

mit der verallgemeinerten Reynoldszahl

$$Re_n = \frac{d^n v^{2-n} 8 \rho}{k \left(\frac{6n+2}{n} \right)^n} \quad (5)$$

und der Rohrreibungszahl

$$\lambda = \frac{\Delta p}{\Delta l} \cdot \frac{2d}{v^2 \rho} \quad (6)$$

zeigt die gute Anwendbarkeit des Potenzgesetzes (1) und Gl. (2) zur Berechnung der Druckverluste gerader Rohre für alle untersuchten Aufbereitungsformen der Kartoffeln. Mit den in Tafel 1 angegebenen Fließkennwerten liegen damit gesicherte und übertragbare Bemessungsgrundlagen für die Projektierung von Rohrförderanlagen vor.

Das Widerstandsverhalten von Armaturen und Formstücken wird zweckmäßig in Form der äquivalenten Rohrlänge l^* angegeben [1] [7], und man kann für 90°-Krümmer, T-Stücke (gerade durchströmt und umgelenkte Strömung), Reduzierstücke und voll geöffnete Keilschieber etwa

$$l^* = 2 l_0 \quad (7)$$

mit l_0 als Einbaulänge annehmen.

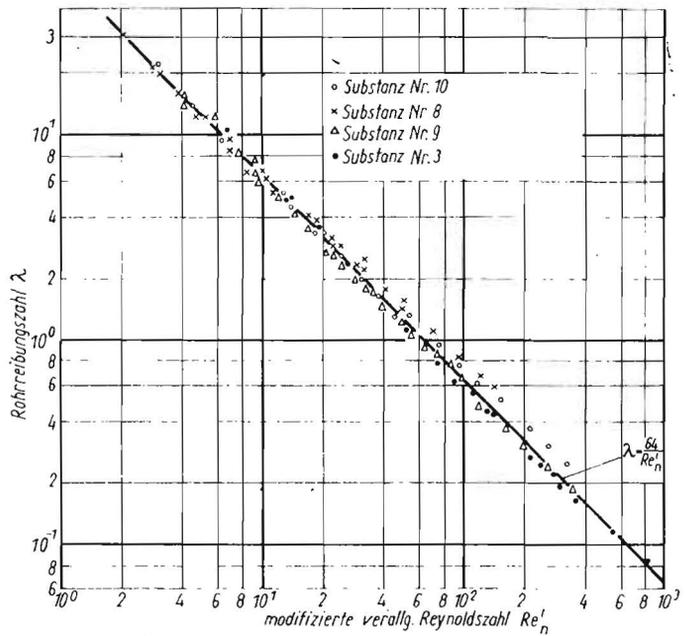
Aus den Teillängen der örtlichen Widerstände l^* und den Teillängen der geraden Rohre l einer NW ergibt sich die Gesamtförderlänge l_{ges} , so daß sich der Gesamtdruckverlust wie folgt errechnet:

$$p_{ges} = \sum (\Delta p / \Delta l) \cdot l_{ges} + H_{geo} \cdot \delta \cdot g. \quad (8)$$

4. Zusammenfassung

Es wurden Förderversuche mit Kartoffeln unterschiedlicher Aufbereitungsformen durchgeführt und gezeigt, daß das Fließverhalten mit dem Potenzgesetz von Ostwald und de Waele Gl. (1) hinreichend genau beschrieben werden kann. Werden die Fließkennwerte mit einem Rohrviskosimeter reproduzierbar bestimmt, ist die Anwendbarkeit auf praktische

Bild 4
Widerstandsverhalten von Kartoffeln unterschiedlicher Aufbereitungsformen beim Fördern in Stahlrohren



Probleme der Rohrförderung mit Hilfe von Gl. (2) gegeben. Die angegebenen Bemessungsgrundlagen (Tafel 1) ermöglichen eine höhere Sicherheit bei der Projektierung von Rohrleitungen für den Transport konzentrierter Dickstoffe im landtechnischen Anlagenbau.

