

# Zur Prozeßanalyse in ALV-Anlagen im Hinblick auf rationellen Energieeinsatz und Anwendung der Automatisierungstechnik

Prof. Dr. sc. agr. G. Kühn, KDT / Dr. agr. D. Frenzel, KDT  
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

## 1. Ziel und Inhalt von Prozeßanalysen

Die wachsenden Anforderungen an die Effektivität und Ökonomie von Maschinensystemen und Anlagen und die beschleunigte Entwicklung der Geräte- und Anlagentechnik in Verbindung mit den durch die Mikroelektronik erschlossenen neuen Möglichkeiten der Automatisierungstechnik lassen den Trend zu steigender Leistungsfähigkeit, höherer Kompliziertheit und umfassenderer Informationsgewinnung, -verarbeitung und -nutzung in modernen Produktionsanlagen immer deutlicher hervortreten. Dieser Entwicklung ist auf die Dauer nur durch verbesserte Prozeßkenntnisse Rechnung zu tragen, die eine eingehende Analyse der betreffenden Prozesse zur Voraussetzung haben [1].

Prozeßanalysen im umfassenden Sinn sind Untersuchungen vorhandener oder geplanter Produktionsprozesse hinsichtlich ihrer Verbesserungsfähigkeit, d. h. der Ermittlung von Schwachstellen (Verlustquellen) und der Herausarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Schwachstellenbeseitigung, die erforderlichenfalls das Formulieren von Aufgabenstellungen für die Forschung und Entwicklung einschließen [2].

Unabhängig von den speziellen praktischen Erfordernissen hat es sich gezeigt, daß wirksame Ergebnisse aus Prozeßanalysen meist nur dann zu erwarten sind, wenn eine angemessene Komplexität des Untersuchungsgegenstands und der Untersuchungsaspekte gewahrt wird und sowohl theoretische als auch experimentelle Untersuchungen vorgenommen werden [3].

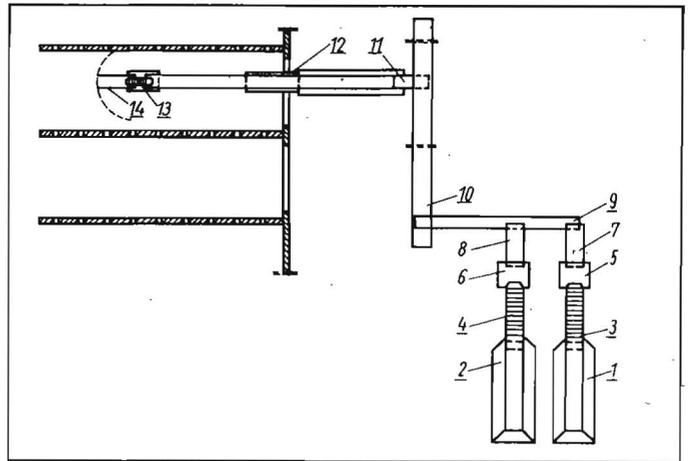
## 2. Spezielle Aspekte zur Prozeßanalyse in ALV-Anlagen

Bezogen auf ALV-Anlagen kann eingeschätzt werden, daß sich Praktiker und Forschungseinrichtungen seit Bestehen dieser Anlagen intensiv bemühen, die Prozeßgestaltung auf der Grundlage prozeßanalytischer Untersuchungen stetig zu verbessern. Viele realisierte Neuerlösungen und Rekonstruktionsmaßnahmen mit hohem ökonomischen Effekt belegen dieses erfolgreiche Wirken.

Spezielle meßtechnische Untersuchungen an Elektroanlagen in ALV-Anlagen wurden im Jahr 1973 vorgenommen [4]. Diese Untersuchungen beinhalteten energiewirtschaftliche Betriebsanalysen und hatten den Betrieb als Ganzes zum Gegenstand. Zur effektiven und energieökonomisch günstigen Klimatisierung von Kartoffellagern wurden grundlegende prozeßanalytische Untersuchungen durchgeführt und in Verbindung mit der Praxis wirksame Lösungen gefunden [5, 6]. Der steile Anstieg des Elektroenergieverbrauchs in ALV-Anlagen in den Monaten Oktober, November und Dezember (bis zu 140 000 kWh gegenüber von rd. 35 000 kWh im übrigen Jahr) macht deutlich, daß hier ein Schwerpunkt des Energieeinsatzes liegt.

