinien erarbeitet und im Versuchslabor erprobt worden.

Für die Volumenbestimmung entwickelte die Firma SELECT® einen ihrer optoelektronischer Verleseautomat weiter. Dieses System arbeitet mit vier Kameras, die gegenüberliegend in einem ringförmigen Gehäuse angeordnet sind und die Knollen beim Hindurchfallen vermessen.

Beim zweiten Lösungsweg wurde mit Hilfe spektraler Messungen versucht, den Stärkegehalt über die Absorption eines Laserstrahls zu bestimmen. Diese Untersuchungen führten auf Grund der unerwartet starken Absorption der Knollen nicht zum Erfolg.

## Abstract

The starch content in potatoes varies widely, even between individual tubers of the same batch. It has a major influence on the cooking and processing properties of potatoes.

The only known large-scale technical procedure for non-destructive classification of potatoes on the basis of their starch content is to place the potatoes in salt baths or similar solutions and dispersions. Without subsequent cleaning, the tubers dipped in the salt bath can then only be kept for a limited time. Keeping the solution density constant presents technical problems, since the potatoes can introduce admixtures of varying density and retained water into the solution.

The objective of the project is to develop a measurement system for non-destructive starch determination in potatoes.

Two methods were tested:

- The starch content of the tubers is calculated from their density.
- The starch content is calculated on the bases of a spectral analysis.

To determine the density, the mass (weight) of tubers is determined dynamically with a belt balance, and the volume is determined dynamically by an opto-electronic sorter from the project partner SELECT® company.

Taking into account the admissible measuring error of the tuber mass, a belt balance from the firm WIPOTEC (Kaiserslautern, Germany) with a weighing cell TYPE WZ 5000 was selected to determine the mass of individual tubers. In measuring rows with different potato tubers, it was shown that the standard attenuating functions of the conveyor balance are not sufficient to allow the weighing system to come to a stable final value very quickly. The measurements could not be reproduced. For this reason a new algorithm was developed to evaluate the signal. Currently, 4 - 5 tubers per second can be weighed.

The errors occurring in mass and volume determination allow the product flow to be divided into three starch classes, each with a class width of 6 %.

For cost-effective operation of the entire installation, several weighing devices should be arranged in parallel upstream of the opto-electronic sorter.

The investigations about the spectral analysis were not successful. The light absorption of the potato tissue was very high.

## 1 Einführung

Die Kartoffel ist ein zunehmend wieder geschätztes Grundnahrungsmittel mit hervorragenden ernährungsphysiologischen Eigenschaften. Bewertet man Lebensmittel nach der Anzahl der in ihnen in ausreichender Konzentration enthaltenen Nährstoffe, befindet

sich die Kartoffel neben einigen Gemüsearten wie Tomaten, Spinat und Möhren sowie Geflügel und Magermilch in der hochwertigsten von insgesamt drei Qualitätsstufen (ULBRICHT, 1998). Immer mehr Kartoffeln werden auch in veredelter Form als Nassprodukte (geschälte frische Kartoffeln, gegarte Kartoffelscheiben) oder als Frittier- und Trockenprodukte (Chips, Pommes frites, Sticks u.a.) den Verbrauchern angeboten. Die technologische Eignung der Kartoffeln und damit ihre Produktqualität ist wesentlich durch ihren Stärkegehalt bestimmt. Auf Grund der biologischen Variabilität können Kartoffelknollen der gleichen Warenpartie Stärkegehalte zwischen 8 % und 25 % aufweisen. Diese Streubreite ist bereits bei Knollen anzutreffen, die von der gleichen oder von unmittelbar nebeneinander gewachsenen Stauden stammen. Mit dem Stärkegehalt variiert je nach Sorte das Aufplatzverhalten, die Stabilität und das Bruchverhalten sowie die Konsistenz der gegarten Knollen. Um bei der Frischkartoffelaufbereitung oder der Veredlung eine gleichbleibende Produktqualität erzielen zu können, müssen die Kartoffeln nach ihrem Stärkegehalt klassiert und getrennt verarbeitet werden.

Nur wenige Unternehmen trennen bisher ihre Kartoffeln vor der Verarbeitung nach dem Stärkegehalt. Die Stärketrennung ist aus physikalischer Sicht eine Trennung nach der Dichte. Je höher der Stärkegehalt der Knolle ist, umso höher ist auch deren Dichte. Die großtechnische Dichtentrennung erfolgt durch Tauchen der Knollen in Solbäder oder Dispersionen, deren Dichten so gewählt sind, dass der abzuschöpfende Teil der Kartoffeln sinkt, bzw. nicht absinkt.

Wesentliche Nachteile eines solchen Verfahrens sind:

- Ein besteht ein hoher Aufwand, um eine gleichbleibende Dichte des Bades zu sichern. Erforderlich ist eine ständige Kontrolle und Nachbesserung der Lösungsdichte wegen der Haftwasserverluste und den Verschmutzungen.
- Die Knollen haben eine stark eingeschränkte Lagereignung. Die Verwertung der im Solbad abgetrennten Kartoffeln muss sofort erfolgen, anderenfalls ist mit Totalverlust zu rechnen.

Diese Nachteile sollen umgangen werden, indem die Stärkegehalte der Einzelknollen eines vereinzelt Gutstromes mit Hilfe eines Sensors bestimmt werden. Die einzelnen Fraktionen sind danach normal lagerfähig und für spezielle Verwertungsrichtungen verlustarm einsetzbar. Auch hohlherzige und glasige Kartoffeln sollen aus dem Gutstrom abgesondert werden.

Der gesamte Einzelhandel ließe sich erstmalig mit Speisekartoffeln versorgen, bei denen für jede Einzelpartie die spezielle Verwertungseignung (Salzkartoffeln, Pellkartoffeln, Scheiben für Kartoffelsalat u.a.) auch zugesichert werden könnte.

Die unmittelbare Verwertung der Ergebnisse erfolgt durch Übernahme in die Serienproduktion des am Vorhaben beteiligten Industriepartners SELECT®. Der Stärke-Sensor ist so in einen optoelektronischen Verleseautomaten einzuordnen, dass aus dem Kartoffelstrom künftig nicht nur Kartoffeln mit Schadanteilen (Fäule, Grünfärbung, Beschädigungen u.a.) ausgesondert werden, sondern dieser Kartoffelstrom auch nach dem Stärkegehalt der Einzelknollen klassiert werden kann.

## 2 Stand von Wissenschaft und Technik

### 2.1 Bestimmung des Stärkegehaltes über die Knollendichte

Die zerstörungsfreie Dichtebestimmung bei Kartoffeln erfolgt nach dem Archimedesprinzip durch Wägung der Knolle über und in Wasser. Dieses Verfahren wird als Unterwassergewichtsbestimmung (PUTZ, 1989; MUNZERT et al.; 1987) bezeichnet. Zur Vereinfachung des Wägevorganges sind spezielle Waagen mit zum Teil elektronischer Messwertauswertung entwickelt worden (PUTZ, 1989; MUNZERT et al., 1987; TAI et al., 1985). Zur Berechnung des Stärkegehaltes aus dem Dichtewert sind in Abhängigkeit von den untersuchten Kartoffelsorten mehrere Gleichungen aufgestellt worden (Übersicht in SAMOTUS et al., 1986; MUNZERT et al., 1987).

In Mitteleuropa ist zur Harmonisierung von Handelsbeziehungen eine so genannte EU-Stärkewerttabelle aufgestellt worden (anonym, 1995), in der zu einem bestimmten Unterwassergewicht ein Stärkegehalt zugeordnet ist. Auf der Grundlage dieses Tabellenwerkes haben MUNZERT et al. (1987) mit Hilfe einer Regressionsgleichung (1) einen mathematischen Zusammenhang zwischen Knollendichte und Stärkegehalt hergestellt.

$$g_{St} = 216,61996 \cdot \frac{m}{V} - 219,812 \quad (1)$$

mit:

m	Masse	[g]
V	Volumen	[cm <sup>3</sup> ]
$g_{St}$	Gehalt an Stärke [%]	

Ein Klassieren der Kartoffeln im Anschluss an die Unterwassergewichtsbestimmung nach dem Stärkegehalt ist prinzipiell möglich, auf Grund des Zeitaufwandes großtechnisch jedoch nicht sinnvoll umsetzbar.

Einzig bekanntes großtechnisches Verfahren für das zerstörungsfreie Klassieren der Kartoffeln nach ihrem Stärkegehalt ist das Einbringen der Kartoffeln in Salzbäder oder ähnliche Lösungen sowie Dispersionen. Genutzt wird der Trenneffekt, der durch das Einsinken von Kartoffeln höherer Dichte und damit höherer Stärkekonzentration in Lösungen geringerer Dichte entsteht.

Nachteilig bei einem solchen Verfahren mittels unterschiedlich konzentrierter Salzlösungen ist die stark herabgesetzte Haltbarkeit der Kartoffeln, der erhöhte Wasserbedarf für das anschließende Reinigen der Kartoffeln vor ihrer Verwertung, die Abwasserbelastung durch die Lösungen selbst und das Reinigungswasser.

Es ist technisch problematisch, die Lösungsdichte konstant zu halten, weil die Kartoffeln Beimengungen unterschiedlicher Dichte sowie Haftwasser in die Lösung mit einbringen können.

MEREDITH (1989) untersuchte eingehend die Größe und die Form von Kartoffelknollen, um mit Hilfe von geometrischen Abmessungen und deren Verhältnisse Kennzahlen zur Charakterisierung der sortentypischen Knollenform zu erhalten. In Weiterführung dieser Arbeit hält MEREDITH (2002) es für möglich, aus den gewonnenen Daten das Volumen

zu berechnen und zusammen mit der Masse näherungsweise die Dichte abzuschätzen. Über eine Umsetzung der Dichtebestimmung ist nichts bekannt. Angesichts der groben Methoden zur Bestimmung der geometrischen Abmessungen und damit des Volumens ist eine Berechnung der Dichte innerhalb des zulässigen Fehlers nicht möglich.

Bekannt ist auch ein Verfahren zur Bestimmung des Volumens, der Form und des Gewichtes von Fisch oder anderen Objekten (DE 42 04843 A1). Hier werden die auf einem Förderband liegenden Objekte von zwei ausgerichteten Kameras erfasst und die Daten elektronisch verrechnet. Daraus werden das Volumen und unter Nutzung vorher eingegebener Daten das Gewicht der Fische bestimmt. Bei ausreichend hoher Datenfolge ist auch die Form der Objekte bestimmbar.

Nachteilig für die Stärkebestimmung von Kartoffeln ist bei diesem Verfahren, dass die Volumenbestimmung nur sehr ungenau erfolgen kann und die Masse der Objekte keine eigenständige Messgröße, sondern eine aus dem berechneten Volumen und vorgegebener Daten zur Objektdichte abgeleitete Größe ist.

Bei einer Anlage zur Bestimmung der Holzgüte von Schnitthölzern (DE 42 23787 A1) wird dieser Nachteil umgangen, indem die Masse eine eigenständige Messgröße ist. Aber auch hier ist die Volumenbestimmung für den Einsatz bei Kartoffeln völlig ungeeignet.

Auch das selbstkalibrierende Gas-Pyknometer zur Bestimmung der Dicht, des Volumens und der Porosität (DE 42 38684 A1) verfügt über eine Wägezelle. Hier jedoch ist es der komplizierte Aufbau des Gas-Pyknometers selbst, der einem rationellen Einsatz bei der Stärkebestimmung von Kartoffeln entgegensteht.

Im Obstbereich werden Sortiersysteme eingesetzt, bei denen je nach Bedarf die Masse einzelner Früchte und bestimmte geometrische Abmessungen ermittelt werden (Firmen Greefa, AWETA, POMONE). Bei den zumeist mehrspurigen Anlagen werden die einzelnen Früchte durch mehrere Wägeelemente gewogen. Die Firmen Greefa oder AWETA geben als durchschnittliche „Genauigkeit“ bei der Gewichtsbestimmung  $\pm 2$  g an. Diese „Genauigkeit“ genügt den Vermarktungsnormen, zum Berechnen der Dichte ist der Wägefehler aber zu groß. Auf Grund der hohen Anzahl an Transportschalen und Wägeelemente ist der technische Aufwand und damit der Investitionsbedarf sehr hoch. Für ein Hochpreisprodukt wie Äpfel oder Paprika können derartige Sortiersysteme wirtschaftlich eingesetzt werden, bei der preiswerten Massenware Kartoffeln bisher nicht.

## 2.2 Bestimmung des Stärkegehaltes über spektrale Messungen

Seit langem ist bekannt, dass über Spektralanalysen im Nah-Infra-Rot Bereich (NIR) Informationen zu bestimmten Inhaltsstoffen gewonnen werden können. Die NIR-Spektroskopie bedient sich der Wellenlängen zwischen 800 und 2500 nm. Es wird sowohl im Reflexions- als auch im Transmissionsmodus gemessen oder in einer Kombination beider. Die NIR-Energie wird teilweise durch chemische Verbindungen mit speziellen Gruppen wie z.B. CH und OH im untersuchten Material absorbiert. Eine aus der

Absorption folgende Änderung des Schwingungsspektrums kann Informationen zu den Inhaltsstoffen liefern (TAUSCHER, 1999).

Häufig wurde die NIR-Spektroskopie eingesetzt, um Informationen zur Süße bei Pflirsichen (KAWANO et al., 1992) und Mandarinen (KAWANO et al., 1993) zu gewinnen oder zum Gehalt an löslichem Zucker bei Äpfeln (u.a. MCGLONE, 2003; PEIRS et al., 2003) oder Kiwis (CLARK et al., 2004). Im Zusammenhang mit der Zuckerbildung bei niedrigen Lagertemperaturen untersuchten YAPTENCO et al. (2000) den Zuckergehalt bei Kartoffeln.

Zunehmend wird wegen der chemiefreien und schnellen Datenbereitstellung die NIR-Spektroskopie auch zur Bestimmung von Stärke in Getreidekörnern verwendet. Als charakteristische Wellenlänge werden bei Getreide 2100 nm angegeben (SCHÄFER & FLECHSIG, 1985).

Erste Ansätze, diese Methode auch bei Kartoffeln einzusetzen, sind seit einigen Jahren bekannt. PUTZ et al. (1996) haben den Spektralbereich von 850 – 1050 nm für die Bestimmung verschiedener Inhaltsstoffe, so auch Stärke, bei gut homogenisiertem Kartoffelbrei genutzt. Erzielt wurde für Stärke eine Korrelation von  $r = 0,98$  gegenüber den nassanalytisch nach der Standardmethode (EWERS) ermittelten Vergleichswerten.

HARTMANN (1998) bestimmte spektrometrisch den Stärkegehalt bei Kartoffelscheiben und bei homogenisierten Kartoffelproben. Die Messungen bei den Kartoffelscheiben zeigten eine vierfach größere Differenz zu den wirklichen Stärkegehalten als die Messungen am Homogenat. Messungen an der Kartoffelscheibe wurden bisher auch von WEBER et al. (1996) wegen des großen Einflusses der Scheibendicke abgelehnt.

HARTMANN (1998) gibt den Hinweis, dass bei Reflexionsmessungen eine Wellenlänge von 2280 nm für das Stärkemolekül charakteristisch ist. Reflexionsmessungen sind aber an ganzen Kartoffelknollen wegen des Schaleneinflusses und den unterschiedlichen Haftwasseranteilen sehr problematisch.

Neben der direkten Messung des Stärkegehaltes ist die Bestimmung solcher Hilfsgrößen interessant, die in direktem Verhältnis zum Stärkegehalt stehen. So besteht zwischen dem Stärkegehalt der Kartoffelknollen sowie deren Dichte und dem Trockensubstanzgehalt ein seit langem bekannter, statistisch nachweisbarer Zusammenhang (u.a. SCHICK et al., 1961; PUTZ, 1989; Übersicht in SAMOTUS et al., 1986).

In neueren Untersuchungen stellte HAASE (2004) fest, dass NIR-Messungen eine bessere Übereinstimmung zu analytisch bestimmte Trockensubstanz- und Stärkewerte liefern als die Unterwasserwägung. Die NIR-Messungen wurden an homogenisierten Knollen im Wellenlängenbereich 850 – 2498 nm vorgenommen.

DULL et al. (1989) bestimmen den Trockensubstanzgehalt bei dünnen und dicken Kartoffelscheiben sowie bei ganzen Knollen und erzielen relativ gute Trockensubstanzvorhersagen. Gegen eine praktische Anwendung der Messmethode sprechen allerdings die zu lange Messdauer von 1 s je Spektralmessung und die Tatsache, dass auf Grund der Inhomogenität der Knollen das Ergebnis vom jeweiligen Lichtweg durch die Knolle abhängt.

Spektrale Untersuchungen zum Trockensubstanzgehalt sind u.a. auch bei Zwiebeln (BIRTH et al., 1985), Äpfeln (McGLONE, 2003), Kiwies (CLARK et al., 2004), Avocado (CLARK et al., 2003), Mangos (SARANWONG et al., 2003) und der Mais-Pflanze (COZZOLINO et al., 2000) bekannt.

### 3 Zielstellung

Das wissenschaftliche Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Echtzeitsensors für die nichtdestruktive Bestimmung des Stärkegehaltes der in einem Gutstrom vereinzelt bewegten Knollen. Zur Stärkebestimmung werden zwei Lösungswege verfolgt:

- Bestimmen der Knollendichte durch eine neuartige Verknüpfung von optoelektronisch ermitteltem Volumen und dynamischem Wiegen der Einzelknollen und/oder
- spektralen Messung des Stärkegehaltes oder geeigneter Hilfsgrößen mit Hilfe von nah-infrarotem (NIR) Licht

Beide Lösungswege sollen parallel bestritten werden bis sich eine Vorzugslösung abzeichnet.