Literatur

[1] Türk, M.: Druckverlust bei der Förderung konzentrierter Futtermischungen mit getrockneten Kartoffeln in Rohrleitungen. *agrartechnik* 27 (1977) H. 3. S. 115—117.

- [2] Freitag, H.: Untersuchungsergebnisse zum Fördern von gemusterten rohen sowie gemusterten gedämpften Kartoffeln. IfM Potsdam-Bornim, Teilbericht 1972 (unveröffentl.).
- [3] Türk, M.: Berücksichtigung der Fließgrenze τ_0 bei der Berechnung der laminaren Rohrströmung landwirtschaftlicher Suspensionen. *agrartechnik* 28 (1978) H. 2. S. 71—74.
- [4] Türk, M.: Berechnung des Druckverlustes bei der Förderung konzentrierter landwirtschaftlicher Suspensionen in Rohrleitungen. *agrartechnik* 26 (1976) H. 10. S. 486—490.
- [5] Türk, M.; Schmidt, H.: Messung des Druckverlustes beim Rohrleitungstransport konzentrierter, grobdisperser Suspensionen. *agrartechnik* 27 (1977) H. 8. S. 367—369.
- [6] Kramer, S.; Oberbarnscheidt, B.; Freitag, H.: Technische Ausrüstung für Hackfruchtstillos. *agrartechnik* 23 (1973) H. 8. S. 376—378.

A 2054

Ergebnisse der Simulation transportverbundener Prozesse bei der Kartoffelernte

Dr. Liselotte Dumack, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Eine der Aufgaben, die der IX. Parteitag der SED der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft gestellt hat, lautet: „Auch in den kommenden Jahren führen wir den wissenschaftlich-technischen Fortschritt in großer Breite in die Landwirtschaft ein“. Teile davon bilden die komplexe Mechanisierung und die weitere Ausgestaltung der materiell-technischen Basis. Sie sind „unter dem Gesichtspunkt der höchsten Effektivität durchzuführen“. [1]

1. Einleitung

Die Einführung neuer Maschinensysteme in der Kartoffelproduktion erfordert die Abstimmung der Leistung der beteiligten Maschinen beim Komplexeinsatz und die Ermittlung der günstigsten Varianten.

Der Prozeßabschnitt Ernte—Transport—Annahme wurde mit einem stochastischen Simulationsmodell nachgebildet [2]. Im Modell wird der zeitliche Ablauf einer zyklischen Aufeinanderfolge von Arbeitsgängen mit Zufallscharakter simuliert. Bis 15 Arbeitsgänge können in das Modell aufgenommen werden. An einer beliebigen Anzahl „Schalter“ können bis 45 „Kunden“ bedient werden. Jeder Arbeitsgang kann ein „Warteschlangen-Arbeitsgang“ sein, für einen kann ein „Puffer“ vorgesehen werden.

Im untersuchten Fall gliedert sich ein Zyklus in die Arbeitsgänge Beladen, Lastfahrt, Wiegen, Vorbereiten, Entladen, Nachbereiten und Leerfahrt. Beim Be- und Entladen wurden auch Störungen simuliert. Die Grundlagen zur Errechnung der Häufigkeitsverteilungen für die

Dauer dieser Arbeitsgänge lieferten Messungen in der KAP Burgwerben und in der ALV-Anlage Zörbig [3].

Berechnet wurden mit dem Modell die Anzahl der benötigten Transporteinheiten (TE), die Transportleistung und die Wartezeiten bei 3, 6, 9 und 12 km Transportentfernung (E) für Erntekomplexe mit 3 bzw. 4 Erntemaschinen (EM) vom Typ E 684 und mit 2 Annahmestellen bzw. bei Behältertransport mit nur einem 6-t-Gabelstapler zum Entladen.

Ziel der Berechnungen war vorrangig der Vergleich unterschiedlicher Annahmevarianten und die optimale Abstimmung zwischen Ernte, Transport und Annahme. Die leistungsfähigsten dieser Varianten 1 bis 6 (Tafel 1) wurden in einem zweiten Schritt als Vorzugsvarianten

nochmals mit unterschiedlich großen Erntekomplexen verglichen.

