

# Ausblick zur Automatisierung der Speisekartoffelaufbereitung

Prof. Dr. agr. habil. K. Baganz, KDT/Dr. rer. nat. B. Herold

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

## 1. Gegenwärtiger Stand

Elemente der Automatisierungstechnik können wirksam zur Verbesserung der Betriebseigenschaften konventioneller Aufbereitungstechnik durch Funktionsüberwachung, Durchsatzregelung u. a. beitragen. Weiterhin gestattet es die moderne Sensor- und Meßwertverarbeitungstechnik auch, konventionelle Mechanisierungsmittel durch neue Wirkprinzipie zu ersetzen. Auf den letztgenannten Aspekt wird nachfolgend für die Aufbereitung und Vermarktung von ungeschälten Kartoffeln u. ä. unbearbeiteten Früchten aus technischer Sicht eingegangen.

Wenn man von Fördervorgängen absieht, stellen Beimengungsabscheidung, Fraktionieren nach Größen- bzw. Massenklassen, Fraktionieren nach Qualitätsklassen und Abfüllen in masse- oder anzahlgerechte Pakungen die wesentlichen technologischen Operationen bei der Aufbereitung dar (Tafel 1). Aus einem Vergleich der Aufwendungen an menschlicher Arbeit, die z. B. bei der

Aufbereitung und Vermarktung von Kartoffeln oder Äpfeln für diese Arbeitsabschnitte bei dem gegenwärtigen technischen Stand in der DDR – und in ähnlichen Relationen auch international – erforderlich sind, begründet sich die international zu beobachtende landtechnische Forschungstendenz, anspruchsvolle Mittel der Automatisierungstechnik außer zur Verpackung vorrangig zur Lösung des Problems „Fraktionieren nach Qualitätsklassen“ einzusetzen.

## 2. Fraktionieren nach Qualitätsklassen und Beimengungsabscheidung

Für eine Unterscheidung nach dem Qualitätsmerkmal „Reifezustand“ werden hauptsächlich Festigkeitseigenschaften, z. B. durch Schwingungsanalyse des Auftreffsignals beim Fall auf eine Platte [1], und Farbeigenschaften, z. B. durch Analyse des transmittierten oder remittierten Lichts in bestimmten Wellenlängenbereichen [2], genutzt. Ein wesentlicher Anstoß auch zur industriellen Produktion von Sortiereinrichtungen

nach Reifezustand entsteht in neuerer Zeit durch den Einsatz von Erntemaschinen für die verschiedenen Obst- und Gemüsearten [3]. Die größeren Gutabmessungen gegenüber den schon langfristig genutzten Farbsortierern für Sämereien erforderten dabei die Entwicklung neuer technischer Lösungen.

Noch weitgehend im Forschungsstadium befindet sich dagegen eine Fraktionierung nach nicht durch den Reifezustand bedingten Mängeln am pflanzlichen Produkt. Unter dem Begriff „Mangel“ werden hier alle gegenüber dem Abnahmestandard qualitätsmindernd wirkenden und primär nicht vom Reifezustand abhängenden Merkmale am Produkt verstanden, die im Inneren oder an seiner Oberfläche lokalisiert sind und gegenwärtig durch eine visuelle Inspektion erfaßt werden. Typische derartige Mängel sind Fäulen, durch mechanische Beanspruchung verursachte Risse oder Verfärbungen, Schorfbildungen u. ä.