Die Aufgaben zur Bestimmung des Stärkegehaltes über die Knollendichte werden zwischen dem ATB und dem Kooperationspartner SELECT aufgeteilt. Das ATB übernimmt die dynamische Massebestimmung und SELECT bearbeitet den Teil Volumenbestimmung.

Die spektralen Messungen erfolgen am ATB.

Um die Stärkebestimmung in vorhandene Anlagen zur industriellen Kartoffelaufbereitung einbinden zu können, ist ein Durchsatz von 20 - 25 Knollen je Sekunde anzustreben.

### 4 Ermittlung des Stärkegehaltes über die Knollendichte

#### 4.1. Auswahl des Messverfahrens

Bei der Wahl des geeigneten Messverfahrens für die Bestimmung der Masse sind der maximal zulässige Messfehler zu beachten und die für die Messung erforderliche bzw. verfügbare Messzeit.

Die Vorgaben zum zulässigen Fehler ergeben sich aus dem bekannten Zusammenhang zwischen Masse, Volumen und Dichte der Knollen (1) (MUNZERT et al., 1987). Mit Hilfe des quadratischen Fehlerfortpflanzungsgesetzes (2) kann abgeschätzt werden, inwieweit der zufällige Fehler bei der Massebestimmung den zufälligen Fehler bei der Berechnung des Stärkewertes beeinflusst.

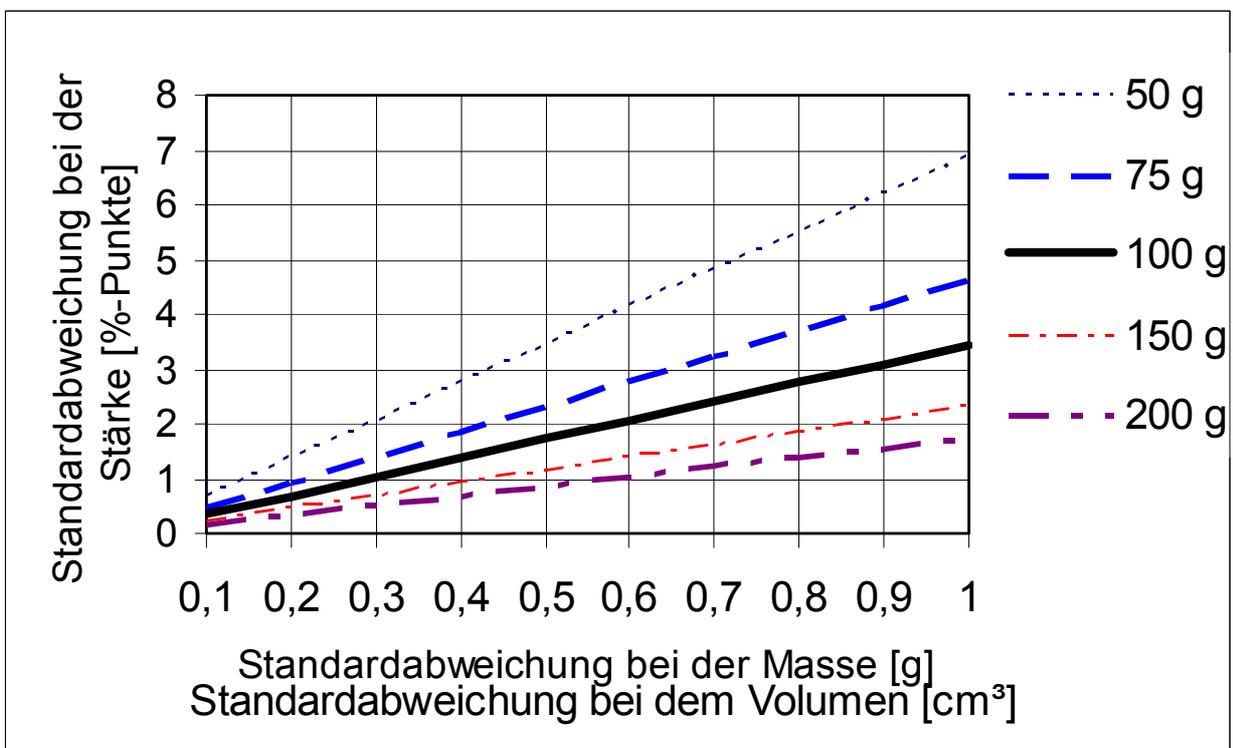
$$g_{St} = 216,61996 \cdot \frac{m}{V} - 219,812 \quad (1)$$

$$s_{g_{St}} = \sqrt{\left(\frac{\partial g_{St}}{\partial m}\right)^2 \cdot s_m^2 + \left(\frac{\partial g_{St}}{\partial V}\right)^2 \cdot s_V^2} \quad (2)$$

mit :	m	Masse	[g]
	V	Volumen	[cm <sup>3</sup> ]
	g <sub>St</sub>	Gehalt an Stärke	[%]
	s <sub>gSt</sub>	Standardabweichung des Stärkegehaltes	[%]
	s <sub>m</sub>	Standardabweichung der Masse	[g]
	s <sub>V</sub>	Standardabweichung des Volumens	[cm <sup>3</sup> ]

Bei der Berechnung des zufälligen Fehlers beim Stärkegehalt wurde angenommen, dass die Standardabweichungen bei der Volumen- und Massebestimmung den gleichen Betrag haben.

Ausgehend von der Zielstellung, den Knollengutstrom mit einer biologisch bedingten Spannweite des Stärkegehaltes von 8 % bis 25 % in 3 Stärkeklassen einteilen zu wollen, ergibt sich eine anzustrebende Klassenbreite beim Stärkegehalt von ca. 6 %-Punkte. Um diese Klassenbreite einhalten zu können, darf die Standardabweichung bei der Massebestimmung bei einer Knolle mit 100 g nur 1 g betragen (**Bild 1**). Auf beliebige Knollenmassen bezogen ergibt sich für die relative Standardabweichung der Grenzwert von 1 % der Knollenmasse, also bei einer 50 g Knolle nur 0,5 g.



**Bild 1:** Auswirkung der zufälligen Fehler bei der Masse - und Volumenbestimmung auf den zufälligen Fehler des Stärkegehaltes

Die zulässige Messdauer resultiert aus der Zielstellung, die Massebestimmung in einen optoelektronischen Verleseautomaten einzubinden. Da Verleseautomaten in industriellen Anlagen nur wirtschaftlich betrieben werden können, wenn Stückzahlen von ca. 20 - 25 Knollen je Sekunde erreicht werden, steht damit für die Massebestimmung der anzustrebende Durchsatz fest.

Im Interesse der Zielfunktion hat die Einhaltung des Messfehlers Vorrang vor der Erfüllung der geforderten Stückzahl.

Physikalisch kann die Masse über die Anziehungskraft zwischen einem Körper und der Erde (Gewichtskraft) und der Trägheitskraft bestimmt werden.

Mehrere Verfahren sind entwickelt worden, um die Masse eines ruhenden oder bewegten Körpers oder einer damit korrelierenden physikalischen Größen bestimmen zu können (**Tab. 1**) (nach BEITZ & GROTE, 1997; CZICHOS, 1991; FRITZSCH & HÄUßLER, 1983).

**Tabelle 1:** Messtechnik zur Bestimmung der Masse

Eigenschaft der Masse	Messtechnik	Messgröße
Gewicht	Federkörper	Wegänderung bei Auslenkung
	Dehnmessstreifen	Widerstandsänderung von stromdurchflossenen elektrischen Leitern
	Schwingsaiten	Änderung der Transversalschwingungen in vorgespannten Saiten
	elektromagnetische Kraftkompensation	Stromstärke zur Kompensation einer Gewichtskraft in einer Tauchspule
	piezoelektrische Sensoren	Auftreten von elektrischen Ladungen an der Oberfläche von Quarzkristallen oder Bariumtitanat
	Magnetoelastizität	Änderung der Permeabilität ferromagnetischer Materialien
	pneumatische oder hydraulische Gewichtskraftkompensation	Änderung des Luft- bzw. Flüssigkeitsdruckes
Trägheit	Prallplatte	Impulsänderung
		Fliehkraft
		Corioliskraft

In Anbetracht des zulässigen Messfehlers und der geforderten Stückzahl je Sekunde wurde für die Massebestimmung von Einzelknollen als Messmethode die Gewichtsbestimmung über eine Bandwaage ausgewählt.

Ausschlaggebend für diese Entscheidung waren:

- Bandwaagen werden industriell gefertigt und von verschiedenen Unternehmen angeboten (u.a. Tedeo, Wipotec)
- die Bandwaagen sind bereits zur Wägung von Einzelkörpern im Einsatz
- es treten keine Fallstufen auf (Vermeidung von Beschädigungen)

#### 4.2 Dynamisches Wiegen von Einzelknollen

Bisher werden Bandwaagen entweder bei Schüttgütern angewendet oder bei Einzelprodukten, wenn diese bei der Förderung und Wägung ruhig liegen. Nur dann gleiten die Produkte ohne störende Eigenbewegungen vom Zuführband auf das Wägebund. Eine ruhige Transportlage nehmen z.B. flächig aufliegende Verpackungen ein. Die Kartoffelknolle mit ihrer unförmigen, runden Knollenform neigt dagegen zu unvorhersehbaren Eigenbewegungen, die es dem Wägesystem erschweren, sich in kürzester Zeit auf einen Masseendwert einzuregeln.

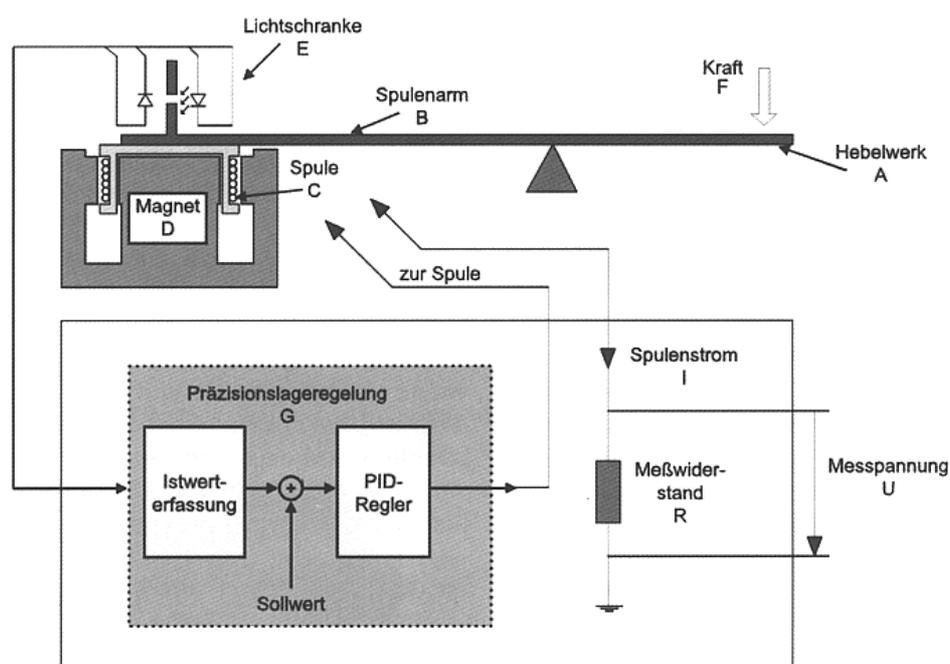
Nach einer ausführlichen Recherche wurde bei den eigenen Untersuchungen eine Bandwaage der Firma WIPOTEC (Kaiserslautern) mit einer Wägezelle TYP WZ 5000 - analog (**Tab. 2**) eingesetzt (**Bild 2**). Dieses Wägesystem besitzt ein Wägebund mit 300 mm Länge und ermöglicht eine maximale Förderbandgeschwindigkeit von 2 m/s. Das Wägesystem zeichnet sich durch eine kurze Abtastzeit von 2 ms aus. Von Bedeutung war die Möglichkeit, die Messsignale direkt erfassen und verarbeiten zu können. Auf diese eigene Messsignalverarbeitung wurde besonderer Wert gelegt, weil bisher kein Hersteller seine Waagen bei unruhig liegenden Produkten wie Kartoffeln einsetzt und somit seine Signalauswertung auch nicht darauf ausgerichtet hat.



**Bild 2:** Bandwaage der Firma WIPOTEC mit Lichtschranken zum Auslösen der Messung

Die Gewichtsbestimmung in der Bandwaage beruht auf dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation. Dabei wird in einem Elektromagneten D (**Bild 3**) eine Kraft aufgebaut, die die aufgebrachte Gewichtskraft  $F$  kompensiert. Die dafür erforderliche Stromstärke  $I$  ist ein Maß für die Gewichtskraft.

Die Bandwaage besitzt eine analoge Messwerterfassung.



**Bild 3:** Funktionsweise der Bandwaage (Werksdarstellung WIPOTEC)

**Tabelle 2:** Technische Parameter der Wägezelle WZ 5000 – analog (anonym, 2001)

Parameter	Wert
Messbereich	0-750 g
Eichwert (e)	0,1 g
Anzeigewert (d)	0,05 g
Linearität	< 0,05 g
Reproduzierbarkeit	< 0,05 g
Einschwingzeit auf 1 ‰ vom Endwert	<150 ms

### 4.3 Algorithmus zur Signalauswertung

In Messreihen mit Kartoffelknollen zeigte sich, dass die serienmäßigen Dämpfungsfunktionen der Bandwaage nicht ausreichen, um das Wägesystem in kürzester Zeit auf einen stabilen Endwert einschwingen zu lassen. Die Messwerte waren nicht reproduzierbar. Aus diesem Grund wurde ein neuer Algorithmus zur Signalauswertung entwickelt. Vorgaben für den Algorithmus waren:

- sehr kurze, nicht konstante Messzeit

Bei dem im ATB entwickelten Auswertalgorithmus wird der gemessene Schwingungsverlauf mit zwei Tiefpässen von unterschiedlichem Ausgangsniveau beaufschlagt und geglättet (**Bild 4**). Zu jedem Tiefpass wird eine Regressionsgleichung berechnet. Das Niveau des Schnittpunktes der Regressionsgeraden über beide Tiefpässe wird als Schätzung für das sich bei genügend langer Messzeit einstellende Gewicht genommen. Notwendig gewordene Einzelschritte im Auswertalgorithmus sind:

#### 1. Festlegen der Startwerte der Tiefpässe

Ermittlung von Maximum, Minimum sowie Mittelwert des Schwingungsverlaufes sowie des Zeitpunktes  $t_{\text{start}}$  zu dem der Schwingungsverlauf den Mittelwert erstmalig erreicht.

Die Startwerte für die Tiefpässe ergeben sich aus

- Startwert 1. Tiefpass:  $m_1(t_{\text{start}}) = (\text{Maximum} + \text{Mittelwert}) / 2$
- Startwert 2. Tiefpass:  $m_2(t_{\text{start}}) = (\text{Minimum} + \text{Mittelwert}) / 2$

#### 2. Berechnung der Tiefpass-Werte:

Alle diskreten Messwerte werden mit einer Tiefpassfolge berechnet:

$$m_{\text{TP}}(t_n) = m_{\text{TP}}(t_{n-1}) + (m(t_n) - m_{\text{TP}}(t_{n-1})) * \nu$$

mit  $m_{\text{TP}}(t_n)$  Wert vom Tiefpass zum Zeitpunkt  $t_n$

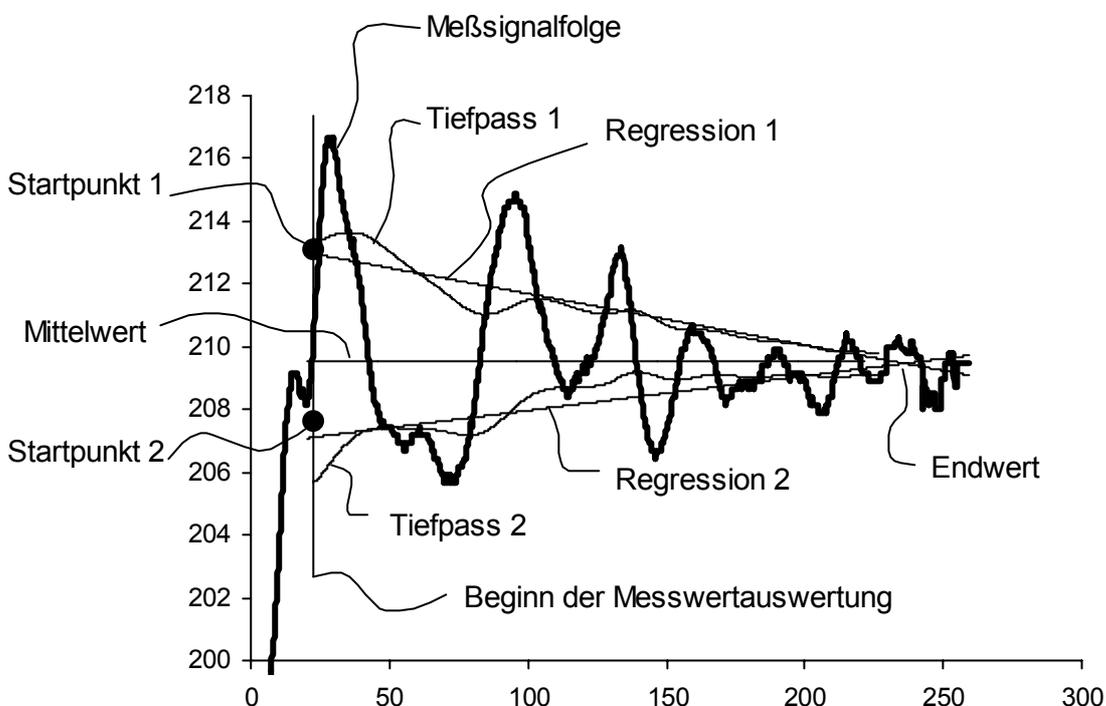
$m(t_n)$  eigentlicher Signalwert (Messwert)

$\nu$  Dämpfungsmaß  $0 < \nu < 1$

$n$  Zählvariable  $\text{Startwert} \leq n \leq \text{Maximalwert}$

Es ergeben sich zwei Tiefpassfolgen, weil von zwei unterschiedlichen Startwerten begonnen wird. Über beide Tiefpassverläufe wird je eine lineare Regressionsfunktion (oder exponentielle Funktion) gelegt. Als Einschwingwert bzw. Schätzwert für die Masse wird der Schnittpunkt beider Regressionsfunktionen gewertet.