Relativ wenig Informationen liegen für den

Bild 1  
Maschinenfolgeschema für den Prozeßteilabschnitt Annahme/Einlagerung (unterstrichene Positionen sind Meßstellen);  
1, 2 Annahmeförderer T238, 3, 4 Steilförderer T222, 5, 6 Untergrößen-, Erd- und Feinkrautabscheider K 720, 7, 8 automatische Trennanlage E 691, 9 Bandförderer, 10 zentrale Bandstraße, 11 Übergabebandförderer, 12 Teleskopbandförderer, 13, 14 Einlagerungsgerät



Bereich der mechanischen Gutförderung und -bearbeitung in den Prozeßteilabschnitten Annahme/Einlagerung und Auslagerung/Aufbereitung vor. Hier ist eine enge Kopplung zwischen energetischen Größen und Größen, die die Prozeßführung und Prozeßstabilität charakterisieren, wie Durchsatz (Massenstrom) und Kenngrößen der Arbeitsgüte zu erwarten. Die vorliegenden Untersuchungen bezogen sich vor allem auf Energieverbrauchs- und Durchsatzmessungen in diesem Bereich.

## 3. Prozeßteilabschnitt Annahme/Einlagerung

### 3.1. Versuchsanordnung und -durchführung

Das Maschinenfolgeschema für die Untersuchungen im Prozeßteilabschnitt Annahme/Einlagerung ist im Bild 1 dargestellt [7].

Zur Wirkleistungsmessung standen Leistungsschreiber zur Verfügung. Der Durchsatz wurde durch Probennahme von Bandförderern in Verbindung mit einer Zeitmessung bestimmt. Die Stichprobenanzahl je Meßobjekt lag zwischen 30 und 50, die Probenmasse betrug 20 bis 80 kg. Die Messungen erfolgten i. allg. während des normalen Produktionsablaufs.

### 3.2. Versuchsergebnisse

Die Nennleistung der Motoren des Steilförderers 4, des Bandförderers 9 und der zentralen Bandstraße 10 wurde bezogen auf den projektierten Durchsatz zu weniger als 30% in Anspruch genommen. Der Auslastungsgrad des Motors am Ausleger des Einlagerungsgeräts lag zwischen 0,6 und 0,9. Bei der Bewertung des Antriebs für die zentrale Bandstraße 10 ist zu beachten, daß die während der Versuche genutzte Förderlänge nur rd. 70% der maximal möglichen Förderlänge betrug und daß bei niedrigen Bandtemperaturen der Leerlaufleistungsbedarf erheblich ansteigen dürfte.

Aufgrund der nur mangelhaft beherrschbaren Massenstromregulierung traten erhebliche Durchsatzschwankungen auf. Die Grenzwerte lagen zwischen nahezu Leerlauf und 100%iger

Überlastung. Für diesen Sachverhalt sind vor allem zwei Ursachen maßgebend. Einerseits stehen den Bedienkräften keinerlei meßtechnische Hilfsmittel zum Erfassen des Massenstroms zur Verfügung. Andererseits ist die maximal einstellbare Bandgeschwindigkeit des Annahmeförderers zu gering, um bei geringer Schichthöhe im Vorratsbehälter den projektierten Durchsatz aufrecht zu erhalten. Ein Abschalten der Förderstrecke bei Teillastbetrieb ist aus technologischer Sicht oft nicht erwünscht. Kurzzeitige und in der Amplitude recht erhebliche Durchsatzschwankungen hatten ihre Ursache im periodischen Abbrechen der Stapelböschung im Annahmeförderer. Sie waren unter den gegebenen technischen Bedingungen kaum beeinflussbar.