Der einer visuellen Mängelinspektion in den Standards entsprechenden Mängelbeschreibung folgend, konzentrieren sich die Arbeitsprinzipie von Automatisierungseinrichtungen zur Fraktionierung nach Qualitätsmängeln vorrangig auf die Anwendung elektro-optischer Verfahren. Während mit Transmissionsverfahren durch den integralen Charakter der Meßwerterfassung hauptsächlich größere Mängel erfaßt werden [4], die das gesamte Produktvolumen beeinflussen, versucht man verstärkt dem Charakter der menschlichen Arbeit und damit verbunden der Produktbewertung an konventionellen Verlesebändern durch Remissionsmeßverfahren zu entsprechen, die vorrangig die Er-

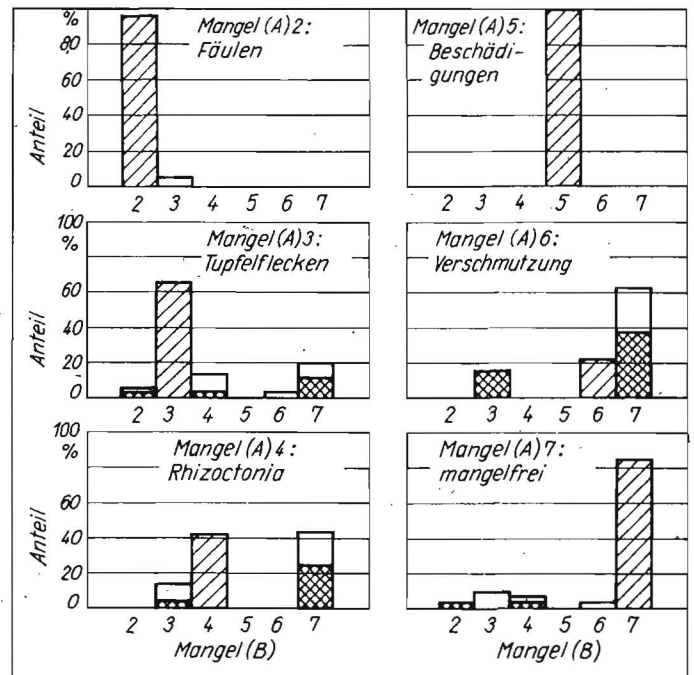
Tafel 1. Hauptarbeitsgänge und Aufwendungen in der Aufbereitung von Kartoffeln und Äpfeln

Arbeitsgang	übliches Wirkprinzip	Arbeitsaufwand in AKh/t	
		Kartoffeln	Äpfel
Beimengungsabscheidung	Siebe Gummifingerbänder Röntgenstrahlentransmission	< 0,1	< 0,1
Fraktionieren, Größe (Masse)	Flachsiebe Siebketten, Siebwalzen Fraktionierbänder	< 0,1	< 0,1
Fraktionieren, Qualität	manuelle Verlesebänder	0,7...1,3	3,0...5,0
Abpacken, Masse/Anzahl	mechanische Waage und Verschleißeinrichtung	0,3...0,6 (50 kg)	1,8...5,0 (1 kg)

Tafel 2. Arbeitsergebnis einer 1-Wellenlängen-Qualitätsfraktioniereinrichtung bei unterschiedlichen Mangeldefinitionen (Maschine: Versuchseinrichtung 1WL-O; Versuch: Lagerhaus, Februar 1987, normale Auslagerung nach Waschmaschine; Probenumfang 1450 Knollen)

Kennwert	Bewertungsvariante		
	A	B	C
mangelfrei	11	64	57
sonstige Mängel < Grenzwert	30		
mechanische Beschädigungen < 80 mm <sup>2</sup>	16		
Fäulen < 80 mm <sup>2</sup>	7		
Fäulen > 80 mm <sup>2</sup>	15	15	} 22
mechanische Beschädigungen > 80 mm <sup>2</sup>	15	15	
sonstige Mängel > Grenzwert	6	6	6
Leitgüte			
mangelfrei	0,99	0,90	0,90
Mängel	0,75	0,55	0,61
Mängelanteil bezogen auf mangelfrei	8,10	0,56	0,75
Abscheidungsgrad	0,72	0,40	0,50
(± Einsparung Handgriffe)			

Bild 1. Verteilung von Gutachterbeurteilungen (B) in einzelnen Mängelklassen eines Verleseautomaten (A) nach Porteous; weiße Säulen: Gutachterergebnisse abweichend vom Verleseautomaten (Anteil in Kreuzschraffur; mindestens 80 % der Gutachter abweichend) schraffierte Säulen: Übereinstimmung von Gutachter und Verleseautomat