Das Dämpfungsmaß  $\nu$  wird so gewählt, dass sich der Schnittpunkt der Regressionsgleichungen beider Tiefpässe zeitlich im Bereich des Endes der Messzeit einstellt (empirisch ermittelter Wert  $\nu = 0,003$ ).



**Bild 4:** Auswertung des Signalverlaufes mit Tiefpässen und Regressionsgleichungen

#### 4.4 Aufbau der Wägelinie

##### 4.4.1 Anforderungen an die Wägelinie

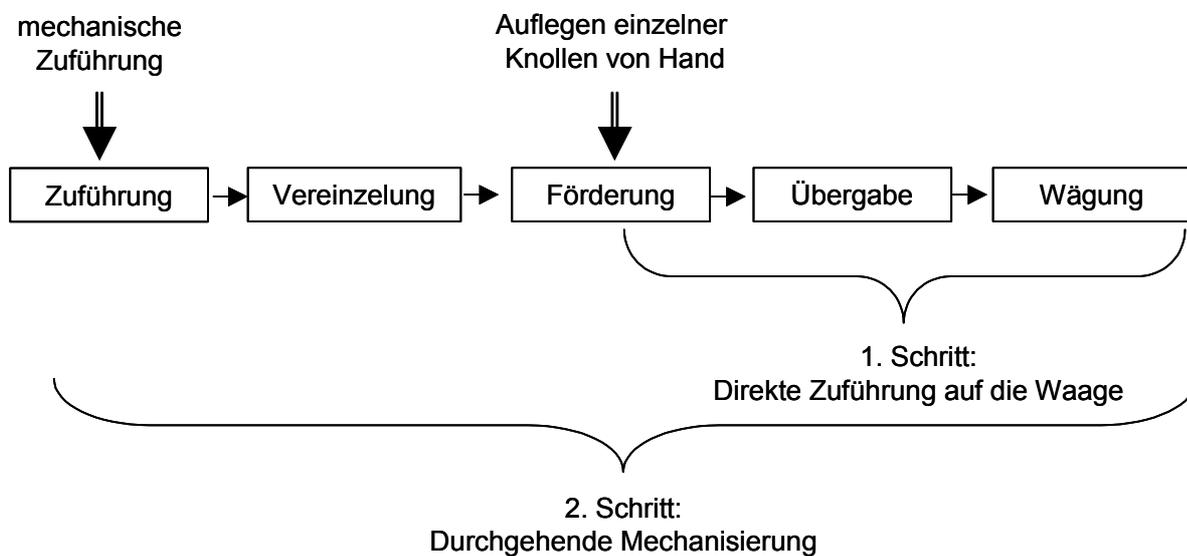
Für eine optimale Wägung von Knollen aus einem bewegten Gutstrom sind mit Hilfe spezieller Baugruppen (**Bild 5**) folgende Forderungen zu erfüllen:

- Anordnen der Knollen in einer Reihe hintereinander in Förderrichtung,
- Vereinzelung der Knollen auf einen lichten Abstand zwischen den Knollen von 300 mm, damit sich immer nur eine Knolle auf dem Wägebänder befindet,
- Beschleunigung der Knollen auf die Geschwindigkeit des Wägebänderes,
- Übergabe der Knollen auf das Wägebänder möglichst ohne Eigenbewegung,
- einfache konstruktive Gestaltung der Baugruppen.

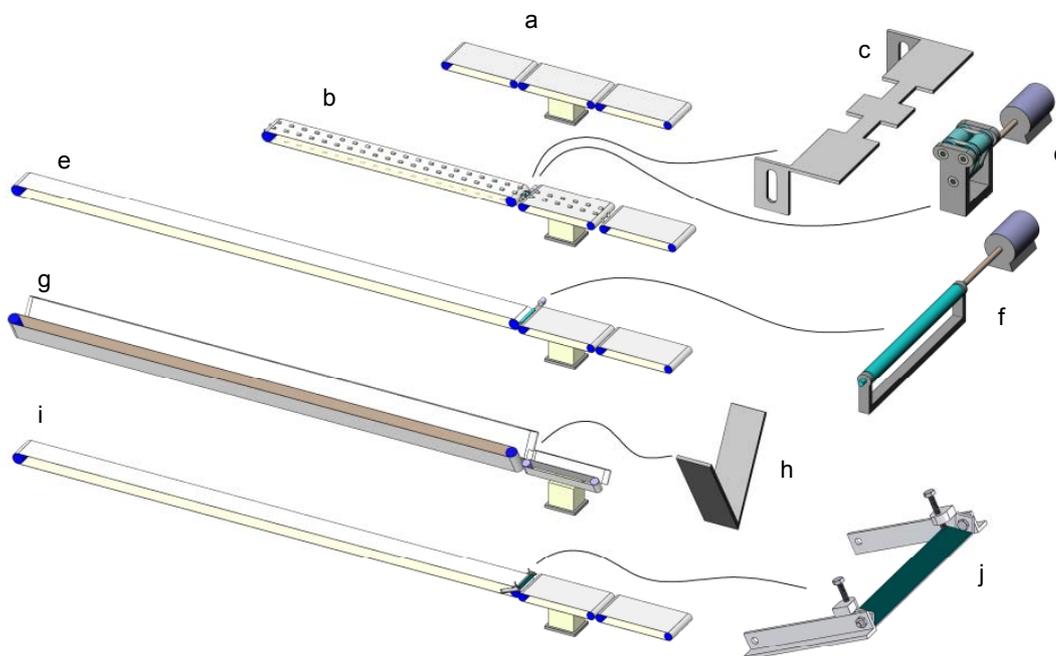
##### 4.4.2 Zuführung der Knollen auf die Waage

Voraussetzung für einen geringen Wägefehler ist eine geringe Eigenbewegung der Knollen bei der Übergabe auf das Wägebänder und während des Wägevorganges. Um

dies zu sichern, wurden verschiedene Varianten der Knollenübergabe auf das Wägeband untersucht (**Bild 6**).



**Bild 5:** Schrittweise Optimierung der Baugruppen bis zur Waage



**Bild 6:** Varianten der Förderung, Übergabe und Wägung

Zu Beginn wurde die Kombination der Bandwaage mit den serienmäßigen Zu- und Abfuhrbändern der Firma WIPOTEC geprüft (**Bild 6a**). Es zeigte sich, dass die Knollen

beim Überqueren des Spaltes zwischen dem Zuführ- und Wägebänder zum Verrollen und Springen angeregt werden, so dass die Messwerte nicht reproduzierbar waren.

Zur Dämpfung der Knollenbewegung wurden die Bänder mit zwei Reihen Gummipuppen ausgestattet (**Bild 6b**), zwischen denen die Knollen eine stabile Transportlage einnahmen. Wegen der Puppenreihen musste der Übergabespalt erweitert werden. Zur Überbrückung des Spaltes wurde zwischen den Bändern ein Übergabeblech mit Aussparungen für die Puppen angebracht (**Bild 6c**). Die Messergebnisse waren nicht zufriedenstellend, weil die Knollen durch die relativ lange Gleitstrecke auf dem Blech unkontrolliert abgebremst und gedreht wurden.

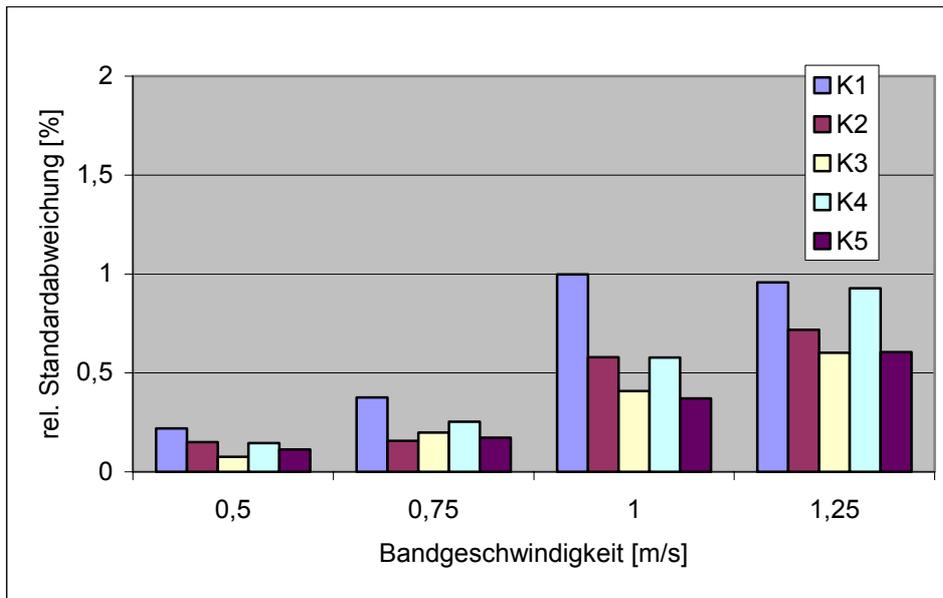
Zur Vermeidung des Bremseseffektes ist das Übergabeblech durch ein angetriebenes Rollenpaar ersetzt worden (**Bild 6d**). Mit einem Rollendurchmesser von nur 10 mm konnte die Baugruppe im Interesse eines schmalen Übergabespaltens kompakt gestaltet werden. Dennoch stellte jede Rolle eine Unstetigkeitsstelle in der Förderung dar. Ein weiterer Nachteil war, dass sich die Knollen nach der Übergabe auf die Waage neu zwischen den Puppenreihen des Wägebänderes positionieren mussten. Die damit verbundenen Bewegungen der Knolle verlängerte unvermeidbar die Einschwingzeit der Wägezelle.

Anhand der Versuche wurde ersichtlich, dass Positionierhilfen wie die Puppenreihen keinen geringen Wägefehler ermöglichen, wenn mit dem Bandwechsel auch ein Wechsel der Positionierhilfen verbunden ist. Nachfolgend wurde die Kombination von flachen Bändern (ohne Puppen) mit einer angetriebenen Übergaberolle zwischen den Bändern untersucht (**Bild 6e, f**). Aber auch die angetriebene Einzelrolle stellte eine Unstetigkeitsstelle dar und konnte nicht befriedigend die Knollen auf das Wägebänder fördern.

Auch eine Anordnung der Zuführ- und Wägebänder in V-Form (**Bild 6g**) ermöglichte keine ungestörte Knollenförderung auf die Waage. Da die Berührungspunkte zwischen Knolle und den V-Bändern nicht symmetrisch angeordnet waren, kam es zu Drehbewegungen beim Bandwechsel. Außerdem neigten die Knollen zum Verkleben. Als nachteilig erwies sich auch die hohe Taramasse der beiden angetriebenen Wägebänder.

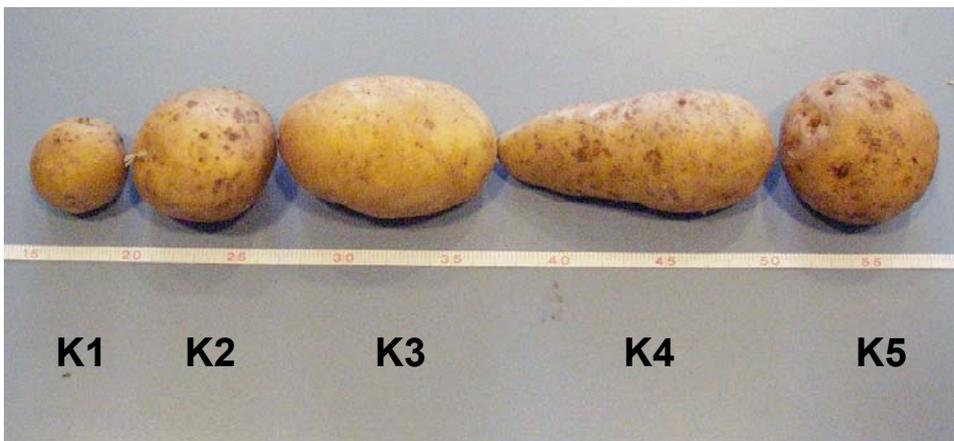
Aus dieser Überlegung heraus ist die Kombination eines flachen Zuführbänderes mit einem flachen Wägebänder untersucht worden (**Bild 6i**). Es zeigte sich, dass mit Hilfe eines in Förderrichtung leicht abfallenden Übergabebleches ein störungsfreies Gleiten der Knollen auf das Wägebänder möglich wird (**Bild 6j**). Voraussetzung ist, dass das Blech zum Vermeiden des Bremseseffektes in Förderrichtung sehr kurz gestaltet wird.

Messreihen mit unterschiedlichen Fördergeschwindigkeiten ergaben, dass mit dem Übergabeblech bis zu einer Fördergeschwindigkeit von 1,25 m/s die relative Standardabweichung bei der Massebestimmung unter 1 % gehalten werden kann (**Bild 7**). Für die Messreihen wurden bewusst Knollen mit unterschiedlicher Masse und Form ausgewählt (**Bild 8**).



**Bild 7:** Zufälliger relativer Fehler bei der Massebestimmung in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit (Handauflage)

50 Wiederholungen für jede Knolle und Geschwindigkeit



**Bild 8:** Knollen mit unterschiedlicher Masse und Form zur Bestimmung des zufälligen Wägefehlers

Knollenmasse: K1 51,2 g; K2 140,6 g; K3 213,5 g; K4 183,6 g; K5 173,1 g

Die Knollen wurden für diese Messreihen durch eine geübte Bedienperson mit der Hand etwa 1 m vor der Bandwaage auf das sich bewegende Zuführband aufgelegt (s. Bild 5, Handaufgabe).

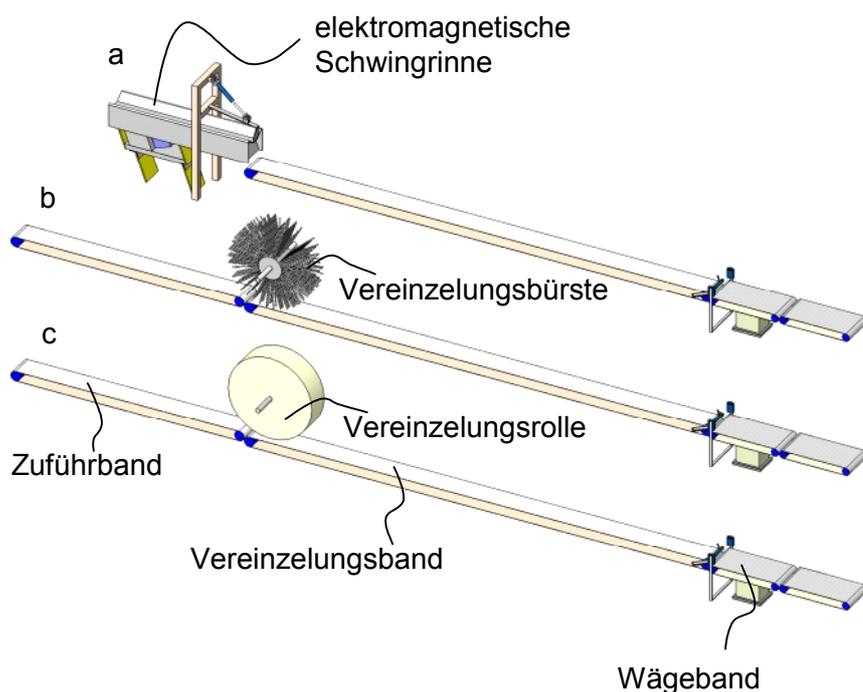
#### 4.4.3 Mechanische Vereinzelung der Knollen

Bei einer mechanischen Zuführung der Knollen ist davon auszugehen, dass die Knollen in einem steten Gutstrom zur Wägelinie gefördert werden, wobei die Knollen ohne Zwischenraum in einer Reihe hintereinander angeordnet sind. Die Knollen sind für die Wä-

gung auf einen lichten Abstand von 300 mm zu vereinzeln und auf die Fördergeschwindigkeit des Wägebandes zu beschleunigen.