Um eine Meßgröße zum stetigen Erfassen des Durchsatzes zu finden, wurde die Abhängigkeit der Wirkleistungsaufnahme des Steilfördererantriebs 4 vom Massenstrom näher untersucht. Bei einer Versuchsdurchführung im normalen Produktionsablauf über eine Zeit von rd. 5 h ergab sich bei einem mittleren Durchsatz, der etwa dem Projektnennwert entsprach, eine relative Häufigkeitsverteilung der Durchsatzwerte entsprechend Bild 2. Daß in dem hier ausgewiesenen Überlastbereich die Funktionstüchtigkeit der automatischen Trennanlage stark eingeschränkt oder sogar völlig aufgehoben wird, bedarf keiner gesonderten Begründung. Im Teillastbereich ging der absolute Energiebedarf aufgrund des hohen Leerlaufbedarfs des Bandförderers nur geringfügig zurück. Die Wirkleistungsaufnahme  $P_W$  des Antriebsmotors für den Steilförderer in Abhängigkeit vom Massenstrom  $\dot{m}$  (Durchsatz) läßt sich hinreichend gut durch eine lineare Regressionsfunktion nach Gl. (1) angeben:

$$P_W = a + b \dot{m} \quad (1)$$

Dementsprechend steigt der spezifische Energiebedarf  $e$ , der sich aus Gl. (2) ermitteln läßt, im Teillastbereich stark an:

$$e = (a/\dot{m}) + b \quad (2)$$

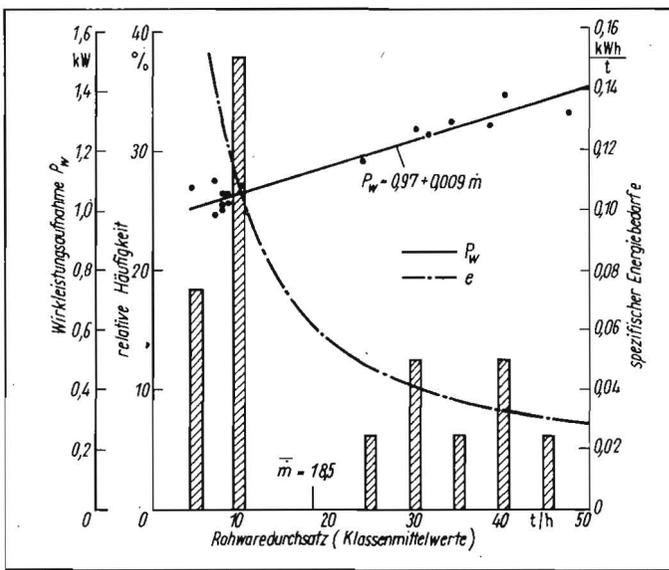


Bild 2. Häufigkeitsverteilung des Rohwaredurchsatzes und Energiebedarf am Steilförderer 3

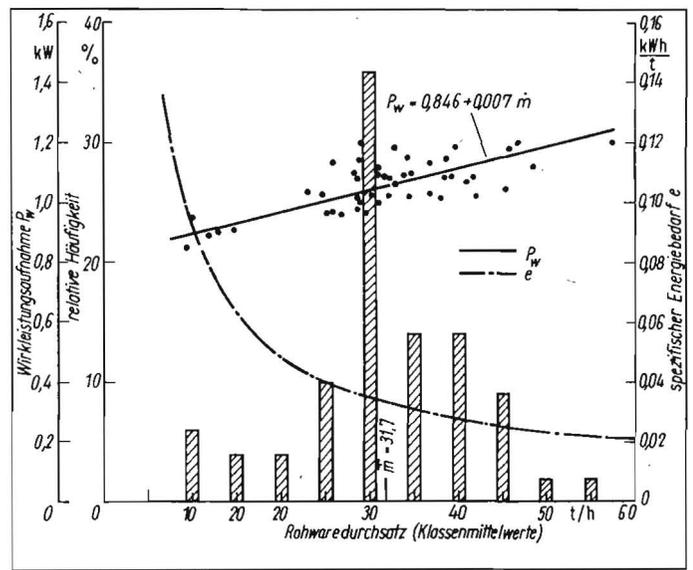


Bild 3. Häufigkeitsverteilung des Rohwaredurchsatzes und Energiebedarf am Steilförderer 4

Bei einem mittleren Durchsatz einer Versuchsreihe von  $\bar{m} = 18,5$  t/h (Bild 2) war der mittlere spezifische Energiebedarf mit  $e = 0,093$  kWh/t rd. 2,5mal größer als bei einer Versuchsreihe mit einem mittleren Durchsatz von rd. 30 t/h (Bild 3). Diese Zusammenhänge begründen aus energetischer Sicht die Forderung, Betriebszustände im geringen Teillastbereich zu vermeiden und die Anlage, sofern es technologisch vertretbar ist, bei kleinen Massenströmen außer Betrieb zu setzen.