2. Ergebnisse

Die Ergebnisse für die Verfahren 1 bis 6 zeigen Unterschiede in der optimalen Anzahl der TE, in der Flächen- bzw. Transportleistung und in den Verfahrenskosten.

2.1. Transporteinheiten

Für Verfahren mit hohen Be- und Entladeleistungen, wie z. B. mit zwei Abzugsbändern und vier E 684, muß eine größere Anzahl von TE eingesetzt werden. Eine im Verhältnis geringere Anzahl von TE wird — wegen seines Puffervermögens — mit dem Annahmeförderer T 236 benötigt. Je Erntemaschine sind es mit dem T 236 (Variante 4) 0,75 TE weniger als mit Abzugsband mit Regelung (Variante 6, Tafel 2).

Durchschnittlich wird bei den in Tafel 1 angegebenen Be- und Entladebedingungen mit steigender Transportentfernung auf 3 km eine TE mehr benötigt (Bild 1).

2.2. Leistungen

Die geringste Flächen- und Transportleistung des Komplexes und je TE wird bei der Variante mit Behältern erreicht (Variante 2). Um die Beladeleistung der Erntemaschinen zu nutzen, müßten zwei Gabelstapler DFG 6302 zum Entladen eingesetzt werden.

Die höchste absolute Leistung wird bei der Variante mit vier E 684, Transporteinheiten mit zwei HW 80 und mit zwei Abzugsbändern zur Annahme (Varianten 5 und 6) erreicht, während die höchste Leistung je TE vom Verfahren mit Momententladung in den Annahmeförderer T 236 erzielt wird (Tafel 2).

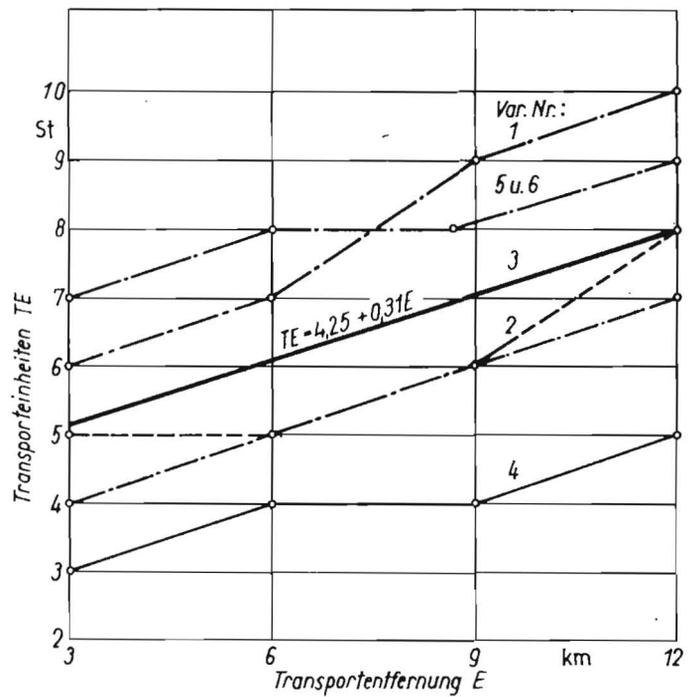
Die Leistungsfähigkeit des Abzugsbandes mit Regelung wird im Bild 2 eindeutig sichtbar. Der Abstimmung der Leistung zwischen Erntekomplex und Annahmeanlagen kommt große Bedeutung zu.

Die Leistung (bezogen auf Produktionsarbeitszeit; technische und technologische Störzeiten sind enthalten) des gesamten Komplexes Ernte—Transport—Annahme liegt für 60, 70 und 90 t/h Annahmleistung bei gleicher Erntemaschinenanzahl mit 92 t/h Beladeleistung bei 1,90 und 2,90 ha/h Flächenleistung.