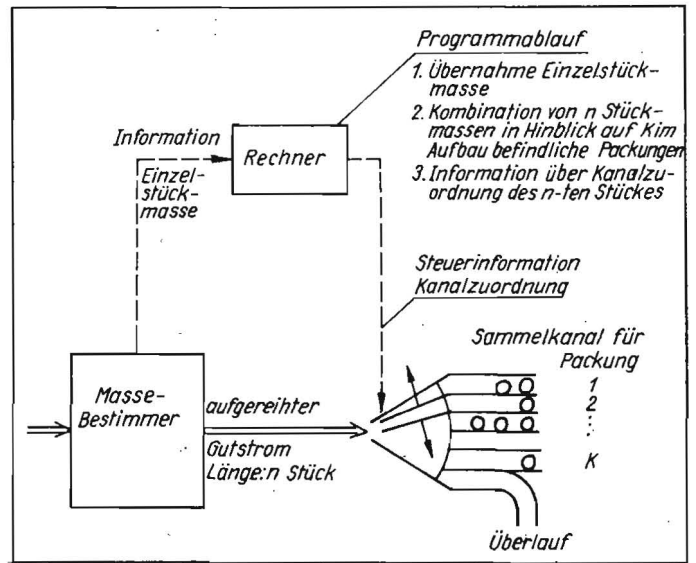
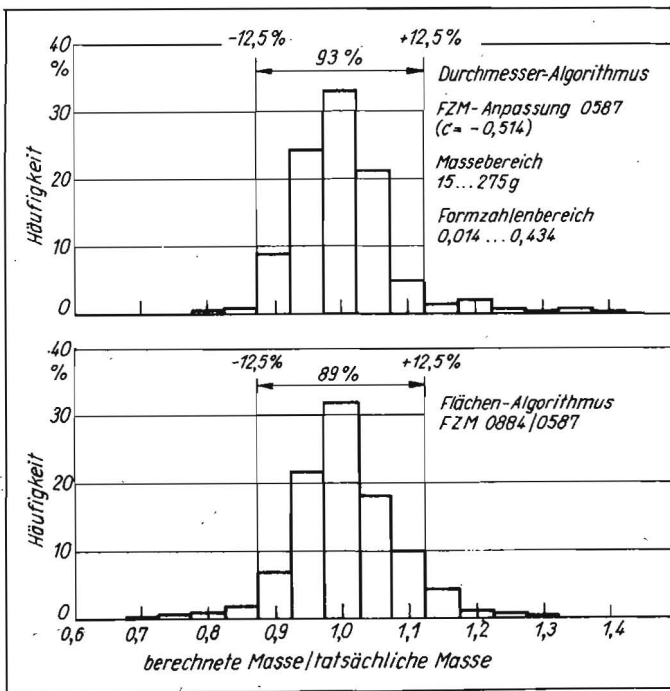


Bild 3. Prinzipdarstellung einer Kombinationswägung

Bild 2. Rechnerische Massebestimmung von Kartoffeln aus Abmessungskennwerten

kennung von Oberflächenmängeln ermöglichen. Dabei muß aber auch beachtet werden, daß eine automatische Verleseeinrichtung bei entsprechender Auslegung eine stabilere Beurteilung der Produkte liefert, als es bei subjektiver Beurteilung durch den Menschen gegeben ist (Bild 1). Die ökonomische Wirksamkeit entsprechender Qualitätsstandards für landwirtschaftliche Produkte wird daher einen wesentlichen Einfluß auf das Einführungstempo von Qualitätssortierern haben.

Forschungsarbeiten zur Fraktionierung nach Qualitätsmängeln aufgrund von Remissionsmessungen konzentrieren sich auf die Auswahl günstiger Wellenlängenkombinationen, um deutliche Signalunterschiede zwischen mangelbehafteter und mangelfreier Produktoberfläche zu erhalten, sowie auf die technische Ausführung derartiger Mängel-Fraktionierer.