Die Wirkleistungsaufnahme des Antriebsmotors für den Steilförderer als Führungsgröße für eine Durchsatzregelung zu nutzen, scheint nur bedingt erfolgversprechend zu sein, da das Bestimmtheitsmaß für die Korrelation zwischen Durchsatz und Wirkleistungsaufnahme in recht weiten Grenzen schwankt ( $B = 0,6$  bis  $0,99$ ). Ergebnisse einer Langzeitmessung in einer ALV-Anlage machen die i. allg. nur geringe Auslastung der projektierten Anlagenkapazität deutlich. Für 18 aufeinanderfolgende Arbeitstage betrug der mittlere Durchsatz einer Annahmestrecke in der Grundzeit nur rd. 8 t/h.

#### 4. Prozeßteilabschnitt Auslagerung/Aufbereitung

##### 4.1. Versuchsanordnung und -durchführung

Die Versuchsanordnung im Prozeßteilabschnitt Auslagerung/Aufbereitung wurde durch eine Maschinenkette entsprechend Bild 4 bestimmt [8]. In methodischer und meßtechnischer Hinsicht waren die Versuche ähnlich wie bei den Untersuchungen im Prozeßteilabschnitt Annahme/Einlagerung angelegt. Zusätzlich wurden Laufzeitmessungen vorgenommen.

##### 4.2. Versuchsergebnisse

Im Untersuchungszeitraum von 15 aufeinanderfolgenden Arbeitstagen betrug der Bedarf an Lagerware, bezogen auf die Schichtzeit, rd. 9,5 t/h. Davon entfielen auf die Schällinie rd. 3 t/h und auf die Abpacklinie rd. 6,5 t/h. Die Variationsbreite im Gesamtbedarf an Lagerware war mit 7,1 t/h bis 11,9 t/h relativ gering. Die an den Positionen 4, 5, 6, 7, 8 und 13 durchgeführten energetischen Messungen ergaben mit Motorauslastungsgraden von 0,13 bis 0,3 im Vergleich zur Einlagerung noch ungünstigere Werte. Die Ursache liegt vor allem darin, daß aufgrund des notwendigerweise begrenzten Typenangebots Bandförderer zum Einsatz kommen, deren Antrieb für wesentlich höhere Förderströme ausgelegt ist, z. B. für 60 t/h bei einem Förderwinkel von 40°. Derartig hohe Förderströme sind aufgrund der konstruktiven

Gestaltung der Fördererlemente und der Stoffeigenschaften des Förderguts beim Fördern von Kartoffeln kaum realisierbar und im vorliegenden Anwendungsfall auch nicht erforderlich.

In diesem Prozeßteilabschnitt trat das Problem ungünstig aufeinander abgestimmter Kapazität einzelner Mechanisierungsmittel in einer Maschinenkette deutlich hervor (Bild 5). Während der projektierte (konstruktiv mögliche) Durchsatz bei den meisten Bandförderern wesentlich höher lag als der tatsächliche mittlere Durchsatz und selbst bei Spitzenbelastungen nicht erreicht wurde, waren der Annahmeförderer 2 teilweise und der Rollenfraktionierer 6 ständig hoch überlastet. Die negativen Auswirkungen eines derartigen Betriebszustands auf die Arbeitsgüte des Rollenfraktionierers sind leicht abzuschätzen.

An 15 aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführte Laufzeitmessungen ergaben für die Maschinenteilkette Annahmeförderer bis einschließlich Rollenfraktionierer durchschnittlich 7,7 Betriebsstunden je Schicht, für die Maschinenteilkette Rollenfraktionierer bis Dosierbunker der Abpacklinie 6,9 Betriebsstunden je Schicht und für die Maschinenteilkette Rollenfraktionierer bis Dosierbunker der Schällinie 7,3 Betriebsstunden je Schicht.