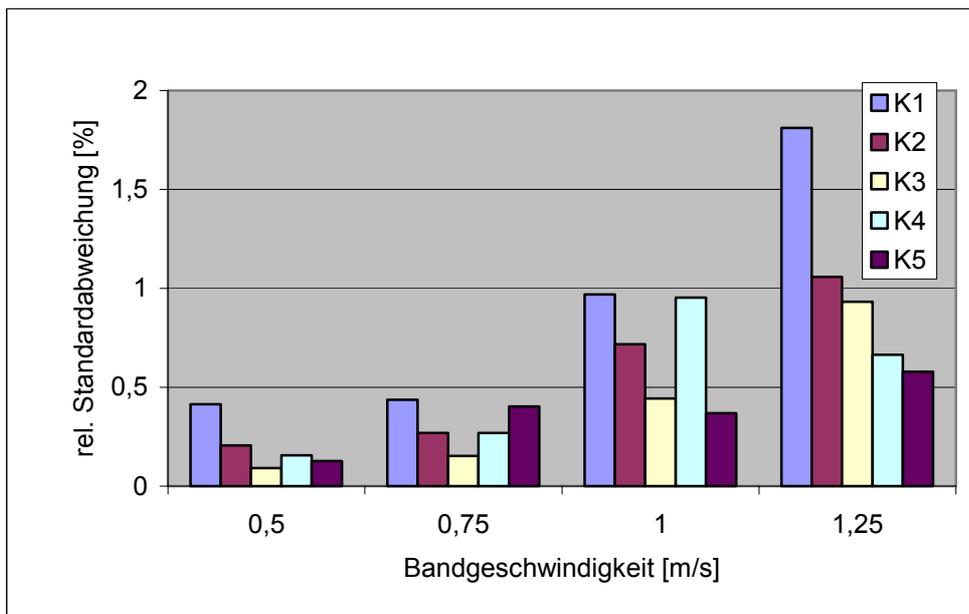
Zur Vereinzelnung und Beschleunigung sind mehrere Baugruppen entwickelt und im Labor erprobt worden (**Bild 9**). Das Vereinzeln und Beschleunigen war so zu gestalten, dass anschließend die Knollen in ruhiger Lage auf die Waage gefördert werden können. Mit einer elektromagnetisch erregten Schwingrinne (**Bild 9a**) war es möglich, die Knollen einzeln auf das Förderband abzugeben, wobei eine pneumatisch betätigte Auslassklappe den Abgabezeitpunkt bestimmte. Die maximal erreichbare Fördergeschwindigkeit auf der Schwingrinne von 0,2 m/s erwies sich aber als zu gering. Problematisch war auch die Weiterförderung der Knollen auf dem Zuführband zur Waage.

In einer zweiten Variante fallen die Knollen von einem langsam fördernden auf ein schnell förderndes Band (**Bild 9b**). Beim Bandwechsel wird der Gutstrom auseinander gezogen, d.h. die Knollen werden vereinzelt. Das Beschleunigen beim Bandwechsel wurde durch eine angetriebene Bürstenrolle unterstützt. Weil die elastischen Borsten der Rolle die Knollen bei der Abgabe zu unkontrollierten Bewegungen anregten, ist die Bürstenrolle durch eine Rolle aus Schaumstoff (**Bild 9c**) ersetzt worden.



**Bild 9:** Untersuchte Varianten zum Vereinzeln der Knollen

Mit der Kombination von Bandstufe mit Schaumstoffrolle und dem Übergabeblech vor der Waage (**Bild 9c**) konnte mit den bereits bei der Handaufgabe verwendeten Knollen (**Bild 8**) der Wägefehler bis zur einer Fördergeschwindigkeit von 1,25 m/s im Wesentlichen unter 1 % gehalten werden. Lediglich bei der kleinen Knolle K1 war eine höhere Standardabweichung zu verzeichnen (**Bild 10**).



**Bild 10:** Zufälliger relativer Fehler bei der Massebestimmung in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit (maschinelle Zuführung)

50 Wiederholungen für jede Knolle und Geschwindigkeit

Anhand der Fördergeschwindigkeit von 1,25 m/s und einer Wägebendlänge von 0,3 m ergibt sich für eine Knolle eine Verweilzeit von ca. 0,25 s auf der Waage. Dies ist gleichbedeutend mit einer Stückzahl von 4 Knollen je Sekunde. Die Variante „Bandstufe mit Schaumstoffrolle und Übergabeblech“ stellt nach dem derzeitigen Versuchsstand die Vorzugslösung zur Massebestimmung von bewegten Einzelknollen in einem Gutstrom dar.

#### 4.4.4 Konzeption der Gesamtanlage

Um neben der Einhaltung des zulässigen Messfehlers auch die Vorgabe von 20 - 25 Knollen je Sekunde erfüllen zu können, sind Konzeptionen für den parallelen Einsatz von fünf Wägelinien aufgestellt worden.

#### Anordnung der Masse- und Volumenbestimmung

Bei der Kombination von fünf Wägelinien mit einer Vorrichtung zur Volumenbestimmung ist zu entscheiden, in welcher Reihenfolge Masse und Volumen gemessen werden. Wird erst das Volumen bestimmt, muss der Gutstrom anschließend in fünf Teilströme für die Wägelinien aufgetrennt werden, wobei bekannt sein muss, an welche Wägelinie eine Knolle geleitet worden ist. Am Ende einer jeden Wägelinie ist eine Klassiereinheit mit zusätzlichen Bändern für jede Stärkeklasse anzuordnen. Weil bei einer solchen Prozessfolge der Gutstrom nach der Volumenmesseinheit auf die fünf Wägelinien aufzuteilen ist und dann erneut nach der Wägung in die Stärkeklassen, wurde bei der Ges-

taltung der Gesamtanlage davon ausgegangen, dass erst die Wägung und dann die Volumenbestimmung erfolgen muss. Für diese Reihenfolge spricht, dass in der derzeitigen Ausführung des optoelektronischen Verleseautomaten die Steuerung der Klassiereinheit unmittelbar mit der Auswertung der optoelektronischen Einheit verbunden ist. Aus der Vorgabe, erst die Masse und dann das Volumen zu bestimmen, resultierte die Aufgabe, die fünf Teilströme von den fünf Wägelinien zu einem Gutstrom zusammenzufassen.

Beim parallelen Einsatz von fünf Wägelinien und einer anschließenden Zusammenführung der Teilströme war zu beachten:

- Die Knollen werden auf jeder Wägelinie unabhängig voneinander gefördert und gewogen, d.h. die Positionen der Knollen zu einem bestimmten Zeitpunkt ergeben sich zufällig
- Zur Auslastung der Volumenmesseinheit ist der beim Vereinzeln geschaffene lichte Abstand zwischen den Knollen auf ein Minimum zu reduzieren
- Das Zusammenführen der Teilströme hat so zu erfolgen, dass einer beliebigen Knolle beim Passieren der Volumenmesseinheit der richtige Massewert zugeordnet wird, unabhängig davon, von welcher Wägelinie die Knolle kommt

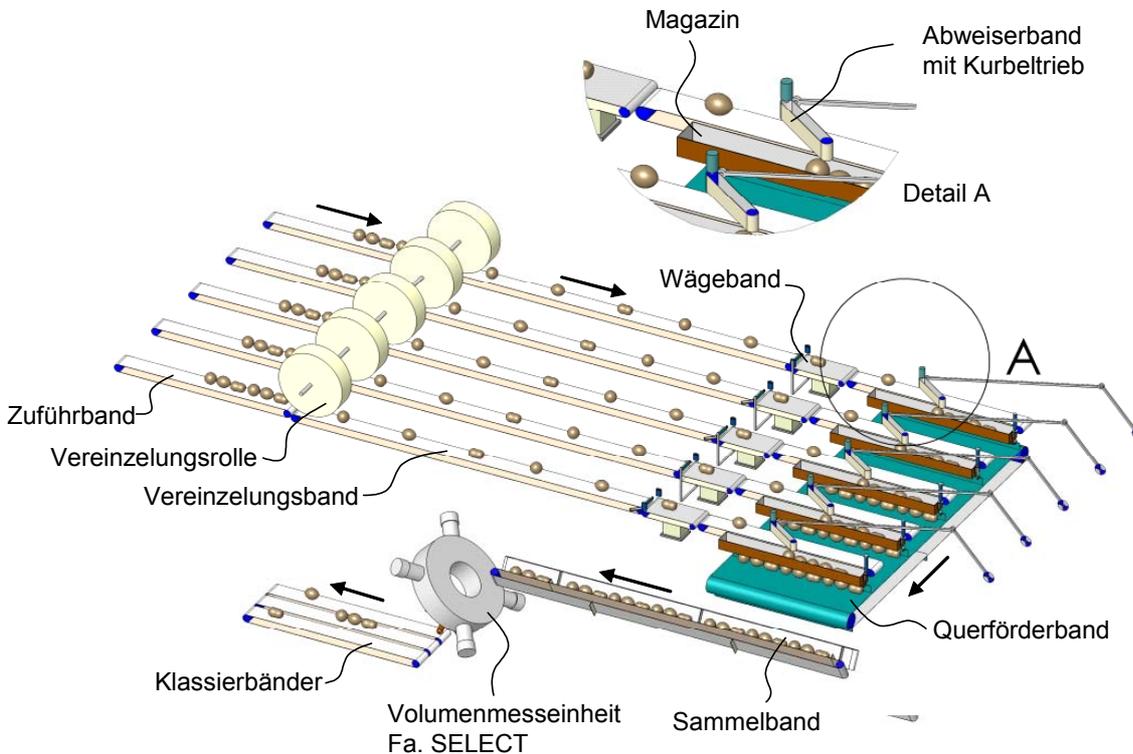
Bei der Konzeption für die Gesamtanlage wurde es als vorteilhaft angesehen, Einzelknollen zu Teilmengen zusammenzulegen und im Weiteren diese Teilmengen zu einem Gutstrom zusammenzufassen. Im Versuchslabor sind drei Varianten untersucht worden.

#### Variante 1: Teilmengenbildung mit Hilfe eines Magazins

Bei der ersten Variante (**Bild 11**) bewegen sich fünf Abstreifer auf den Abförderbändern langsam den ankommenden Knollen entgegen und lenken sie in seitlich angeordnete Magazine. Die Abstreifer sind miteinander gekoppelt, d.h. sie bewegen sich synchron. Durch die Vorwärtsbewegung der Abstreifer kommen die Knollen hintereinander im Magazin zu liegen. Sind die Abstreifer am Magazinende angekommen, bewegen sie sich auf die Startposition am Magazinanfang zurück. Die Rückbewegung erfolgt mit einer Geschwindigkeit, die höher ist als die der ankommenden Knollen. Auf diese Weise werden bei der Rückbewegung keine Knollen in die Magazine gelenkt. Während der Rückbewegung der Abstreifer öffnen sich Auslassklappen im Boden eines jeden Magazins und die Knollen fallen als Teilmengen auf das Querförderband. Durch Mitnehmer auf dem Querförderband werden die Teilmengen voneinander getrennt und sofort weitergefördert.

Vom Querförderband aus werden die Teilmengen auf ein Sammelband übergeben. Die Fördergeschwindigkeit vom Sammelband ist so bemessen, dass die Teilmengen vom Querförderband hintereinander zwischen zwei Mitnehmer auf das Sammelband fallen. Das Sammelband fördert die Knollen zur Volumenmesseinheit. Die Mitnehmer am

Sammelband übernehmen eine Kontrollfunktion, indem sie an der Volumenmeseinheit immer das Ende einer Teilmenge signalisieren.



**Bild 11:** Wägelinie mit Bandabweiser und Magazin zur Bildung von Teilmengen und synchroner Bewegung der miteinander gekoppelten Kurbeltriebe

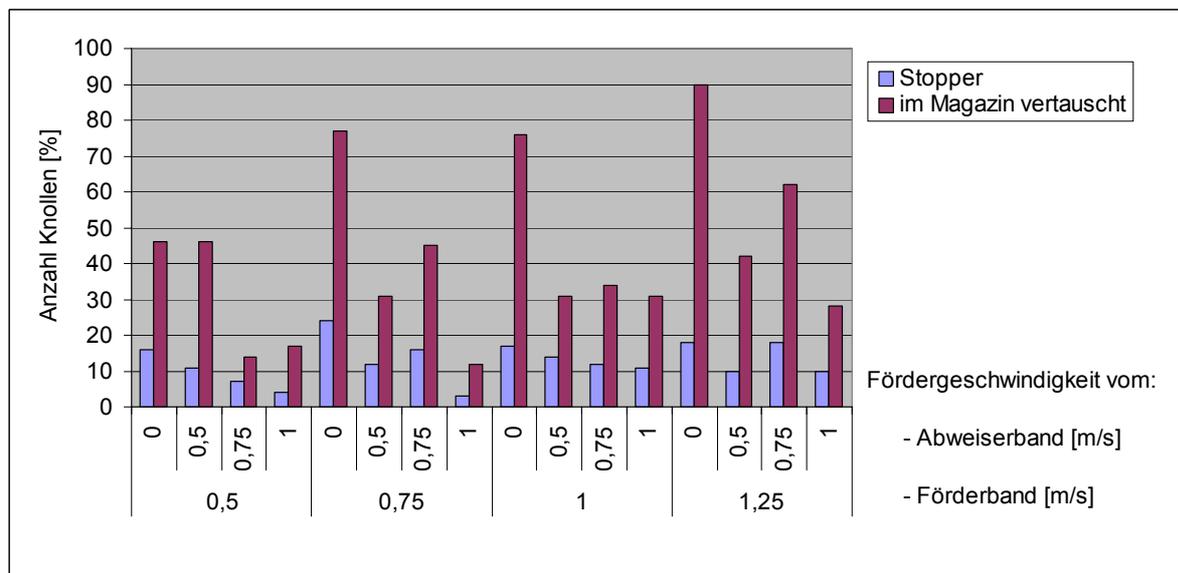
In Versuchsreihen sind die mit der Magazinbefüllung verbundenen Vor- und Nachteile insbesondere die Zuverlässigkeit der Teilmengenbildung untersucht worden.

Dazu wurden 10 Knollen auf das Zuführband gelegt, über die Waage zum Abweiser gefördert und von diesem in das Magazin gelenkt. Mit 10 Knollen war abgesichert, dass je Messreihe mindestens 2 Magazine zu füllen und zu entleeren waren und mindestens eine Rückbewegung des Abstreiferbandes zu erfolgen hatte.

In den Versuchsreihen wurde offensichtlich, dass nicht alle Knollen in das Magazin abgelenkt, sondern manche durch den Abweiser auf dem Band nur angehalten werden. Diese, als Stopper bezeichneten Knollen, bewegten sich dann unkontrolliert auf dem Band. Sie wurden erst bei der nächsten Vorwärtsbewegung des Abweisers oder durch den Zusammenstoß mit einer nachfolgenden Knolle an einer zufälligen Stelle ins Magazin gelenkt. Damit lagen diese Knollen und somit auch mehrere andere Knollen nicht mehr in der richtigen Reihenfolge (**Bild 12**). Die meisten Stopper und Fehlbelegungen waren zu verzeichnen, wenn das Abweiserband nicht angetrieben wurde (0 m/s). Mit zunehmender Geschwindigkeit des Abweiserbandes nahmen die Stopper und die Fehlbelegungen tendenziell ab und erreichten bei 1 m/s die geringsten Werte.

Die Fördergeschwindigkeit des Abförderbandes beeinflusste ebenfalls die Anzahl der Stopper und Fehlbelegungen. Die meisten Fehler traten bei der Maximalgeschwindigkeit der Waage von 1,25 m/s auf.

Es wurde offensichtlich, dass es nicht möglich ist, mit Kombination der Bandgeschwindigkeiten ein sicheres Ablenken der Knollen in das Magazin zu gewährleisten.



**Bild 12:** Fehler bei der Positionierung von Knollen in einem Magazin in Abhängigkeit von der Fördergeschwindigkeit und der Geschwindigkeit des Abstreiferbandes

Je Geschwindigkeitsvariante 10 Messreihen mit je 10 Knollen

Beobachtungen haben gezeigt, dass die Knollenablenkung in das Magazin immer dann nicht funktioniert, wenn sich der Abweiser nach dem Umkehrpunkt in der Anfangsphase der Rückbewegung befindet und noch nicht auf die Geschwindigkeit der herankommenden Knollen beschleunigt worden ist. Zur Vermeidung der Stopper muss demnach das Zusammentreffen von Knolle und Abweiserband kurz nach dem Umkehrpunkt der Abweiserbewegung vermieden werden. Dazu müsste der Umkehrpunkt variabel gestaltet werden, indem z.B. die Abweiser nicht mit Hilfe eines Kurbeltriebes bewegt werden sondern flexibel durch ein elektronisch gesteuerten Linearantrieb.

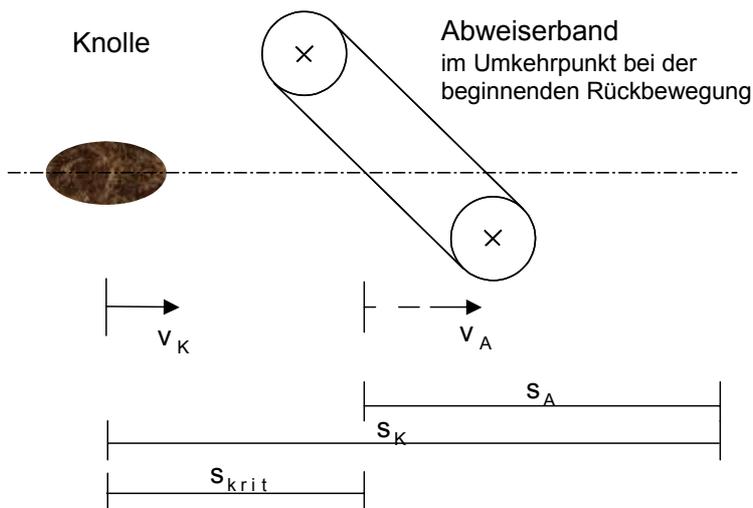
Vor der konstruktiven Umsetzung des Linearantriebs wurde die Häufigkeit von Stoppern abgeschätzt und wie oft es notwendig sein wird, den Umkehrpunkt zu verlegen.

Bei einer angenommenen kritischen Zeit  $t_{krit}$  zur Beschleunigung des Abweiserbandes auf die Geschwindigkeit der Knollen  $v_K$  legt das Abweiserband den Weg  $s_A$  (8) zurück (**Bild 13**). Für die Knolle ergibt sich während der kritischen Zeit bei konstanter Geschwindigkeit  $v_K$  der Weg  $s_K$  (9). Aus (8) und (9) resultiert der Mindestabstand  $s_{krit}$  (10), den eine Knolle zum Abweiser am Umkehrpunkt haben muss, damit eine Knolle den Abweiser nicht während der Beschleunigungsphase auf dem Rückweg einholt.

$$s_A = \frac{v_K * t_{krit}}{2} \quad (8)$$

$$s_K = v_K * t_{krit} \quad (9)$$

$$s_{krit} = s_K - s_A \quad (10)$$



**Bild 13:** Kritischer Abstand zwischen Knolle und Abweiserband im Umkehrpunkt der oszillierenden Bewegung des Abweisers

Mit  $v_K = 1,25 \text{ m/s}$  und  $t_{krit} = 0,05\text{s}$  (Annahme) ergibt sich  $s_{krit} = 0,025 \text{ m}$ .