2.3. Verfahrenskosten

Hohe Verfahrenskosten treten beim Behälter-

Bild 1
Abhängigkeit der Anzahl der Transporteinheiten von der Transportentfernung (Grundlage: Produktionsarbeitszeit T_{04})



Tafel 2. Leistungen des Maschinenkomplexes Ernte — Transport — Annahme (bezogen auf die Produktionsarbeitszeit)

Kennwert		Entfernung km	Varianten					
			1	2	3	4	5	6
Flächenleistung ¹⁾	ha/h	3 ... 12	2,2	1,5	2,0	2,0	2,8	3,3
Transportleistung	t/h	3 ... 12	68,0	45,0	60,0	60,0	84,0	95,0
Wartezeit der Maschinen und TE ²⁾	min	3	12,6	20,2	20,4	29,7	34,5	20,8
		6	13,9	27,8	16,3	31,2	34,4	20,0
		9	15,2	29,6	15,6	61,9	31,4	23,7
		12	17,8	31,5	26,3	30,0	32,3	23,5
TE je EM	St.	3	1,7	1,3	1,7	1,0	1,7	1,7
		6	2,3	1,7	1,7	1,3	2,0	2,0
		9	3,0	2,0	2,0	1,3	2,0	2,0
		12	3,3	2,3	2,7	1,7	2,3	2,3
Verfahrenskosten	M/t	3	4,50	5,10	4,10	3,90	4,40	3,80
		6	4,80	5,50	4,15	4,20	4,60	4,10
		9	5,40	5,90	4,45	4,35	4,80	4,40
		12	5,80	6,30	5,10	4,65	5,05	4,70

1) bei 30 t/ha Rohware

2) Summe der Wartezeiten aller Maschinen, nachdem alle TE einmal umgelaufen sind, und bei optimaler Anzahl von TE

Tafel 1. Eingabedaten der Varianten

Var.-Nr.	Transporteinheit (TE)	Lademasse je TE	Annahmemaschine	Durchsatz t/h (T_{04})	Erntemaschine ²⁾	Beladeleistung t/h (T_{04})
1	Rollbodenfahrzeug	12,0	2 Annahmetrichter + 2 T 296	84,0	3 Masch. Typ 1	78,5
2	W 50 + HW 80 mit 3 Behältern ¹⁾	10,0	1 Gabelstapler DFG 6302	40,0	3 Masch. Typ 1	78,5
3	W 50 + HW 80	12,0	2 T 236 + 2 T 296	60,0	3 Masch. Typ 1	78,5
4	ZT 300 + 2 HW 80	16,0	2 T 236 + 2 T 296	60,0	3 Masch. Typ 1	78,5
5	ZT 300 + 2 HW 80	16,0	2 Abzugsbänder ohne Regelung	85,0	4 Masch. Typ 1	104,7
6	ZT 300 + 2 HW 80	16,0	2 Abzugsbänder mit Regelung	101,6	4 Masch. Typ 1	104,7
Vorzugsvarianten						
4/1				58,0	3 Masch. Typ 1	79,0
4/2	wie Var. 4		2 T 236 + 2 T 296	58,0	2 Masch. Typ 2	61,0
4/3				58,0	3 Masch. Typ 2	92,0
5/1				69,0	2 Masch. Typ 2	61,0
5/2	wie Var. 5		2 Abzugsbänder ohne Regelung	69,0	3 Masch. Typ 2	92,0
5/3				69,0	4 Masch. Typ 1	105,0
6/1				90,0	3 Masch. Typ 2	92,0
6/2	wie Var. 6		2 Abzugsbänder mit Regelung	90,0	4 Masch. Typ 2	122,0
6/3				90,0	4 Masch. Typ 1	105,0