Ausgehend vom gemessenen mittleren Gutdurchsatz und der je Schicht insgesamt verarbeiteten Lagerware ergeben sich für die Teilmaschinenketten Leerlaufzeiten von 30 bis 50%. Dabei ist allerdings zu beachten, daß zwischen den Maschinenteilketten Kopplungen bestehen, die für bestimmte Förderstreckenabschnitte Leerlauf bedingen. Durch entsprechende technische und technologische Maßnahmen zur Verringerung oder Beseitigung der Leerlaufzeiten sind an dieser Stelle spürbare Ergebnisse in bezug auf Energieeinsparung und weitere günstige Nebeneffekte zu erwarten. Rechnerisch ist nachzuweisen, daß die Maschinenkette Auslagerung/Aufbereitung nur 4 Stunden je Schicht in Betrieb sein muß. Ein entsprechender Lösungsvorschlag (Bild 6), der eine Durchsatzserhöhung auf rd. 30 t/h zur Grundlage hat, ergibt eine Laufzeit der gesamten Maschinenkette von rd. 3 h je Schicht. Zur Realisierung des erforderlichen Massenstroms ist der Annahmeförderer T 237 mit einem entsprechend veränderten Antrieb auszustatten, oder es sind zwei Annahmeförderer im Parallelbetrieb einzusetzen. Gleichzeitig ist

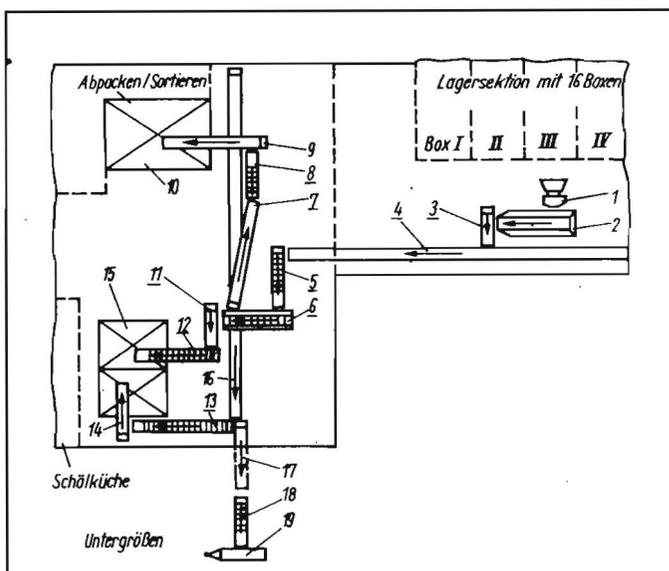


Bild 4

Maschinenfolgeschema für den Prozeßteilabschnitt Auslagerung/Aufbereitung (unterstrichene Positionen sind Meßstellen):

1 Gabelstapler DFG 2002/2 N, 2 Annahmeförderer T 237, 3 Bandförderer, 4 zentrale Bandstraße, 5 Bandförderer, 6 Rollenfraktionierer, 7 bis 9 Bandförderer, 10 Bunker, 11 bis 14 Bandförderer, 15 Bunker, 16 bis 18 Bandförderer, 19 Transportanhänger