Wie bei allen selbsttätigen Trenneinrichtungen gilt auch für diese Fraktionierer das Prinzip, daß die in größter Menge anfallende Soll-Fraktion, i. allg. die mangel-,freie" standardgerechte Ware, mit einer hohen Trenngüte abgeschieden werden muß, während für die mengenmäßig kleinere Soll-Fraktion, üblicherweise die nicht standardgerechte Ware, etwas geringere Anforderungen an die Trenngüte vertretbar sind.

Zur Erkennung von Oberflächenmängeln, speziell an Kartoffeln, Äpfeln und Tomaten, liegen international zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten über geeignete Wellenlängenbereiche (auch bei Remissionsmessungen) vor [2, 5, 6, 7, 8]. Relativ unabhängig vom Produkt ergibt sich für Fäulen sowie bei Kartoffeln für einige weitere Mängel, wie Rhizoctonia, Schorf und für verkorkte mechanische Beschädigungen, eine hohe Differenz zur Remission des mangelfreien Produktes bei Wellenlängen um 850 nm. Dagegen sind frische Beschädigungen stärker fruchtartdifferenziert im Bereich um 600 nm besser zu erkennen. Ferner werden häufig zur Stabilisierung des Meßergebnisses Bezugswellenlängen, z. B. im Bereich einer Wasserabsorptionsbande, zusätzlich mit ausgewertet: In [9] wurde nachgewiesen, daß mit 8 diskre-

ten Wellenlängen mindestens 12 Mängelarten an Kartoffeln differenziert erfaßt werden können. Der hohe geräte- und rechentechnische Aufwand bei einer derart differenzierten Auswertung – in der Versuchseinrichtung nach Porteous [9] 30 bis 120 s Auswertzeit/Knolle – zwingt vorerst zu einer sinnvollen Begrenzung und Zusammenfassung der erkennbaren Mängelgruppen. Für eine Verleseeinrichtung, die ein breites Feld von Oberflächenmängeln erkennen soll, läßt sich aber nach o. g. Aussagen ohne weiteres die Forderung nach einer Auswertung des gleichen Bildpunktes in 3 Wellenlängenbereichen ableiten. In Versuchsmustern von Verleseeinrichtungen werden gegenwärtig häufig 1 bis 2 Wellenlängen ausgewertet.

Bereits mit einer relativ einfachen Versuchseinrichtung, die auf der Basis von CCD-Zeilen mit Auswertung einer Wellenlänge bis zu Durchsätzen von etwa 15 Kartoffeln/s einsetzbar ist, konnten bei Untersuchungen mit ungeschälten Kartoffeln Ergebnisse erreicht werden, die Abscheidungsgraden (und damit Einsparung von Verleseeinrichtung) von 50 % und mehr entsprechen (Tafel 2). Der Oberflächenzustand des Produktes (besonders die Verschmutzung) und die festgelegte Größe der als Mangel gewerteten Mangelfläche bestimmen dabei wesentlich das Arbeitsergebnis.

Eine Beimengungsabscheidung nach dem gleichen Meßprinzip wie bei der Qualitätssortierung und damit die Nutzung einer automatischen Einrichtung für mehrere bisher getrennte Arbeitsgänge wäre eine Zielstellung mit offenkundigen Vorteilen für den Anwender. Günstige Wellenlängenbereiche für die Erkennung von Bodenteilen im Remissionsverfahren ergeben sich im gesamten Bereich von 600 bis 2500 nm. Für Wellenlängenbereiche, wie sie zur Abscheidung der Hauptmängelgruppen von ungeschälten Kartoffeln günstig sind, wurden theoretische Leitgüten für Erdkluten zwischen 99 und 100 % und für Steine zwischen 92 und 100 % ermittelt. Bei Untersuchungen an optischen Erkennungseinrichtungen nach dem Transmissionsprinzip konnte eine 100%ige Erkennung von Erdkluten und Steinen festgestellt

werden. Untersuchungen zur Auswahl von Meßverfahren mit annähernd gleich guten Erkennungseigenschaften für Mängel und Beimengungen haben aus den o. g. Gründen daher einen fundierten ökonomischen Hintergrund.