1) 3,25 t je Behälter

2) Typ 1: E 684; Typ 2: selbstfahrende Erntemaschine

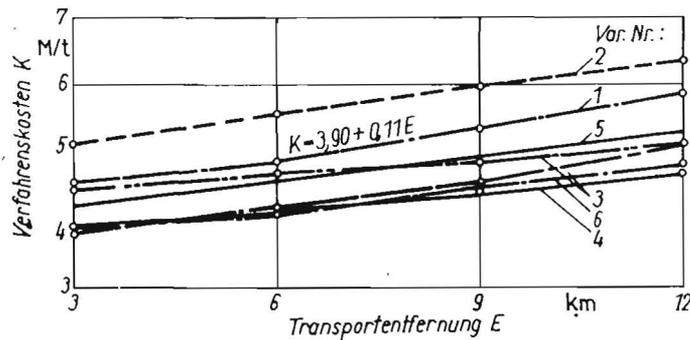
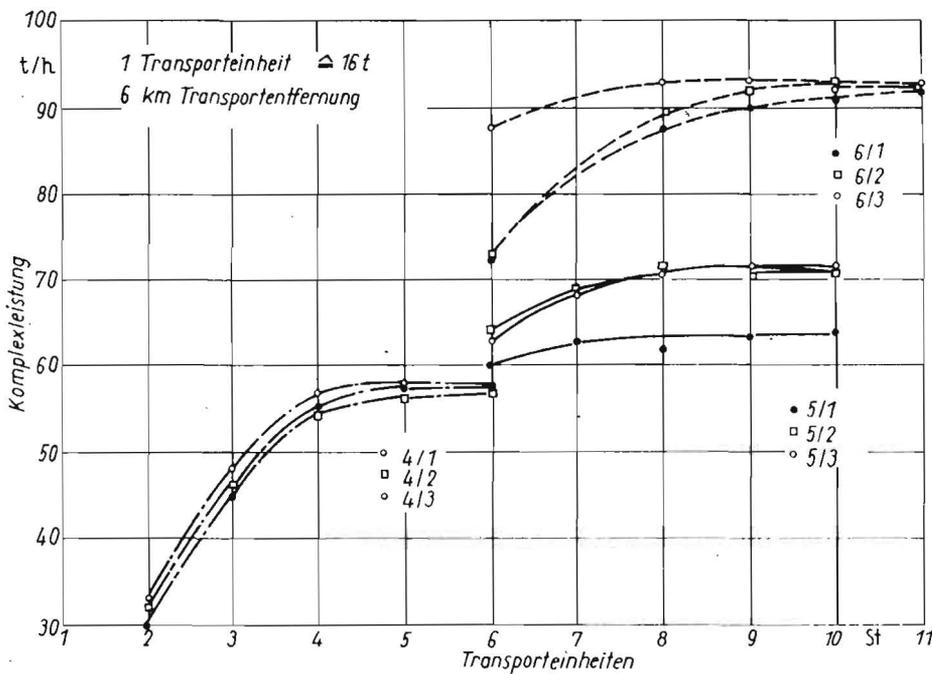
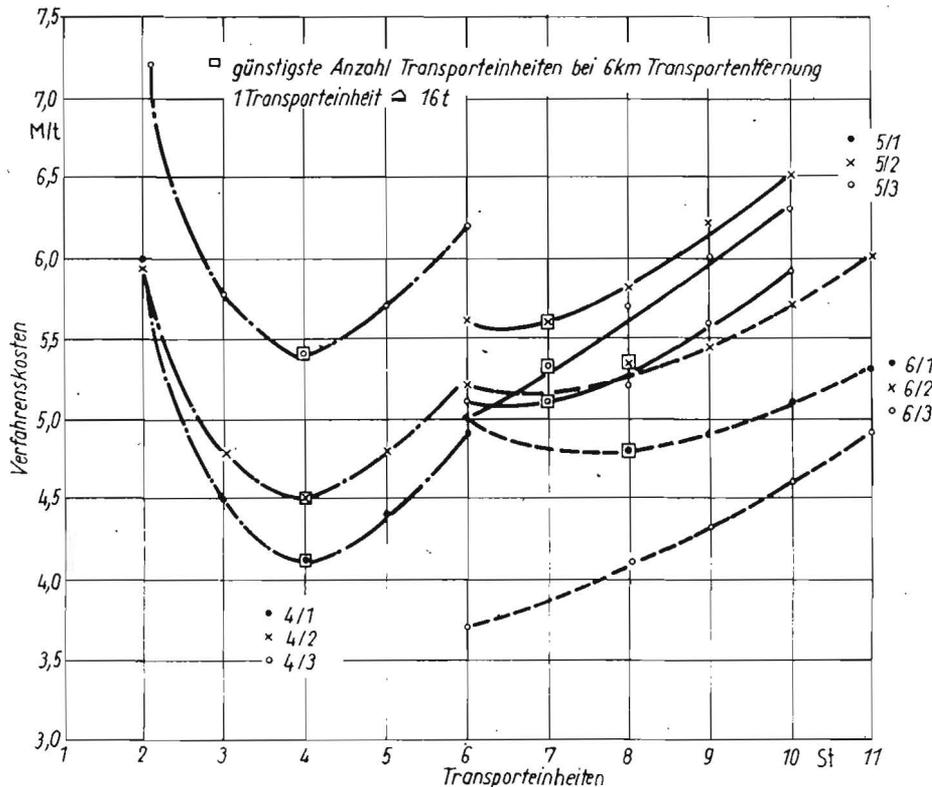