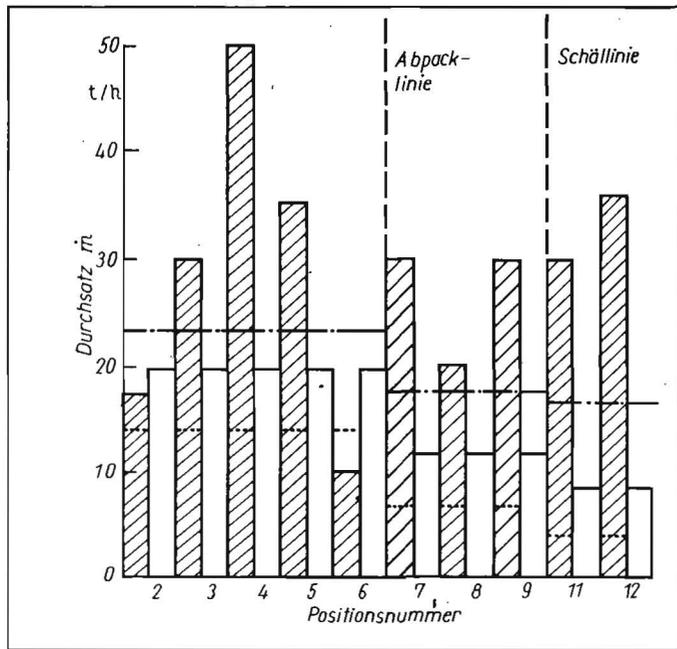


Bild 5. Konstruktiv möglicher (schraffiert dargestellt) und tatsächlicher mittlerer Durchsatz (Erklärung der Positionsnummern s. Bild 4):

--- höchster Meßwert  
 .... niedrigster Meßwert

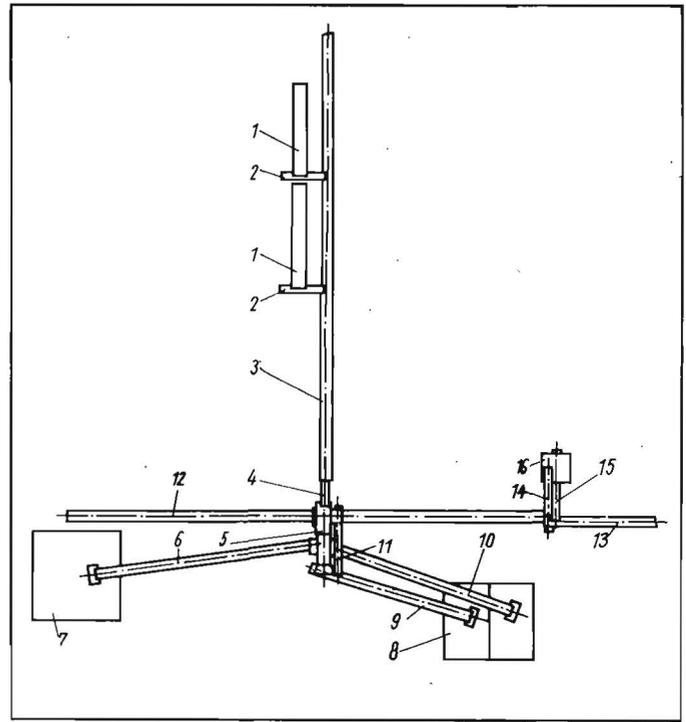


Bild 6. Lösungsvariante für den Prozeßteilabschnitt Auslagerung/Aufbereitung: 1 Annahmeförderer T 237, 2 Bandförderer, 3 zentrale Bandstraße, 4 Bandförderer, 5 Fraktionierer, 6 Bandförderer, 7, 8 Bunker, 9 bis 15 Bandförderer, 16 Bunker für Untergrößen

der Rollenfraktionierer als die gegenwärtig entscheidende Schwachstelle bezüglich des Massenstroms durch eine leistungsfähigere Maschine mit mindestens 3 Fraktionsbereichen (Kettenfraktionierer K 716, Variante II) zu ersetzen. Im Zusammenhang mit dieser Konzeption muß auch das Problem der Fallhöhe der Kartoffeln beim Bunkerbeschicken, die gegenwärtig bis zu 5 m betragen kann, einer Lösung zugeführt werden. Ansatzpunkte dazu bietet eine automatische Fallhöhenanpassung [9]. Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß durch die Realisierung der vorgeschlagenen Lösungsvariante im betrachteten Prozeßteilabschnitt Auslagerung/Aufbereitung eine Einsparung an Elektroenergie von rd. 50% zu erreichen ist. Gleichzeitig sind günstige technologische Nebenwirkungen zu erwarten. Dem steht allerdings eine zeitlich nur geringe Ausnutzung der betreffenden Technik gegenüber. Für Maschinen und Ausrüstungen, die entsprechend der jeweiligen technologischen Grundkonzeption ohnehin vorhanden sind, wie z. B. Gabelstapler und zentrale Bandstraße, ist das nur bedingt von Nachteil.