### 3. Größen- bzw. Massefraktionieren und sonstige Arbeitsgänge

Bei der Erkennung von Oberflächenmängeln nach dem Remissionsverfahren werden durch die Signalverarbeitungs- und Auswerteeinheit eines Verleseeinrichters sämtliche Helligkeitsmeßwerte verarbeitet, die z. B. durch eine CCD-Zeile gemessen wurden. Damit liegt in der Signalverarbeitungseinrichtung das komplette Abbild des landwirtschaftlichen Produktes aus mehreren – i. allg. mindestens 3 – Ansichten vor. Damit ist es möglich, ein das Produkt kennzeichnendes Ellipsoid zu bestimmen und ein den Körper umschreibendes kleinstes Quadrat senkrecht zur Längsachse zu berechnen. Die Seitenlänge dieses Quadrats würde dem Quadratmaß bei der Kartoffelsortierung entsprechen und könnte zur Einordnung des Produktes in Größenfraktionen benutzt werden. Bei Kenntnis der spezifischen Masse des Produktes wäre aus der Bestimmung der geometrischen Hauptabmessungen über eine Volumenberechnung auch eine Einordnung in Masseklassen möglich, wie sie z. B. lange Zeit für die Pflanzkartoffelproduktion gefordert wurde und in einigen Ländern noch im Standard enthalten ist, ohne daß eine entsprechende technische Lösung für die Einzelstückwägung bislang der Praxis zur Verfügung steht.

Eine Überprüfung einiger Algorithmen für die Massebestimmung von Kartoffeln auf der Basis der 3 Hauptachsen für Knollen aus dem DDR-Sortiment ergab bei Anpassung vertretbare Masseinstufungen, besonders unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Handhabung der Größen- und Massefraktionierung bei Kartoffeln (Bild 2).

Bezieht man die technisch mögliche Bestimmung von Produktgröße bzw. Produktmasse in den Aufgabenbereich eines Qualitätssortierautomaten mit ein, ergeben sich einige

zusätzliche Anforderungen vor allem an die Meßwertverarbeitung. Während für die Qualitätssortierung ungeschälter Kartoffeln oder Äpfel der Durchmesser des Abtastflecks häufig nicht kleiner als 3 mm gewählt wird, ist für die Größenbestimmung wahrscheinlich ein Rastermaß von 1 mm erforderlich. Damit erhöht sich die zu verarbeitende Pixelzahl etwa um den Faktor 10. Weiterhin erfordert die Bestimmung der Hauptachsen aus den einzelnen Kamerabildern auch einen erwähnenswerten rechentechnischen Aufwand, der sich letztlich in einer Durchsatzverminderung niederschlägt. Lösungsansätze für diese Problematik dürften sowohl in der Auswahl rechentechnisch günstiger Grundkennwerte für die Algorithmenauswahl, z. B. Berechnung aus Flächen statt Achsen (Tafel 2), als auch in einer zweckmäßigen Aufgabenteilung im Verarbeitungsteil, z. B. Mehrprozessor-Verarbeitung, zu suchen sein.

Mit der Bestimmung der Masse jedes Einzelstückes und damit der Möglichkeit einer Zuordnung zu ausreichend vielen Masseklassen sind auch Folgerungen für anschließende Abpackvorgänge denkbar. Zumindest für Produkte mit höherem Handelswert, wie z. B. Äpfel, wäre die Verminderung des vom Produzenten nicht gewünschten Übergewichtes in Kleinpackungen durch Einzählen von Stücken aus unterschiedlichen Masseklassen möglich, wobei jeweils eine Zuordnungsoptimierung aufgrund der in den Klassen vorliegenden Stücke durchgeführt werden könnte (Bild 3).