Bild 2 Leistungen von Maschinenkomplexen Ernte-Transport-Annahme in der Produktionsarbeitszeit

Bild 3 Abhängigkeit der Verfahrenskosten von der Transportentfernung

Bild 4. Verfahrenskosten für den Maschinenkomplex Ernte-Transport-Annahme



transport auf, bedingt durch hohe Maschinenkosten für den Gabelstapler und ungünstigere Nutzung der TE (Variante 2). Auch die höheren Kosten des Rollbodenfahrzeugs wirken sich auf die Verfahrenskosten ungünstig aus (Variante 1). Die gegenüber dem Annahmeförderer T 236 höheren Maschinenkosten des Abzugsbandes mit Regelung gleichen sich durch hohe und gleichmäßige Leistung aus, so daß in diesem Fall im Vergleich der drei E 684 im Komplex mit Annahmeförderer T 236 zu vier E 684 im Komplex mit Abzugsband mit Regelung der leistungsbezogene Kostenaufwand fast gleich ist (Varianten 4 und 6, Tafel 2). Die Verfahrenskosten nehmen je km Transportentfernungszunahme im untersuchten Bereich im Durchschnitt der sechs Varianten um 0,11 M/t zu (Bild 3).

Der Vergleich der Verfahrenskosten der Komplexe mit Annahmeförderer T 236 bzw. Abzugsband mit unterschiedlich leistungsfähigen Erntekomplexen wird stark von den Kosten der EM beeinflusst (Bild 4). Die Maschinenkosten betragen je E 684 + MTS-80 34,00 M/h, die für eine in der Leistung höher liegende selbstfahrende Erntemaschine werden auf 59,00 M/h geschätzt. Die Kostendifferenzen zwischen den Annahmemaschinen sind geringer. Innerhalb der Annahmearien sind die Komplexe mit E 684 hinsichtlich Kostenaufwand günstiger. Der Vergleich der drei Annahmearien — einschließlich der entsprechenden leistungsbedingten Anzahl von TE — jeweils mit dem Erntekomplex drei Maschinen des leistungsfähigeren Typs 2 — zeigt gegenüber dem Annahmeförderer einen geringeren Kostenaufwand des Komplexes mit geregeltm Abzugsband (5,40 M/t gegenüber 4,80 M/t).

2.4. Wartezeiten

Im Ergebnisdruck der Simulationsrechnung sind die Wartezeiten der Maschinen und Transportmittel in den einzelnen Arbeitsgängen enthalten [4].

Daraus geht hervor, daß auch bei guter Abstimmung im Maschinenkomplex Wartezeiten nicht röstlos vermeidbar sind. Ein ausgeglichener Zyklus ist beim Entladen mit Hilfe eines Rollbodens oder auf ein Abzugsband zu erreichen. Der unausgeglichene Zyklus tritt bei Momententladung auf (Tafel 3).