### 5. Zusammenfassung

Die Untersuchungsergebnisse machen deutlich, daß die Effektivität des Prozeßgeschehens, vor allem der effektive Energie- und Materialeinsatz in ALV-Anlagen, maßgebend davon abhängt, wie es gelingt, ein gewünschtes Prozeßregime herbeizuführen und aufrecht zu erhalten. Dazu sind die Störeinflüsse soweit beherrschbar zu machen, daß Grenzwertüberschreitungen weitestgehend vermieden werden. Bei den gegenwärtigen Lösungen zur Regelung des Durchsatzes (Massegutstroms) treten Durchsatzschwankungen in Größenordnungen auf, die im Überlastbereich die Funktionstüchtigkeit wichtiger Funktionsorgane (Sortierorgane) stark einschränken oder völlig aufheben und im Teillastbereich einen hohen spezifischen Energieverbrauch zur Folge haben. An dieser Stelle sind dringend automatische Steuerungen oder Regelungen zur Prozeßstabilisierung erforderlich.

Im Interesse eines geringen spezifischen Energiebedarfs und geringer Instandhaltungsaufwendungen sowie einer Verlängerung der normativen Nutzungsdauer technischer Ausrüstungen ist es vorteilhafter, die projektierte Kapazität einer Maschinenlinie jeweils voll auszulasten und erforderlichenfalls einen aussetzenden Betrieb vorzusehen, als über längere Zeit im Teillastbetrieb zu arbeiten. Betriebszustände im geringen Teillastbereich und im Leerlauf sollten grundsätzlich vermieden werden — erforderlichenfalls durch automatisches Abschalten.

Im Interesse der Energieeinsparung und der Erhöhung der Anlagenleistung und der Arbeitsqualität ist auf eine sorgfältige Abstimmung der Kapazität der einzelnen Arbeitsmittel einer Maschinenlinie zu achten. Nicht ausreichend ausgelastete Antriebsmotoren sind möglichst auszuwechseln.

Eine der wichtigsten technischen und technologischen Aufgabenstellungen für ALV-Anlagen dürfte die Sicherung eines den jeweiligen Erfordernissen angepaßten und hinreichend gleichmäßigen Massenstroms in allen Bereichen der Gutförderung und -bearbeitung sein.

literatur

### Literatur

- [1] Töpfer, H.; Bischoff, H.: Grundlagen der Prozeßanalyse. Aus KDT-Fernkurs: Prozeßanalyse in der Automatisierungstechnik, Berlin 1980.
- [2] Methodik zur Durchführung von Prozeßanalysen in der stoffwandelnden Industrie. Berlin: Eigenverlag der KDT 1981.
- [3] Komplexe Prozeßanalyse. Leipzig: Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1982.
- [4] Geyer, A.; Herold, M.; Regel, R.: Meßtechnische Untersuchungen an Elektroanlagen von Einrichtungen für die Aufbereitung, Lagerung und Vermarktung von Kartoffeln. agrartechnik, Berlin 23 (1973) 11. S. 515—518.
- [5] Pötke, E.: Verfahren, Maschinen, Anlagen der Lager- und Versorgungswirtschaft für Kartoffeln. Berlin: Dt. Landwirtschaftsverlag 1980.
- [6] Maltry, W.: Möglichkeiten der Klimagestaltung zur Senkung der Lagerverluste und des Energiebedarfs bei Kartoffeln und ausgewählten Gemüsearten. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 8, S. 358—359.
- [7] Werner, I.; Keilwagen, K.: Ein Beitrag zur energie-wirtschaftlichen Prozeßanalyse in ALV-Anlagen. Humboldt-Universität Berlin, Diplomarbeit 1982.
- [8] Maaß, B.: Rationalisierung der Förder- und Umschlagprozesse in der ALV-Anlage Blumberg. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1982.
- [9] Köntzer, H.: Untersuchungen zum beschädigungsarmen Verladen an Kartoffelerntemaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation 1982.

A 3694