Der mögliche Abstand von Knolle zu Knolle resultiert aus dem Vereinzeln und ist vereinfacht  $s_{KK} = 0,30 \text{ m}$ . Aus dem Verhältnis von möglichem Abstand zu kritischem Abstand kann die Eintreffenswahrscheinlichkeit  $P(E)$  angegeben werden, dass es zu einem Stopper kommt (11).

$$P(E) = \frac{s_{krit}}{s_{KK}} \quad (11)$$

Unter den angenommenen Bedingungen beträgt  $P(E) = 0,083$ , d.h. bei 8,3 % aller Knollen einer Wägelinie besteht die Gefahr eines Stoppers. Die Wahrscheinlichkeit von Stoppern bei fünf unabhängigen Wägelinien  $P(E_{1-5})$  beträgt 41,5% (12).

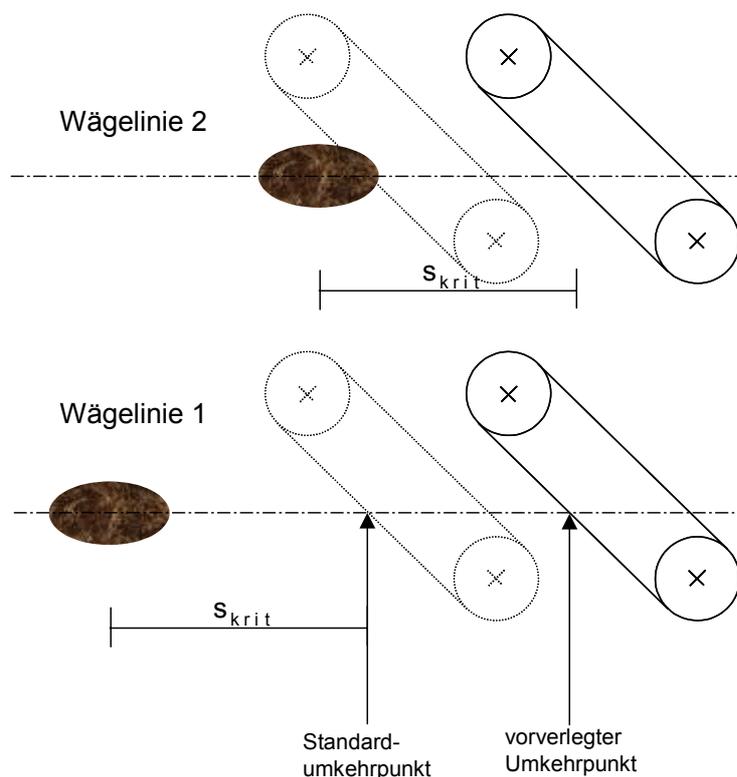
$$P(E_{1-5}) = 5 * P(E) \quad (12)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Verlegen des Umkehrpunktes notwendig wird, ist etwas geringer als die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Stoppereignissen, weil nicht auszuschließen ist, dass mehrere Stopper gleichzeitig eintreten. Für  $k$  einander nicht auszuschließende Ereignisse  $E_i$ , mit  $i=1 \dots k$  und  $P(E_i)=p$  gilt (SACHS, 1992):

$$P(E_1 \cup E_2 \dots \cup E_k) = 1 - (1 - p)^k \quad (13)$$

Bei fünf Wägelinien ( $k=5$ ) besteht eine Notwendigkeit zum Verlegen des Umkehrpunktes mit der Wahrscheinlichkeit von  $P(E_{1-5})=0,353$ . Das bedeutet, dass bei annähernd jeder dritten Annäherung der Abweiser an den Umkehrpunkt eine Verlegung des Umkehrpunktes notwendig wird, weil sonst auf mindestens einer Bandlinie eine Knolle in den kritischen Abstand kommt.

Wenn wegen einer Bandlinie der Umkehrpunkt der miteinander gekoppelten Abweiser verlegt wird, könnte auf einer anderen Wägelinie gerade wegen der Verlegung eine Knolle in den kritischen Abstand kommen (**Bild 14**).



**Bild 14:** Mögliche Konstellation zwischen Knolle und Abweiserband auf zwei Wägelinien bei synchroner Abweiserbewegung

Die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(E_{2-5}/E_1)$ , dass es auf mindestens einer der vier Wägelinien 2 bis 5 zu einem Stopper kommt, unter der Voraussetzung, dass sich auf der Linie 1 eine Knolle im kritischen Abstand befindet, berechnet sich mit:

$$P(E_{2-5}/E_1) = \frac{P(E_1 \cap E_{2-5})}{P(E_1)} \quad (14)$$

bzw.:

$$P(E_{2-5}/E_1) = \frac{P(E_1) * P(E_{2-5})}{P(E_1)} = P(E_{2-5}) \quad (15)$$

Aus (13) mit  $k=4$  ergibt sich  $P(E_{2-5})=0,294$ . Wird wegen einer Wägelinie der Umkehrpunkt aller Abweiser verlegt, so kommt es mit einer Wahrscheinlichkeit von 29,4 % bei mindestens einem der anderen vier Abweiser zu einer kritischen Annäherung der Kartoffeln. Somit wird prinzipiell das Auftreten der Stopper nicht verhindert. Auch ein Verringern der kritischen Zeit  $t_{krit}$  beseitigt das Auftreten der Stopper nicht grundsätzlich. Eine Lösung könnte darin bestehen, dass jede Wägelinie mit einem separaten Linearantrieb angetrieben wird. Jede Wägelinie könnte dann unabhängig von den anderen den Umkehrpunkt wählen. Da aber das Leeren der Magazine bei allen fünf Linien gleichzeitig erfolgen muss und nur während der Rückbewegung der Abstreifer erfolgen kann, müssten sich die Unterschiede in den Abstreiferbewegungen während der Rückbewegung wieder ausgleichen. Auf Grund der absehbaren Komplexität einer solchen Steuerung ist die Teilmengenbildung mit Abstreifer und Magazin nicht weiter verfolgt worden.

#### Variante 2: Teilmengenbildung mit Hilfe eines V-Bandes

Bei dieser Variante (**Bild 15**) werden die Knollen nach der Waage an ein langsam förderndes V-Band übergeben. In dem V-Band ordnen sich die Knollen hintereinander an und der lichte Abstand zwischen den Knollen wird durch die verringerte Fördergeschwindigkeit aufgehoben. In definierten Zeitintervallen werden die beiden Bänder mit Hilfe eines Pneumatikzylinders auseinander geklappt, so dass die Knollen als Teilmenge auf das darunter liegende Querförderband fallen. Wie bei der Variante 1 (**Bild 11**) sorgen Mitnehmer auf dem Querförderband für eine Trennung der Teilmengen und eine sofortige Weiterförderung. Am Ende des Querförderbandes fallen die Knollen wie bei der Variante 1 in ein Sammelband.

Zur Abschätzung der Funktionssicherheit wurden in 30 Messreihen jeweils 10 Knollen über eine Bandlinie zum V-Band gefördert und von diesem in Teilmengen unterteilt. Jede Messreihe beinhaltete zweimaliges Füllen und Öffnen des V-Bandes.

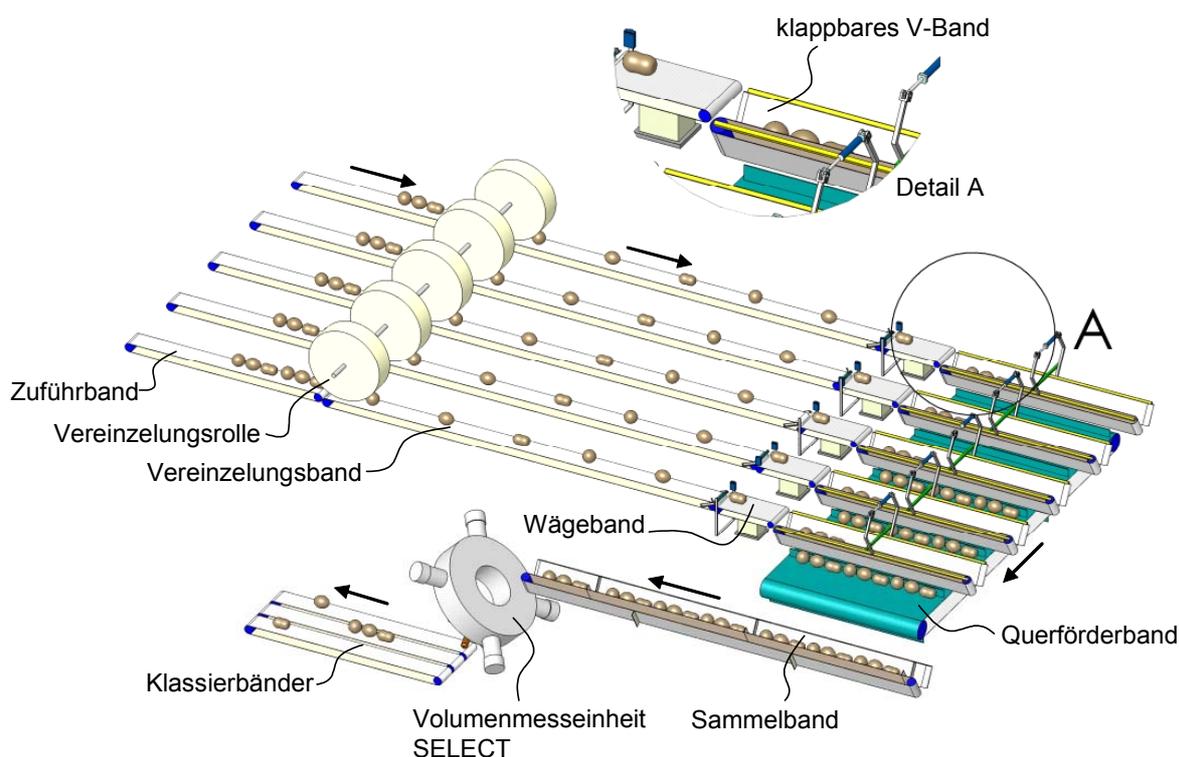
Bei den Versuchsreihen ergab sich, dass 2,6 % der Knollen durch das gerade geöffnete V-Band hindurchfallen oder beim Schließen des V-Bandes eingeklemmt werden. Als

Folge davon lagen 12,3 % der Knollen auf dem Querförderband nicht in der richtigen Reihenfolge.

Wesentlichen Einfluss auf den Umfang durchgefallener und eingeklemmter Knollen haben die Häufigkeit des Öffnens und die Öffnungsdauer. Durch Optimieren beider Parameter kann der Anteil falsch liegender Knollen verringert werden, aber prinzipiell sind die Fehler nicht zu vermeiden.

Um zu verhindern, dass Knollen durch das geöffnete V-Band fallen oder von diesem eingeklemmt werden, ist vor dem V-Band ein Auswerfer angeordnet worden (**Bild 16**). Dieser Auswerfer lenkte alle ankommenden Knollen während der Öffnungsphase des V-Bandes in einen Auffangbehälter. Durch den Einsatz des Auswerfers kamen die Knollen in der richtigen Reihenfolge auf das Querförderband, so dass die Teilmengenbildung abgesichert war.

Durch den Auswerfer ergaben sich die Nachteile, dass sich der mögliche Massestrom der Wägelinie um die ausgeworfenen Knollen reduziert und eine Rückführung der ausgeworfenen Knollen erforderlich wird.



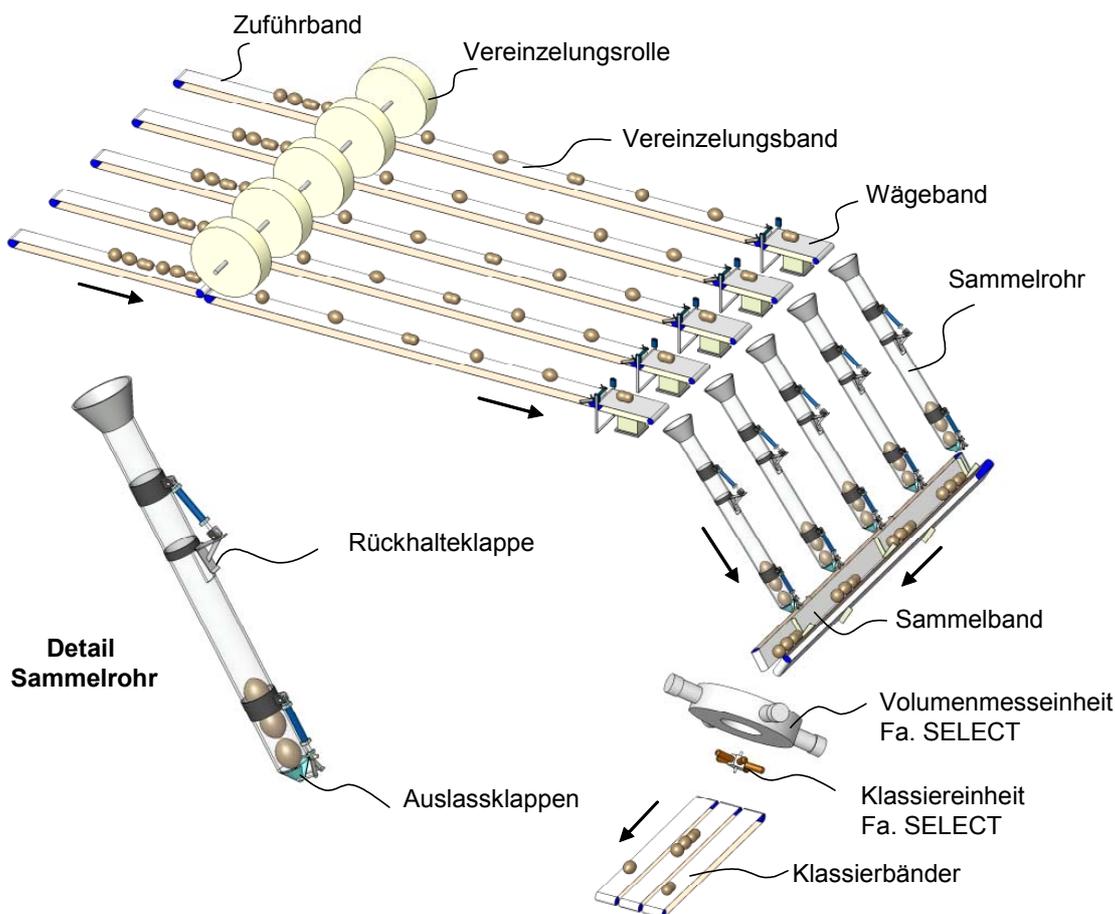
**Bild 15:** Wägelinie mit klappbarem V-Band zur Bildung von Teilmengen  
Abbildung ohne Auswerfer und Knollenrückführung



**Bild 16:** Klappbares V-Band mit vorgelagertem Auswerfer und einem Magazin zum Sammeln der ausgeworfenen Knollen

### Variante 3: Sammelrohr zur Teilmengenbildung

In der dritten Variante wird nach der Waage ein rohrförmiges Magazin (Sammelrohr) angeordnet (**Bild 17**). Das Sammelrohr ist am unteren Ende durch Auslassklappen verschlossen. Die Knollen fallen nach der Waage in das Sammelrohr und stapeln sich in der Reihenfolge ihres Eintreffens. Mit Hilfe einer Lichtschranke (nicht dargestellt) wird gezählt, wie viele Knollen sich seit dem letzten Leeren im Rohr angesammelt haben. In definierten Zeitintervallen werden die Klappe am Rohrausgang aller fünf Sammelrohre gleichzeitig geöffnet, so dass die bis dahin zurückgehaltenen Knollen als Teilmengen unter Beibehaltung ihrer Reihenfolge auf das darunter befindliche V-Band fallen. Der seitliche Abstand der Wägelinien muss größer sein als die Ablagelänge einer Teilmenge auf dem Sammelband.



**Bild 17:** Wägelinie mit Sammelrohre zur Bildung von Teilmengen

Um sicher zu stellen, dass während des Öffnens nur die bis dahin angesammelten Knollen das Rohr verlassen, werden alle neu ankommenden Knollen durch eine Rückhalteklappe in der Mitte des Sammelrohres aufgehalten.

In Versuchsreihen wurden die Öffnungsdauer und die Fördergeschwindigkeit des Sammelbandes optimiert. Die Öffnungsdauer muss lang genug gewählt werden, damit alle Knollen herausfallen können. Die Förderbandgeschwindigkeit muss zum einen hoch sein, damit herausgefallene Knollen sofort weggefördert werden und kein Hindernis für nachfolgende Knollen darstellen. Zum anderen muss die Fördergeschwindigkeit gering gehalten werden, damit sich ein möglichst kleiner lichter Abstand zwischen den Knollen einstellt.

In einem ersten Schritt wurde davon ausgegangen, dass sich die Auslassklappen alle 2 s öffnen, d.h. wenn sich bis zu 10 Knollen im Sammelrohr befinden. Je Versuch wurden 10 Knollen in das Sammelrohr gefüllt, wobei entweder runde oder lange Knollen oder runde und lange Knollen gemischt verwendet wurden. Die 10 Knollen wurden bei vorgegebener Öffnungszeit der Auslassklappen auf das Sammelband entleert. Die Fördergeschwindigkeit des Sammelbandes wurde stufenweise erhöht. Zu jeder der unter-

suchten Kombinationen von Öffnungszeit und Fördergeschwindigkeit erfolgten 30 Befüllungen bzw. Entleerungen.