Die niedrigsten Wartezeiten und demzufolge die niedrigsten Kosten für Wartezeiten der Varianten mit unterschiedlich großen Erntekomplexen treten beim Einsatz von zwei bzw. drei Maschinen vom Typ 2 auf. Hohe Kosten infolge von Wartezeit entstehen für den betrachteten Prozeßabschnitt, wenn der Erntekomplex leistungsfähiger als die Annahme ist (Bild 5). Auf die Verfahrenskosten wirken sich jedoch die Wartezeitkosten bei optimaler Anzahl von TE nicht dominierend aus. Die Varianten mit der niedrigsten Wartezeit sind weder die günstigsten hinsichtlich der Verfahrenskosten noch die mit den höchsten Flächenleistungen. Der Vergleich der Wartezeiten sollte in erster Linie zur Feststellung der optimalen Anzahl von TE benutzt werden.

3. Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen des Vergleichs im Prozeßabschnitt Ernte—Transport—Annahme läßt sich allgemein ableiten:

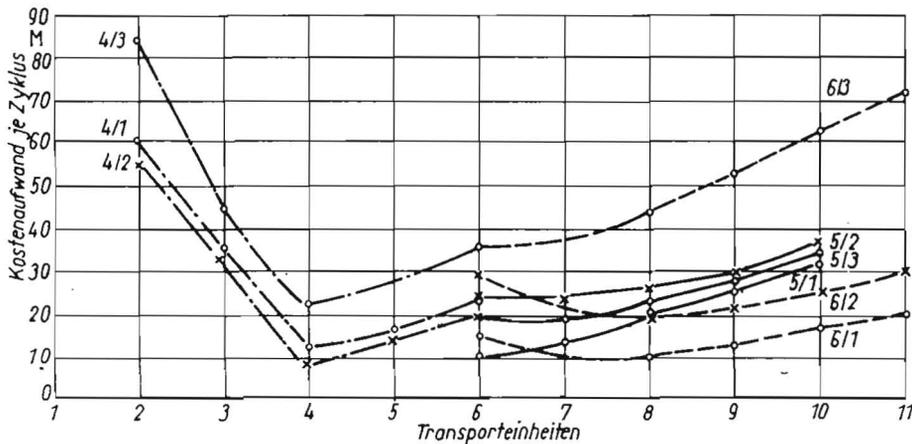
- Erntekomplexleistung und Annahmekapazität müssen in etwa entsprechen, um eine hohe Gesamtleistung zu erreichen.
- Die Erntekomplexleistung sollte nicht unter der Annahmekapazität liegen, damit die

Tafel 3. Wartezeiten der Maschinen und TE für unterschiedliche Anzahl von TE in min (6 km Transportentfernung)