Mit der in der Auswerteeinheit vorliegenden Stück- und Masseninformation stehen ferner Meßgrößen über den momentanen Stück- und Massendurchsatz des Produktionszwei-

ges zur Verfügung, in dem ein solcher Automat eingeordnet ist. Damit ist es möglich, Durchsatzregelungen an Zwischenbunkern mit Rohmaterial vorzunehmen und so eine volle Auslastung der Leistung der Aufbereitungsstrecke zu sichern.

#### 4. Schlußfolgerungen

Die Auswertung des nationalen und internationalen Wissensstandes zur Fraktionierung nach Qualitätsmerkmalen und die Analyse angrenzender Verfahrensgebiete läßt die Schlußfolgerung zu, daß sich ein Qualitätssortierautomat in der weiteren Entwicklung zu einer zentralen elektronischen Einrichtung in der Aufbereitung entwickeln kann, mit der eine Zusammenfassung bisher getrennter Arbeitsgänge und damit die Realisierung neuer technologischer Schemata möglich wird.

Sowohl gezeigte offene Fragen zur landtechnischen Auslegung als auch mit dem weiteren Entwicklungstrend der Mikroelektronik zusammenhängende Fragen kennzeichnen die Langfristigkeit eines solchen Konzeptes. Die Möglichkeiten, die durch eine konsequente Nutzung des Spektrums moderner Mittel der Automatisierungstechnik in der Pflanzenproduktion bestehen, sollten Veranlassung sein, diesen Aufgabenkreis bei technischen und technologischen Überlegungen und nicht zuletzt bei der Formulierung von Standards für die Gütesicherung landwirtschaftlicher Produkte vorausschauend zu berücksichtigen.

#### Literatur

[1] Nahir, D., u. a.: Tomato grading by impact forces response (Tomatensortierung durch Messung des Stoßkraftverlaufs). American Society

Agricultural Engineers, Paper 86-3028, St. Joseph, Mich., 1986.

- [2] Chamberlin, D. W.: Electro-optic field tomato color sorter (Elektro-optischer Farbsortierer für die Feldtomatenernte). American Society Agricultural Engineers, Paper 76-1533, St. Joseph, Mich., 1976.
- [3] Herold, B.; Baganz, K.: Entwicklungstendenzen der Mechanisierungsmittel zum Verlesen von Kartoffeln. *agrartechnik*, Berlin 34 (1984) 7, S. 316–318.
- [4] Anderzanov, A. L., u. a.: Po vaprosa za struktura na funkcionalnite schemi na ustrojstvata za sortirane na plodove v tehnologičen potok (Über das Problem der Struktur der funktionellen Schemata von Einrichtungen zur Sortierung von Früchten im technologischen Fluß). *Selskstopanska tehnika*, Sofia 18 (1981) 8, S. 31–35.
- [5] Borodin, I. F., u. a.: Avtomatizacija sortirovanija jablok (Automatisierung der Apfelsortierung). *Mechanizacija i elektrifikacija sel'skogo chozajstva*, Moskva (1986) 4, S. 50–52.
- [6] Porteous, R. L., u. a.: The identification of diseases and defects in potato tubers from measurement of optical spectral reflectance (Mängelerkennung an Kartoffelknollen durch Messung des spektraloischen Reflexionsverhaltens). *Journal of Agricultural Engineers Research*, London 26 (1981) S. 151–160.
- [7] Samotajew, A.; Starowojtow, W.: Automatisierung der Kartoffelsortierung. *Internationale Zeitschrift für Landwirtschaft*, Moskau/Berlin (1986) 3, S. 234–236.
- [8] Standke, R.: Anwendung der Remissionsmessung zur Mängelerkennung an Kartoffelknollen. *agrartechnik*, Berlin 37 (1987) 11, S. 507–509.
- [9] Porteous, R. L.; Muir, A. Y.: An experimental instrument for identifying damage, disease and other surface defects in potato tubers (Eine Versuchseinrichtung zur Erkennung von Beschädigungen, Krankheiten und anderen Oberflächenmängeln an Kartoffeln). *EAPR Abstracts of Conference Papers*. 8. Dreijahrestagung der Europäischen Gesellschaft für Kartoffelforschung in München 1981. A 5065