Zwei Fehlerquellen zeigten sich bei den Messreihen (**Bild 18**):

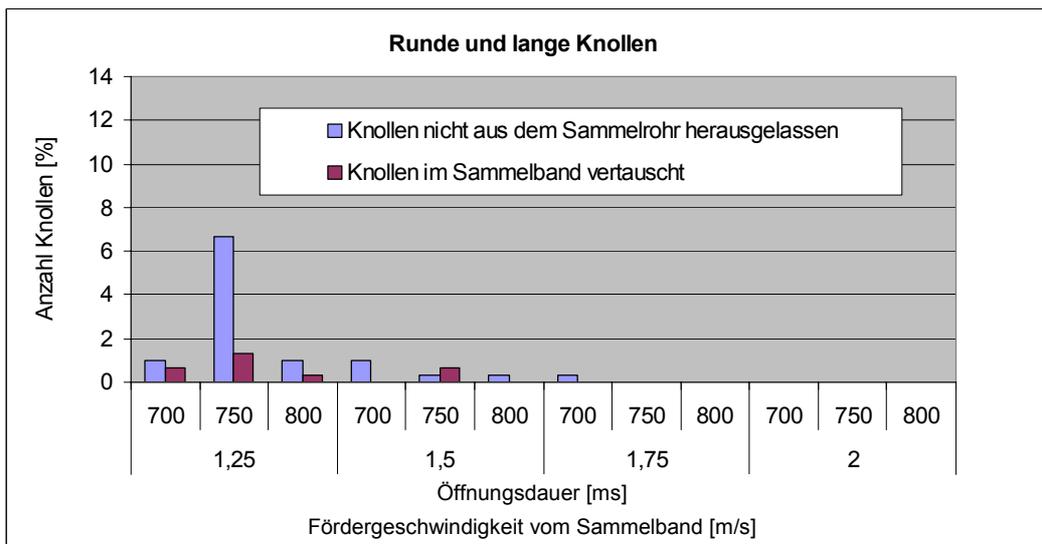
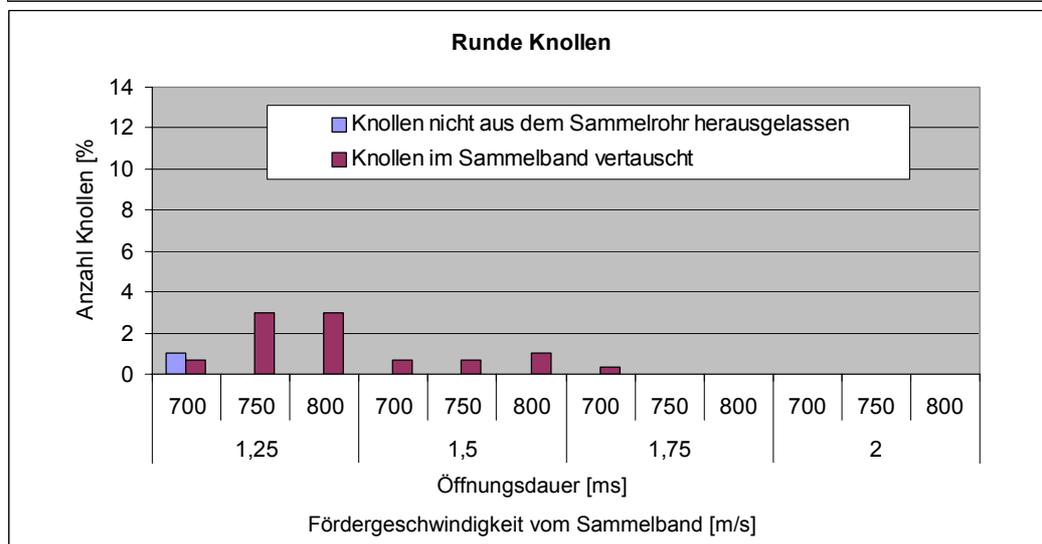
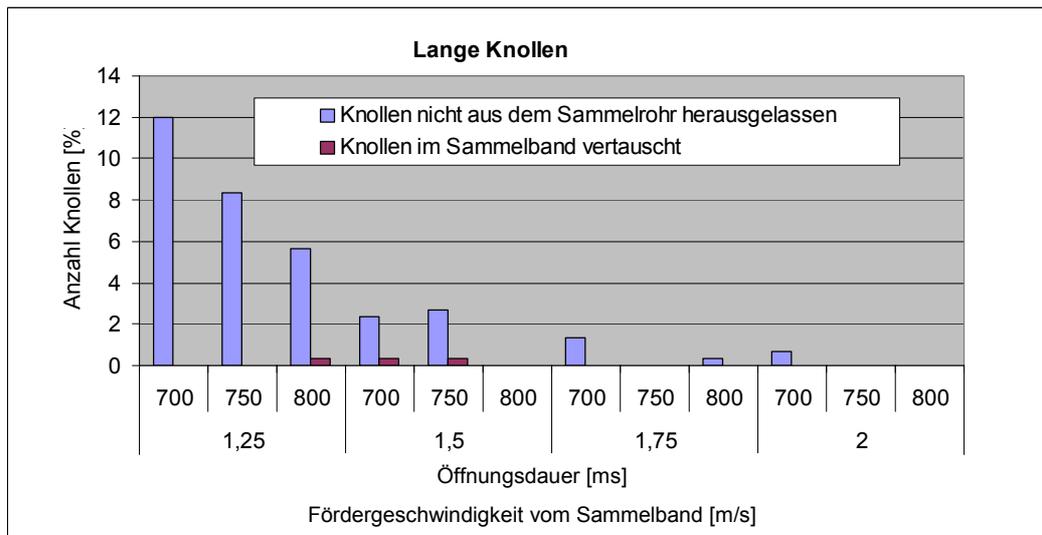
- nicht alle Knollen fallen innerhalb der Öffnungsdauer aus dem Sammelrohr heraus
- die auf das Sammelband gefallenen Knollen liegen nicht in der richtigen Reihenfolge

Erwartungsgemäß erforderten lange Knollen eine lange Öffnungsdauer um vollständig herausfallen zu können. Aber auch bei einer Öffnungsdauer von 800 ms fielen erst dann alle Knollen heraus, wenn die bereits herausgefallenen Knollen mit einer Bandgeschwindigkeit von 2 m/s schnell genug weg gefördert worden sind. Runde Knollen fielen bereits bei 750 ms Öffnungsdauer und 1,25 m/s Fördergeschwindigkeit heraus. Runde Knollen neigten aber stärker zum Verrollen und damit zum Vertauschen der Reihenfolge im Sammelband. Bei gemischten Partien mit runden und langen Knollen waren 750 ms und 1,75 m/s für eine fehlerfreie Funktion notwendig.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Öffnungsdauer der Auslassklappen mindestens 750 ms betragen muss und die Geschwindigkeit vom Sammelband 1,75 m/s. Aus diesen Parametern resultiert eine Ablagelänge der Knollen von etwa 1,4 m auf dem Sammelband.

Entsprechend der Gesamtkonzeption (**Bild 17**) müssen sich die Wägelinien in einem seitlichen Abstand von mehr als 1,4 m befinden. Damit ergibt sich eine Gesamtbreite der Anlage von 7 m.

Zur Reduzierung der Baubreite wurde das Entleeren der Sammelrohre in Intervallen von 1 s untersucht, d.h. wenn sich bis zu 5 Knollen angesammelt haben. Es zeigte sich dass zum fehlerfreien Entleeren 500 ms und 1,75 m/s notwendig sind (**Tab. 3**). Damit ist eine Ablagelänge von nur 0,875 m verbunden. Die Baubreite der Gesamtanlage reduziert sich auf etwa 4,38 m.



**Bild 18:** Fehler bei der Teilmengenbildung von Knollen mit Hilfe eines Sammelrohres in Abhängigkeit von der Öffnungsdauer der Auslassklappen und der Fördergeschwindigkeit des Sammelbandes

Je Säule 30 Messreihen mit je 10 Knollen

**Tabelle 3:** Öffnungsdauer [ms] der Auslassklappen zum Entleeren von 5 Knollen

	Geschwindigkeit vom Sammelband [m/s]	
	1,75	2,0
Knollenform		
rund	350	350
lang	500	500
rund und lang gemischt	450	450

#### 4.4.5 Auswahl der Vorzugsvariante für die Gesamtanlage

Die Versuche zur Teilmengenbildung haben gezeigt, dass das geordnete Zusammenführen der Knollen eine schwierige Aufgabe ist. Prinzipiell wird die Prozessfolge, Teilmengen zu bilden und diese geordnet zusammenzuführen, für richtig gehalten. Werden die Teilmengen bis zur Volumenmeseinheit voneinander getrennt gefördert, z.B. durch Mitnehmer, so kann sich ein Fehler in der Reihenfolge der Knollen nur auf die Knollen einer Teilmenge auswirken.

Jede der 3 untersuchten Varianten hat Vor- und Nachteile (**Tab. 4**), so dass sich eine eindeutige Vorzugslösung nicht abzeichnet.

**Tabelle 4:** Vorteile und Nachteile der erprobten Varianten zur Teilmengenbildung

	Abweiserband und Magazin	klappbares V-Band	Sammelrohr
Teilmengenbildung	nicht gesichert (Auswerfer nicht getestet, aber aussichtsreich)	nur mit Auswerfer gesichert	gesichert
Knollenrückführung	nicht erforderlich (mit Auswerfer erforderlich)	erforderlich	nicht erforderlich
Massestrom	unverändert (mit Auswerfer reduziert)	reduziert um die zurückgeführten Knollen	unverändert
Einfluss der Knollengröße auf die Funktion	Klemmgefahr im Magazin (Abhilfe durch andere Magazingestaltung)	keine	Klemmgefahr im Sammelrohr (Abhilfe durch vorherige Größenfraktionierung)
Masse der bewegten Teile	mittel	hoch	sehr gering
Anzahl der bewegten Teile	hoch	mittel	gering

Gegen die Variante 1 mit dem Bandabweiser spricht die Tatsache, dass Stopper nicht vermieden werden konnten. Nach den Erfahrungen bei der Variante 2 (klappbares V-Band) würden sich die Stopper vermeiden lassen, wenn kritische Knollen mit einem Auswerfer entfernt werden. Die Gefahr, dass sich große Knollen im Magazin verklemmen, kann durch eine geänderte Magazingestaltung verringert werden.

Beim klappbaren V-Band ist positiv, dass die Teilmengenbildung mit Hilfe eines Auswerfers sicher funktioniert und dass es offensichtlich keinen Einfluss der Knollengröße gibt. Die Knollenrückführung ist ein Nachteil dieser Variante. Je länger die Intervalle zwischen dem Öffnen der Bänder sind, d.h. je mehr Knollen angesammelt werden, desto geringer ist der Anteil zurückzuführender Knollen.

Das Sammelrohr zeichnet sich durch einen einfachen Aufbau aus und die Teilmengenbildung funktioniert zuverlässig. Weiterhin kommen wenig bewegte Teile zum Einsatz. Rein subjektiv besteht beim Sammelrohr die Gefahr, dass sich Knollen im Rohr oder am Rohreingang verklemmen. In den Versuchsreihen wurden keine Anzeichen von Verklemmen festgestellt, solange die Knolldurchmesser geringer waren als die des Sammelrohres.

Insgesamt wird eingeschätzt, dass die Variante mit dem klappbaren V-Band am ehesten geeignet ist, in der Praxis eingesetzt zu werden.

## 5 Weiterführende Untersuchungen zur Massebestimmung

Mit der Bandwaage sind generell zwei Nachteile verbunden:

- Die Knollen müssen vor der Massebestimmung auf einen Abstand von 300 mm vereinzelt werden, damit sich immer nur eine Knolle auf dem Wägebund befindet. Durch die Vereinzelnung verringert sich die mögliche Stückzahl je Zeiteinheit.
- Die Übergabestelle vom Zuführband auf das Wägebund (**Bild 6j**) kann Knollen zu Eigenbewegungen anregen. Dadurch wird das Einschwingen der Waage auf den Masseendwert erschwert und der Messfehler vergrößert.

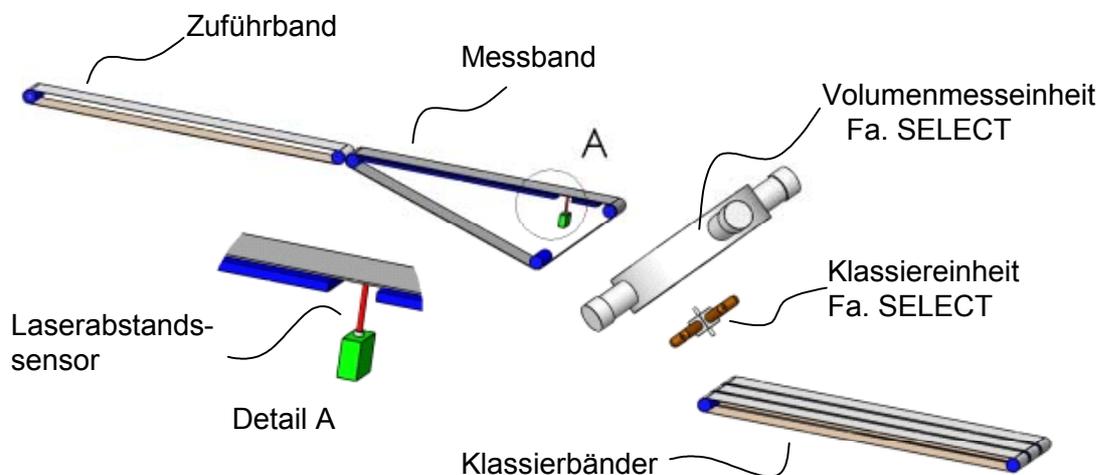
Zur Vermeidung beider Nachteile ist versucht worden, die Masse der Knollen aus der Durchbiegung des Bandgurtes abzuleiten. Dazu ist die Unterlage an einer Stelle unter dem Gurt entfernt und ein Laser zur Abstandsmessung angebracht worden (**Bild 19**). Der verwendete Laser OADM 1216430/S35A der Firma Baumer electronic besitzt eine Auflösung von 5  $\mu\text{m}$ .

Da davon auszugehen war, dass Unterschiede im Gurtmaterial wesentlichen Einfluss auf die Durchbiegung haben, ist ein hochwertiger Endlosgurt mit Z-Verbindung der Firma Siegling verwendet worden. Die Bandwaagen der Firma WIPOTEC sind ebenfalls mit diesem Gurt ausgestattet.

Bei den Versuchen wurde wie folgt verfahren:

- Es wurde immer nur eine Knolle auf das Band gelegt, damit sich eine gleichbleibende Zugspannung im Gurt einstellt
- Das Auflegen erfolgte bei ruhendem Band und zwar immer auf eine gekennzeichnete Auflagestelle auf der Gurtmitte
- Die Auflagestelle wurde so gewählt, dass in der Zeit, in der die Knolle über die Messstelle gefördert wird, die Klebestelle des Gurtes nicht über eine Umlenkrolle geht
- Nach dem Auflegen der Knolle wurde das Band langsam beschleunigt
- Zum Vermeiden von Band- bzw. Gurtschwingungen ist mit einem Frequenzwandler eine Fördergeschwindigkeit von nur 0,2 m/s eingestellt worden
- Es wurden 6 Knollen mit 10-facher Wiederholung gemessen
- Bei den Knollen 1 bis 3 war durch einen glatten Schnitt an der Unterseite eine ebene Auflagefläche erzeugt worden
- Die Knollen 4, 5 und 6 hatten ihre natürliche Form behalten

Bei den Versuchen zeigt sich, dass eine masseabhängige Durchbiegung messbar ist (**Tab. 5**). Die spezifische Durchbiegung erwies sich mit 0,008 mm/g bis 0,013 mm/g als sehr gering. Auf Grund dieser geringen spezifischen Durchbiegung und der Standardabweichung der Messungen ergab sich ein relativer Fehler von bis zu 1,78 %. Erstaunlicherweise haben die Knollen 1 bis 3 mit der glatten Auflagefläche einen etwas höheren Fehler als die naturbelassenen Knollen 4, 5 und 6. In Anbetracht der Messfehler bei diesen idealen Versuchsbedingungen muss eingeschätzt werden, dass bei höheren Bandgeschwindigkeiten und unterschiedlichen Graden der Bandbelegungen und damit veränderter Zugspannung im Gurt mit weitaus höheren Messfehlern zu rechnen ist. Die Untersuchungen sind deswegen eingestellt worden.



**Bild 19:** Bestimmung der Durchbiegung eines Bandgurtes als Maß für die Knollenmasse

**Tabelle 5:** Messfehler bei der Bestimmung der Durchbiegung des Bandgurtes

Nr.	Masse [g]	Durchbiegung [mm]	spezifische Durchbiegung [mm/g]	Standardabweichung der Durchbiegung [mm]	Fehler der Masse <sup>1)</sup> [g]	relativer Fehler [%]
1	76,2	0,9028	0,0118	0,0161	1,36	1,78
2	117,1	1,2024	0,0103	0,0197	1,92	1,64
3	207,2	1,7116	0,0083	0,0138	1,67	0,81
4	79,6	1,0360	0,0130	0,0064	0,49	0,62
5	121,4	1,3041	0,0107	0,0132	1,23	1,01
6	191,4	1,6077	0,0084	0,0055	0,65	0,34

1) Berechnet aus der Standardabweichung der Durchbiegung und der spezifischen Durchbiegung

## 6 Bestimmung des Stärkegehaltes über spektrale Messungen

Zur Bestimmung des Stärkegehaltes, bzw. damit zusammenhängender Hilfsgrößen, wird eine Kartoffelknolle als Messobjekt von Laserstrahlen durchdrungen. Für die Absorption der Lichtintensität bei einer bestimmten Wellenlänge gilt das Lambert-Beer'sche-Gesetz (20):

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot c \cdot d} \quad (20)$$

mit:

$I_0$	einfallende Lichtintensität
$I$	transmittierte Lichtintensität
$\alpha$	spezifischer Absorptionskoeffizient
$c$	Konzentration des gesuchten Stoffes
$d$	durchstrahlte Schichtdicke

Die einfallende Lichtintensität  $I_0$  ist bekannt und die Lichtintensität  $I$  nach der Durchdringung wird gemessen. Unbekannt sind neben der gesuchten Konzentration  $c$  der Absorptionskoeffizient  $\alpha$  und aufgrund der natürlichen Schwankungsbreite der Knollendurchmesser die durchstrahlte Schichtdicke  $d$ .

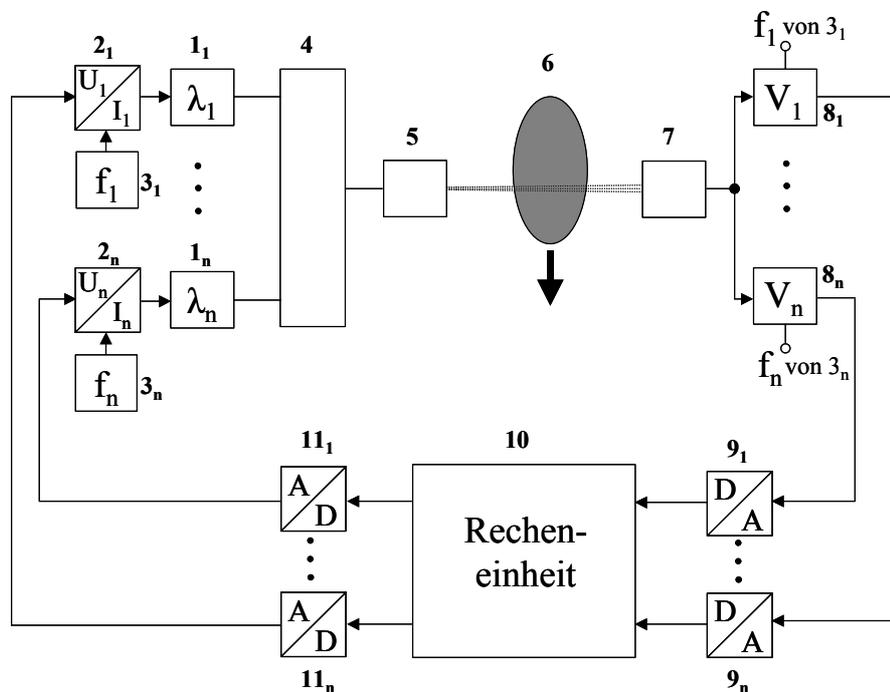
Zum Bestimmen der drei unbekanntenen Größen  $c$ ,  $\alpha$  und  $d$  wird davon ausgegangen, dass jede Knolle von drei modulierten Laserstrahlen verschiedener Wellenlängen durchstrahlt wird. Mit Gleichung (20) für jede der drei Wellenlänge ergibt sich ein Gleichungssystem, mit dessen Hilfe die drei unbekanntenen Größen  $c$ ,  $\alpha$  und  $d$  ermittelt werden können.

Geplant war eine Versuchsanordnung (**Bild 20**), bei der die mit einem Kollimator (5) parallel gerichteten und durch Oszillatoren (3) mit unterschiedlichen Frequenzen modu-

lierten Laserstrahlen von Laserdioden (1) annähernd deckungsgleich in einem gemeinsamen Strahlengang direkt auf einen gemeinsamen optischen Sensor (7), z.B. eine Si-Photodiode, gerichtet werden. Das Ausrichten auf einen Strahlengang erfolgt durch eine geeignete optische Vorrichtung (4) in Form einer Faserankopplung oder durch Spiegelanordnungen.

Der optische Sensor wandelt den durch das Messobjekt (6) transmittierten Strahlenanteil in ein elektrisches Signal um. Für jeden Laserstrahl ist dem Sensor ein mit derselben Modulationsfrequenz arbeitender, phasenempfindlicher Gleichrichter bzw. Lock-In-Verstärker (8) nachgeschaltet, so dass an dessen Ausgang jeweils eine elektrische Spannung anliegt, die der transmittierten Lichtleistung dieses Laserstrahls entspricht. Die Spannungswerte werden von einem A/D-Wandler (9) digitalisiert und von einer Recheneinheit (10) ausgewertet.

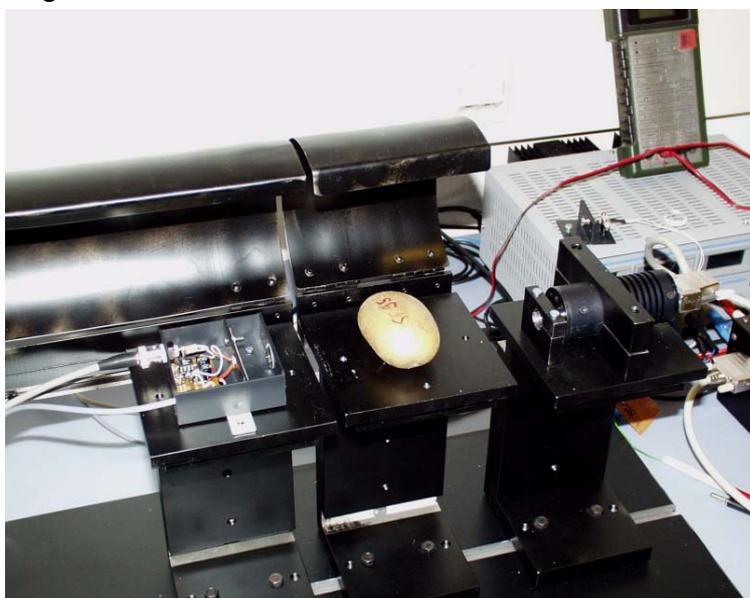
Die Bestimmung des Stärkegehaltes beruht auf dem seit langem bekannten Zusammenhang zwischen Stärkegehalt einer Knolle und ihrem Trockensubstanzgehalt (u.a. SAMOTUS et al. 1986; PUTZ, 1989). Der Trockensubstanzgehalt kann über eine NIR-Messung im Wellenlängenbereich von 800 bis 1000 nm gemessen werden (DULL et al., 1989; WEBER et al., 1996). Die Messung und Auswertung eines Spektralbereiches ist nach eigenen Untersuchungen zeitaufwendig.



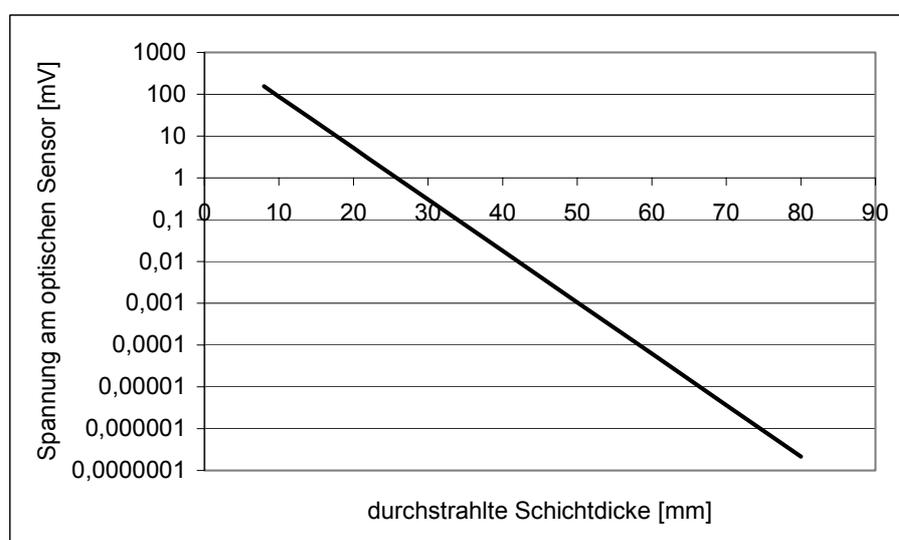
**Bild 20:** Schematische Darstellung zur Absorptionsmessung bei der Transmission von mehreren Laserstrahlen durch eine Knolle

Im Versuchslabor wurde eine Messstrecke zum Bestimmen der Absorption im Transmissionsverfahren aufgebaut (**Bild 21**). Um kurze Messzeiten und damit hohe Stückzahlen je Sekunde realisieren zu können, wurden die Messungen mit einem Laser bei 980 nm durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurde die Absorption bei Kartoffelscheiben mit unterschiedlicher Dicke untersucht (**Bild 22**). Die Messreihen zeigten wie erwartet, dass infolge der Absorption des Kartoffelgewebes die Intensität des transmittierten Lichtes exponentiell mit der Schichtdicke abnimmt. Während bei einer Kartoffelscheibe von 10 mm Dicke vom optischen Sensor eine Spannung von 100 mV erzeugt wird, sind es bei 30 mm nur noch ca. 0,3 mV und bei einer Scheibe von 60 mm (Durchmesser einer Knolle) weniger als  $10^{-4}$  mV. Auf Grund dieser ausgeprägten Absorption sind die Messreihen abgebrochen worden.



**Bild 21:** Messanordnung zur Bestimmung der Absorption im Transmissionsverfahren



**Bild 22:** Induzierte Spannung am optischen Sensor infolge des transmittierten Lichtes durch Kartoffelscheiben unterschiedlicher Dicke

## 7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Von Beginn an wurden zwei Lösungsansätze verfolgt, um Knollen in einem seriellen Gutstrom nach ihrem Stärkegehalt zu klassieren.

In einem Lösungsansatz wurde die Bestimmung des Stärkegehaltes über die Absorption eines Laserstrahls untersucht. Diese Untersuchungen sind auf Grund der unerwartet starken Absorption der Knollen nicht weitergeführt worden.

Im zweiten Lösungsansatz ist die Stärkebestimmung über die Dichte der Knollen untersucht worden. Schwerpunkt der ATB - Aufgaben war die dynamische Massebestimmung bei Einzelknollen. Dazu wurden Baugruppen für die Zuführung, Vereinzelung, Förderung, Übergabe und Wägung einzelner Knollen entwickelt und erprobt. Bei einer Fördergeschwindigkeit von 1,25 m/s können 4 bis 5 Knollen je Sekunde bei Einhaltung des zulässigen Wägefehlers gewogen werden.

Um die gestellte Vorgabe von 25 Knollen je Sekunde erfüllen zu können, sind Lösungen zum parallelen Einsatz von bis zu 5 Wägelinien erarbeitet worden. Als problematisch erwies sich die geordnete Zusammenführung der Gutströme von den parallelen Wägelinien bei der Zuführung zu einem optoelektronischen Verleseautomaten. Unter Laborbedingungen erwies sich die Bildung von Teilmengen und deren Zusammenführung als Vorzugslösung.

Die Volumenbestimmung war Aufgabe des Kooperationspartners SELECT und ist in einem Abschlussbericht zusammengefasst (POLLER UND LUDWIG, 2005). Hauptergebnis von SELECT ist der Nachweis, dass mit mehreren versetzt angeordneten Kameras die einhüllenden Koordinatendaten für Einzelknollen erfasst werden können und mit diesen Daten die Volumenberechnung erfolgen kann. Probleme können Knollen mit anomalen Wuchsformen bereiten, aber diese Knollen sind in den meisten Fällen ohnehin schon wegen ihrer Form auszusondern.

Aus den Arbeiten von SELECT und dem ATB ergibt sich als Vorzugsvariante, die Stärke der Einzelknollen über die Dichte zu bestimmen. Es wird als sinnvoll erachtet, bei der bevorstehenden Praxiseinführung zunächst nur eine Wägelinie einem optoelektronischen Verleseautomaten zuzuordnen. In dieser vereinfachten Ausführung ist dann der Einfluss von Störgrößen wie Anlagenschwingungen, Verschmutzungsgrad oder Restfeuchte an gewaschenen Knollen zu untersuchen.

Mit dem Vorhaben ist eine erhebliche Umweltentlastung verbunden:

- Durch das Klassieren der Kartoffeln in 3 Stärkeklassen verringert sich der Anteil an zerkochten Kartoffeln, die nicht mehr verwertet werden können. Dieser Kartoffelanteil muss nicht mehr energieintensiv angebaut, geerntet, gelagert, aufbereitet, vermarktet und transportiert werden
- Die Aussonderung glasiger und hohlherziger Kartoffeln erfolgt dann bereits vor der Verarbeitung und beeinträchtigt damit nicht die Qualität des Fertigproduktes

- Das Wasser in den bisher für die Klassierung verwendeten Salzbädern verschmutzt sehr schnell und muss häufig gewechselt werden. Dieses Abwasser kann zukünftig vermieden werden
- Das Gewebe von beim Garen zerfallenen Kartoffeln führt zu organisch hoch belastete Wasser. Die Reinigung dieses Wassers ist teuer
- Der Verbraucher kann erstmalig Kartoffeln nach dem vorgesehenen Verwendungszweck kaufen und einsetzen. Bisher waren Kartoffeln mit zu geringem Stärkegehalt nach dem Garen zu fest und solche mit zu hohem Stärkegehalt zu weich. Die zu festen oder zu weichen Kartoffeln wurden meistens dem Hausmüll zugeführt und dadurch mit einem hohen ökonomischen Aufwand entsorgt. Dieser bisher nicht konkret einschätzbare Anteil wird verringert

## 8 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die umfangreichen Untersuchungen haben gezeigt, dass zur Bestimmung des Stärkegehaltes einzelner Knollen der Lösungsweg über die Dichtebestimmung zu wählen ist. Eine Anlage zur Masse- und Volumenbestimmung ist trotz ihrer Baugröße dennoch akzeptabel, weil die Massebestimmung eine Funktionserweiterung des optoelektronischen Verleseautomaten darstellt, der bereits in modernen großen Verarbeitungsanlagen zum Erkennen von Knollen mit Beschädigungen und Formfehlern eingesetzt wird.

Mit den Ergebnissen der anstehenden Praxiserprobung wird sich zeigen, inwieweit mehrere Wägelinien parallel eingesetzt werden müssen.

Die wirtschaftliche Umsetzung wird zukünftig noch an Interesse gewinnen, wenn es um die Bestimmung des Kochtyps bei Kartoffeln geht. Gegenwärtig wird in einem gemeinsamen Forschungsvorhaben der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft Zollikofen und dem ATB eine Methode zur objektiven Bestimmung des Kochtyps bei Kartoffeln entwickelt (WORMANN & HOFFMANN, 2003 a, b; OCHSENBEIN ET AL., 2005). Dabei nimmt der Stärkegehalt der Kartoffeln eine zentrale Stellung ein. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Schweiz bestehen berechtigte Voraussetzungen, die Ergebnisse zum Stärkesensor unmittelbar auch in der Schweiz wissenschaftlich und/oder wirtschaftlich zu nutzen.

Im Jahre 2000 wurden von den 20 großen Abpackanlagen – sie belieferten die 10 größten Handelseinrichtungen mit Kleinabpackungen – mehr als 540.000 t Kartoffeln ausgeliefert. Damit wurden etwa 70...80 % der Kleinabpackungen für den Lebensmitteleinzelhandel in diesen Großanlagen hergestellt (SCHUHMAN & HENZE, 2000). Zu beobachten ist zwar ein Rückgang des Pro-Kopf-Verbrauchs an Speise- und Speisefrühskartoffeln in Deutschland, aber gleichzeitig eine weitere Konzentration der Herstellung von Kleinabpackungen für den Lebensmitteleinzelhandel in Großanlagen. Damit kann von nahezu gleichen Abpackmengen in den Großanlagen der Landwirtschaft und des Handels ausgegangen werden. Bei einem Durchsatz von 6,0 t/h je Verleseeinheit, können allein in Deutschland etwa 50 Verleseeinheiten eingesetzt werden.

Hinzu kommt ein Bedarf aus den über 70 Betrieben der Kartoffelveredlung (BRINKMANN, 1999), denn Großunternehmen zur Herstellung von Kartoffelprodukten haben den Nutzen von elektronischen Verleseeinrichtungen erkannt und setzen diese zunehmend ein. In Deutschland werden jährlich über 2 Mio. t Kartoffeln zu Veredlungsprodukten verarbeitet (HAMBLOCH & MENTH, 2002).

Wie in Deutschland, besteht auch in anderen Ländern mit umfangreichem Kartoffelanbau eine Nachfrage nach Stärkesensoren. Im Vergleich zu Deutschland mit 5,8 Mio. t, werden für das Vereinigte Königreich 6,7 Mio. t, für Frankreich 3,1 Mio. t und für die Niederlande 1,6 Mio. t jährliche Kartoffelmengen als Speisekartoffeln ausgewiesen (HAMBLOCH & MENTH, 2002). Für die Herstellung von Kartoffelprodukten werden als Kartoffelfrischgewicht in Deutschland 2,4 Mio. t, in den Niederlanden 3,1 Mio. t, im Vereinigten Königreich 2,1 Mio. t und in Frankreich 1,2 Mio. t genannt (HAMBLOCH & MENTH, 2002).