## Anwendung der Remissionsmessung zur Mängelerkennung an Kartoffelknollen

Dr. rer. nat. R. Standke, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

### 1. Einführung

Optische Untersuchungen an biologischen Materialien gewinnen mit verbesserter Meß- und Analysetechnik zunehmend an Bedeutung. Technisch realisiert werden hauptsächlich Einrichtungen, die transmittierte (durchgelassene) oder remittierte (diffus reflektierte) Strahlung registrieren, um Rückschlüsse auf bestimmte Materialparameter oder -eigenschaften zu ermöglichen. Nachfolgend sollen Ergebnisse vorgestellt werden, die sich aus dem Remissionsverhalten von Kartoffelknollen im Bereich von 550 bis 2500 nm (sichtbare bis nahe infrarote Strahlung) ergeben.

Hierbei standen sowohl die direkte Mängelerkennung als auch der Einfluß von Verschmutzungen auf die Erkennung im Vordergrund.

### 2. Remissionsmessungen an mangelbehafteten Kartoffelknollen

Die untersuchten Kartoffeln wurden in Lagerhäusern der Bezirke Potsdam, Halle und Karl-Marx-Stadt von Gutachtern aus der Lagerware ausgewählt und in mangelfreie sowie mangelbehaftete Knollen (Naß-, Trok-

ken-, Mischfäule, Schorf, Rhizoctonia, verkorkte und frische mechanische Beschädigung und Ergrünung) eingeteilt. Dafür wurden Remissionskurven bestimmt (Bild 1).

Die dargestellten Kurven sind aus mehreren Versuchsreihen zusammengefaßt worden. Zwischen den Versuchsreihen waren statistische Unterschiede hinsichtlich der Lagerdauer, der Sorte und des Oberflächenzustandes der Kartoffelknollen nachweisbar. Weit aus stärker waren jedoch die im Bild 1 dargestellten Unterschiede hinsichtlich Mangelart und Mangelausprägung. Dazu wurden die Remissionswerte je Mangelart zu einer Normalverteilung zusammengefaßt, und für jede Wellenlänge bzw. Wellenlängenkombination konnte jetzt die Überlappung der so gebildeten Verteilungen als theoretische Fehlsortierung verrechnet werden. So konnte nachgewiesen werden, daß die Remissionswerte von 3 Wellenlängen ausreichen, um bei mehreren unterschiedlichen Mängeln vertretbare Fehlsortierungen zu gewährleisten (Tafel 1). Diese Resultate lassen sich deutlich verbessern, wenn man kartoffelparteibezogene Trennkriterien anstelle der hier benutzten Verteilungskriterien verwendet, die sich

aus einer Vielzahl unterschiedlicher Partien ergaben. Als Ergebnis einer derartigen Messung entstehen drei Klassen von Kartoffeln:

- mangelfreie Knollen
- ergrünte und frisch beschädigte Knollen
- anderweitig mangelbehaftete Knollen.

Tafel 1. Theoretische Fehlsortierungen in % (Stückanteil) für unterschiedliche Mängel bei der Messung von 3 Remissionswerten (Ergebnisse aus Simulationsrechnungen)

Mangel	theoretische Fehlsortierung	
mangelfrei	0,1	2,3
Fäule	≙ 1	≙ 0,1
verkorkte mechanische Beschädigung	≙ 10	≙ 3
Schorf	≙ 35	≙ 20
Rhizoctonia	≙ 3	≙ 2
Ergrünung	≙ 30	≙ 1
frische mechanische Beschädigung	≙ 0,1	≙ 0,0