## 9 Literaturverzeichnis

- ANONYM (1992):** Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Volumens, der Form und des Gewichts von Fisch oder anderen Objekten. Deutsches Patentamt, Offenlegungsschrift DE 42 04843 A1
- ANONYM (1994a):** Anlage zur Bestimmung der Holzgüte von Schnitthölzern. Deutsches Patentamt, Offenlegungsschrift DE 42 23787 A1
- ANONYM (1994B):** Selbstkalibrierendes Gas-Pyknometer zur Bestimmung der Dichte, Volumen und Porosität von flüssigen und festen Stoffen. Deutsches Patentamt, Offenlegungsschrift DE 42 38684 A1
- ANONYM (1995):** Verordnung (EG) Nr. 97/95 der Kommission vom 17. Januar 1995 zur Einführung einer Kontingentsregelung für die Kartoffelstärkeerzeugung. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 24.01.1995 Nr. L16/3 - 16/15
- ANONYM (2001):** WZ Präzisionswägezelle. Firmenschrift, WIPOTEC, Kaiserslautern
- AWETA:** Sortieren nach Gewicht. Firmenschrift. AWETA, Nootdorp (NL)
- BEITZ W., GROTE K.-H. (Hrsg.) (1997):** Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 19. Auflage
- BIRTH G. S., DULL G. G., RENFROE W. T., KAYS S. J. (1985):** Nondestructive Spectrophotometric Determination of Dry Matter in Onions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110 (2): 297-303
- BRINKMANN H. E. (1999):** Umfang und Standorte der Veredlung von Kartoffeln zu Lebensmitteln. In: P. Schuhmann(Hrsg.): Die Erzeugung von Kartoffeln zur industriellen Verarbeitung. Buchedition Agrimedia GmbH Bergen: 12-13
- CZICHOS H. (Hrsg) (1991):** Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 29. Auflage
- CLARK C. J.; MCGLONE V. A., DE SILVA H. N., MANNING M. A., BURDON J.; MOWAT A. D. (2004):** Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology* 32: 147-158
- CLARK C. J., MCGLONE V. A., REQUEJO C.; WHITE A., WOOLF A. B. (2003):** Dry matter determination in "Hass" avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 29: 300-307
- COZZOLINO D., FASSIO A., GIMENEZ A. (2000):** The use of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the composition of whole maize plants. *Journal of Science of Food and Agriculture* 81: 142-146
- DULL G. G., BIRTH G. S., LEFFLER R. G. (1989):** Use of near infrared analysis for the nondestructive measurement of dry matter in potatoes. *American Potato Journal* 66: 215-225
- FRITZSCH, W.; HÄUBLER, W. (Hrsg) (1983):** Taschenbuch Maschinenbau - Band 1. VEB Verlag Technik, Berlin, 758 S.
- GREEFA: MSE 2000 -Tomaten.** Firmenschrift, Greefa Machinebouw B.V., Geldermalsen (NL)
- HAMBLOCH CH.; MENTH H. (2002):** ZMP-Bilanz Kartoffeln 2002. Verlag ZMP Zentrale Markt und Preisberichtsstelle GmbH Bonn
- HARTMANN R. (1998):** Entwicklung und Anwendung einer NIR-spektrometrischen Methode zur Differenzierung von Kartoffelqualitäten im Organischen Landbau. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, 100 S.
- HAASE N. U. (2004):** Abschätzung von Trockenmasse und Stärkegehalt. *Kartoffelbau* 55 (11): 408-410

- KAWANO S., WATANABE, H., IWAMOTO M. (1992):** Determination of Sugar Content in Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy with Fiber Optics in Interactance Mode. *J. Japan. Hort. Sci.* 61(2): 445-451
- KAWANO S., FUJIWARA T., IWAMOTO M (1993):** Nondestructive Determination of Sugar Content in "Satsuma" Mandarin using Near Infrared (NIR) Transmittance. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62 (2): 465-470
- MCGLONE V. A., JORDAN R. B., SEELYE R., CLARK C. J. (2002):** Dry-matter – a better predictor of the post-storage soluble solids in apples? *Postharvest Biology and Technology* 28: 431-435
- MEREDITH, P. (1989):** Describing size and shape of potato tubers by numbers. *Lebensmittelwissenschaft & Technologie* 22 (6): 368-375
- MEREDITH P. (2002):** Good grading is necessary for profitable marketing. *Proceedings of the 15th Triennial Conference of the EAPR, 14.-19. Juli 2002, Hamburg* : 55
- MUNZERT M., SCHWEITZER E., VOIT K. (1987):** Eine Stärkewaage mit variabler Einwaage und Datenspeicherung. *Der Kartoffelbau* 38 (10): 377-380
- OCHSENBEIN C., HOFFMANN T., KEISER A. (2005):** Development of a method to predict the cooking type of potatoes in trade. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> Triennial Conference of EAPR, 17-22 July 2005, Bilbao*: 357-360
- PEIRS A., TIRRY J., VERLINDEN B., DARIUS P., NICOLAI B. M. (2003):** Effect of biological variability on the robustness of NIR models for soluble solids content of apples. *Postharvest Biology and Technology* 28: 269-280
- POLLER J., LUDWIG J. (2005):** Entwicklung eines Echtzeitsensors für die umweltschonende Stärkebestimmung bei Kartoffeln. Abschlussbericht Förderkennzeichen PTJ UMW 0330272 B, Firma SELECT, Hartmannsdorf
- PUTZ, B., WEBER L. (1996):** NIT für die Rohstoffbewertung. Bericht über die 18. Kartoffeltagung 1996. Veröffentlichungen der Arbeitsgemeinschaft Kartoffelforschung e.V., Detmold, Band 18; S. 28-34
- PUTZ B. (1989):** Kartoffeln: Züchtung - Anbau - Verwertung. Hamburg, Behr's Verlag, 263 S.
- SACHS L. (1992):** Angewandte Statistik. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 7. Auflage, 848 S.
- SARANWONG S., SORNSRIVICHAIN J., KAWANO S. (2003):** On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectrosc* 11: 283-293
- SAMOTUS B., LEJA A., SCIGALSKI A., DULINSKI J., SIWANOWICZ R. (1986):** Analytical remarks to explain some discrepancies in the determination of dry matter and starch from potato tubers density. *starch/stärke* 38 (1): 14-19
- SCHÄFER W., FLECHSIG (Hrsg), (1985):** Das Getreide – Eine Waren- und Sortenkunde. Verlag Alfred Strothe - Verlagsgruppe Deutscher Fachverlag Frankfurt am Main, 5. Auflage
- SCHICK R., KLINKOWSKI M. (Hrsg.) (1961):** Die Kartoffel – Ein Handbuch (Band I) VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- SCHUHMAN P., HENZE G. (2000):** Stand und Entwicklungstrends der Vermarktung von Kartoffeln. *Kartoffelbau* 51(6): 270-277
- TAI G. C. C., MISENER G. C., ALLBABY E. S. , McMILLAN L. P. (1985):** GRAV-O-TATER: A computer apparatus for measuring specific gravity. *American Potato Journal* 62: 403-408
- TAUSCHER B. (1999):** Nichtinvasive Qualitätsbestimmungsmethoden pflanzlicher Nahrungsmittel– Stand und Perspektive. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) e.V. 34. Vortragstagung, Freising Weihenstephan: 385-394

- 
- ULBRICHT G. (1998):** Nährstoffrelation in Lebensmitteln als Qualitätskriterium. Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 18: 270–277
- WEBER L., HAASE N. U., PUTZ B. (1996):** Rohstoffbewertung von Kartoffeln mittels NIT. Kartoffelbau 47 (9/10): 342-344
- WORMANNS G., HOFFMANN T. (2003a):** Möglichkeiten und Grenzen einer objektiven Kochtyp Bestimmung bei Speisekartoffeln. 25. Kartoffel-Tagung in Detmold 14.-15. Mai 2003
- WORMANNS G., HOFFMANN T. (2003b):** Objektive Ermittlung des Kochtyps. Kartoffelbau 54 (9/10): 363-366
- YAPTENCO K. F., SUZUKI T., KAWAKAMI S.; SATO H.; TAKANO K., KOZIMA T. T. (2000):** Non-destructive Determination of sugar content in "Danshaku" potato (*Solanum tuberosum* L.) by Near Infrared Spectroscopy. Jour. Agri. Sci. Tokyo 44: 284-294

## Abkürzungsverzeichnis

ATB		Institut für Agrartechnik Bornim e.V.
CH		Kohlenwasserstoff
Friweika		Friweika e.G. Weidensdorf
NIR		Nah-Infra-Rot
OH		Hydroxylgruppe
SELECT		SELECT® – Ingenieurgesellschaft für Optoelektronik, Bilderkennung und Qualitätsprodukte, Hartmannsdorf
$\alpha$		spezifischer Absorptionskoeffizient
c		Konzentration des gesuchten Stoffes
d		durchstrahlte Schichtdicke
$g_{st}$	%	Gehalt an Stärke
i		Zählvariable
I		transmittierte Lichtintensität
$I_0$		einfallende Lichtintensität
k		Anzahl der Wägelinien
m	g	Masse
$m_{TP}(t_n)$		Wert vom Tiefpass zum Zeitpunkt $t_n$
$m(t_n)$		eigentlicher Signalwert zum Zeitpunkt $t_n$ (Messwert)
n		Zählvariable
P(E)		Eintreffenswahrscheinlichkeit des Ereignisses E
r		Korrelationskoeffizient
$s_{gSt}$	%	Standardabweichung des Stärkegehaltes
$s_m$	g	Standardabweichung der Masse
$s_V$	cm <sup>3</sup>	Standardabweichung des Volumens
$s_A$	m	Weg des Abweiserbandes
$s_K$	m	Weg der Knolle
$s_{KK}$	m	Abstand zwischen zwei Knollen
$s_{krit}$	m	Mindestabstand
$t_{krit}$	s	kritische Zeit zur Beschleunigung des Abweiserbandes
$t_n$		Zeitpunkt der Messung
$t_{start}$		Zeitpunkt, bei dem der Schwingungsverlauf erstmalig den Mittelwert erreicht
V	cm <sup>3</sup>	Volumen
$v_K$	m/s	Geschwindigkeit der Knolle
u		Dämpfungsmaß

**Bilderverzeichnis**

Bild 1	Bandwaage der Firma WIPOTEC mit Lichtschranken zum Auslösen der Messung	12
Bild 2	Auswirkung der zufälligen Fehler bei der Masse - und Volumenbestimmung auf den zufälligen Fehler des Stärkegehaltes	14
Bild 3	Funktionsweise der Bandwaage (Werksdarstellung WIPOTEC)	15
Bild 4	Auswertung des Signalverlaufes mit Tiefpässen und Regressionsgleichungen	17
Bild 5	Schrittweise Optimierung der Baugruppen bis zur Waage	18
Bild 6	Varianten der Förderung, Übergabe und Wägung	18
Bild 7	Zufälliger relativer Fehler bei der Massebestimmung in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit (Handauflage)	20
Bild 8	Knollen mit unterschiedlicher Masse und Form zur Bestimmung des zufälligen Wägefehlers	20
Bild 9	Untersuchte Varianten zum Vereinzeln der Knollen	21
Bild 10	Zufälliger relativer Fehler bei der Massebestimmung in Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit (maschinelle Zuführung)	22
Bild 11	Wägelinie mit Bandabweiser und Magazin zur Bildung von Teilmengen	24
Bild 12	Fehler bei der Positionierung von Knollen in einem Magazin in Abhängigkeit von der Fördergeschwindigkeit und der Geschwindigkeit des Abstreiferbandes	25
Bild 13	Kritischer Abstand zwischen Knolle und Abweiserband im Umkehrpunkt der oszillierenden Bewegung des Abweisers	26
Bild 14	Mögliche Konstellation zwischen Knolle und Abweiserband auf zwei Wägelinien bei synchroner Abweiserbewegung	27
Bild 15	Wägelinie mit klappbarem V-Band zur Bildung von Teilmengen	29
Bild 16	Klappbares V-Band mit vorgelagertem Auswerfer und Magazin zum Sammeln der ausgeworfenen Knollen	30
Bild 17	Wägelinie mit Sammelrohr zur Bildung von Teilmengen	31
Bild 18	Fehler bei der Teilmengenbildung von Knollen mit Hilfe eines Sammelrohrs in Abhängigkeit von der Öffnungsdauer der Auslassklappen und der Fördergeschwindigkeit des Sammelbandes	33
Bild 19	Bestimmung der Durchbiegung eines Bandgurtes als Maß für die Knollenmasse	36
Bild 20	Schematische Darstellung zur Absorptionsmessung bei der Transmission von mehreren Laserstrahlen durch eine Knolle	38
Bild 21	Messanordnung zur Bestimmung der Absorption im Transmissionsverfahren	39
Bild 22	Induzierte Spannung am optischen Sensor infolge des transmittierten Lichtes durch Kartoffelscheiben unterschiedlicher Dicke	39

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1	Messtechnik zur Bestimmung der Masse	13
Tab. 2	Technische Parameter der Wägezelle WZ 5000 – analog	15
Tab. 3	Öffnungsdauer [ms] der Auslassklappen zum Entleeren von 5 Knollen	34
Tab. 4	Vorteile und Nachteile der erprobten Varianten zur Teilmengenbildung	34
Tab. 5	Messfehler bei der Bestimmung der Durchbiegung des Bandgurtes	37

**In der Reihe  
Bornimer Agrartechnische Berichte**

sind bisher erschienen:

Heft 1	Technik und Verfahren der Landschaftspflege	1992
Heft 2	Beiträge zur Lagerung und Verarbeitung pflanzenbaulicher Produkte	1993
Heft 3	Technik und Verfahren in der Tierhaltung	1993
Heft 4	Technik und Verfahren der Landschaftspflege und für die Verwendung der anfallenden Materialien	1994
Heft 5	Verfahrenstechnik der Aufbereitung, Lagerung und Qualitätserhaltung pflanzlicher Produkte	1994
Heft 6	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe und Verfahren für Reststoffbehandlung	1994
Heft 7	Preußische Versuchs- und Forschungsanstalt für Landarbeit und Schlepperprüffeld in Bornim 1927 bis 1945	1995
Heft 8	Qualitätssicherung und Direktvermarktung	1996
Heft 9	Konservierende Bodenbearbeitung auf Sandböden	1996
Heft 10	Anwendung wärme- und strömungstechnischer Grundlagen in der Landwirtschaft	1996
Heft 11	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1996	1996
Heft 12	Aufbereitung und Verwertung organischer Reststoffe im ländlichen Raum	1996
Heft 13	Wege zur Verbesserung der Kartoffelqualität durch Verminderung der mechanischen Beanspruchung	1997
Heft 14	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1997	1997
Heft 15	Technische und ökonomische Aspekte der Nutztierhaltung in großen Beständen	1997
Heft 16	11. Arbeitswissenschaftliches Seminar	1997
Heft 17	Nachwachsende Rohstoffe im Land Brandenburg Stand Aktivitäten und Perspektiven einer zukunftsfähigen und umweltgerechten Entwicklung	1998
Heft 18	Qualität von Agrarprodukten	1998
Heft 19	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1998	1998
Heft 20	Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung	1998
Heft 21	Landnutzung im Spiegel der Technikbewertung – Methoden Indikatoren, Fallbeispiele	1998

---

Heft 22	Kriterien der Nachhaltigkeit in der Verfahrensentwicklung für die Nutztierhaltung	1999
Heft 23	Situation und Trends in der Landtechnik / Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft	1999
Heft 24	Institut für Landtechnik der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 1951 bis 1965	1999
Heft 25	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1999 / 2000	2000
Heft 26	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2001	2001
Heft 27	Approaching Agricultural technology and Economic Development of Central and Eastern Europe	2001
Heft 28	6 <sup>th</sup> International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering	2001
Heft 29	Measurement Systems for Animal Data and their Importance for Herd Management on Dairy Cow Farms	2002
Heft 30	Produktion, Verarbeitung und Anwendung von Naturfasern	2002
Heft 31	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2002	2002
Heft 32	Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes Gas <sup>TM</sup> , Ökologie und Ökonomie	2003
Heft 33	Sozioökonomische Aspekte zu Perspektiven des Offenlandmanagements	2003
Heft 34	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2003	2003
Heft 35	Energieholzproduktion in der Landwirtschaft Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie	2004
Heft 36	High-Tech Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion. Statusseminar 2003	2004
Heft 37	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2004	2004
Heft 38	Die Landmaschinenprüfung in der DDR 1951-1991 und ihre Vorgeschichte	2004
Heft 39	Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut	2005
Heft 40	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2005	2005
Heft 41	Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter	2005

Heft 42	Biochemicals and Energy from Sustainable Utilization of herbaceous Biomass (BESUB)	2005
Heft 43	Ozontes Waschwasser zur Qualitätssicherung leichtverderblicher Produkte - Entwicklung einer <i>Fuzzy-Logic</i> -Steuerung des Waschprozesses	2005
Heft 44	Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens	2005
Heft 45	Anwendung der Thermographie zur Optimierung der Belüftungssteuerung bei der Lagerhaltung landwirtschaftlicher Produkte	2005
Heft 46	Membranbioreaktor zur Aufbereitung von Schlachthofabwässern	
	Prozesssteuerung von Biogasanlagen mit Kofermentation	2005
Heft 47	Verschleißeinfluss auf das Förderverhalten von Drehkolbenpumpen	2005
Heft 48	Qualitätserhaltung und Qualitätssicherung von Bioobst und Biogemüse in der Nachernte	2005
Heft 49	Miniaturisiertes Datenerfassungs-System zum Implantieren in Früchte und zur Messung ihrer mechanischen Belastung durch Ernte- und Nachernteverfahren	2005
Heft 50	Prozesskontrolle der Qualität von frischem Obst und Gemüse mit Hilfe eines Multigas-Sensors	2005
Heft 51	Entwicklung eines Echtzeitsensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten	2005

Interessenten wenden sich an:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam

Tel.: (0331) 5699-820  
Fax.: (0331) 5699-849  
E-Mail: [atb@atb-potsdam.de](mailto:atb@atb-potsdam.de)

Schutzgebühr: 13,- €