	TE Anzahl	Varianten-Nr.									
		1	2	3	4	5	6	6/1	6/2	6/3	
Wartezeiten der TE vor dem Beladen	3	—	—	—	0	—	—	—	—	—	
	4	—	—	1,0	0,1	0	—	—	—	—	
	5	0,7	0	2,0	0,1	0	0	—	—	—	
	6	1,5	0	1,6	0,2	0	0,1	1,4	0,1	0,1	
	7	3,6	0,1	2,7	—	0	0,2	—	—	—	
	8	8,5	0,1	—	—	0,1	0,2	4,9	0,5	0,1	
	9	—	—	—	—	—	—	7,7	0,5	0,1	
	10	—	—	—	—	—	—	9,2	0,8	0,1	
	11	—	—	—	—	—	—	12,5	0,6	0,1	
	Wartezeiten der TE vor dem Entladen	3	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—
		4	—	—	0	10,1	1,3	—	—	—	—
5		0,6	0,7	0,4	25,6	2,4	1,6	—	—	—	
6		0,8	20,3	13,5	42,1	4,2	2,8	3,2	4,3	21,5	
7		1,2	32,5	23,9	—	8,0	4,2	—	—	—	
8		1,7	45,7	—	—	16,1	7,1	9,2	11,6	50,1	
9		—	—	—	—	—	—	14,4	19,7	70,0	
10		—	—	—	—	—	—	23,4	28,5	91,0	
11		—	—	—	—	—	—	29,9	41,1	111,0	
Wartezeiten der Annahmeanlagen		3	—	—	—	95,5	—	—	—	—	—
		4	—	—	25,8	0,9	17,1	—	—	—	—
	5	13,4	0,3	7,6	0,1	9,3	11,4	—	—	—	
	6	8,8	0	0,5	0	4,2	6,8	6,3	6,2	2,5	
	7	6,2	0	0,3	—	1,3	3,2	—	—	—	
	8	4,9	0	—	—	0,2	1,3	1,2	0,8	0,1	
	9	—	—	—	—	—	—	0,6	0,1	0	
	10	—	—	—	—	—	—	0,2	0	0	
	11	—	—	—	—	—	—	0,2	0	0	
	Wartezeiten der Erntemaschinen	3	—	—	—	27,0	—	—	—	—	—
		4	—	—	13,4	20,2	52,1	—	—	—	—
5		13,4	18,8	6,1	19,4	36,2	32,4	—	—	—	
6		6,8	18,0	6,2	19,4	26,6	22,7	10,4	24,8	45,5	
7		2,7	17,6	5,6	—	20,4	16,5	—	—	—	
8		0,7	17,8	—	—	18,1	11,6	3,3	14,2	39,4	
9		—	—	—	—	—	—	2,1	13,1	40,8	
10		—	—	—	—	—	—	2,0	11,6	41,6	
11		—	—	—	—	—	—	1,4	12,4	42,5	
gesamte Wartezeit ¹⁾		3	—	—	—	122,7	—	—	—	—	—
		4	—	—	40,3	31,2	70,4	—	—	—	—
	5	28,2	27,8	16,3	45,1	48,0	45,4	—	—	—	
	6	18,1	38,3	22,0	61,5	35,0	32,3	21,3	35,4	69,6	
	7	13,9	50,2	32,7	—	29,1	23,9	—	—	—	
	8	15,9	63,6	—	—	34,4	20,0	18,6	27,1	89,7	
	9	—	—	—	—	—	—	24,8	33,4	110,9	
	10	—	—	—	—	—	—	34,8	40,9	132,7	
	11	—	—	—	—	—	—	44,0	54,1	153,6	

1) nachdem alle TE einmal umgelaufen sind

Bild 5. Kostenaufwand für Wartezeiten des Maschinenkomplexes Ernte-Transport-Annahme



mögliche Leistung genutzt wird, aber auch nicht zu stark überhöht werden, weil die Erntemaschine die kostenaufwendigste Maschine des untersuchten Abschnitts ist. — Der leistungsfähigste Komplex ist nicht in jedem Fall der kostengünstigste. Vom Standpunkt der Effektivität sollte beachtet werden, daß höchste Leistung nicht mit zu hohem Kostenaufwand „erkauf“ wird. — Durch Beachtung der Wartezeiten sind Engpässe im Arbeitsablauf erkennbar. Wartezeiten beim Beladen oder Entladen der TE beeinflussen die Kosten des Abschnitts Ernte—Transport—Annahme weniger als die Erntemaschinen-Wartezeiten.

Bei einer der neun mit dem Modell berechneten Vorzugsvarianten ergab sich Übereinstimmung zwischen höchster Flächenleistung und niedrigsten Verfahrenskosten, nämlich bei der Verfahrensvariante 4 E 684 — 8 TE — 2 Abzugsbänder mit Regelung.

Literatur

- [1] Honecker, E.: Bericht des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands an den IX. Parteitag der SED. Berlin: Dietz Verlag 1976.
- [2] Baganz, K.: Programmbeschreibung STSA „Stochastische Simulation A“. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim 1975 (unveröffentlicht).
- [3] Graichen, G.: Grundlagen zur Simulation der Prozesse für die Ernte, den Transport und die Annahme von Kartoffeln. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim, Arbeitsmaterial 1975 (unveröffentlicht).
- [4] Wissenschaftlich-technische und verfahrenstechnische Grundlagen für die Ausrüstung neuer und die Rekonstruktion vorhandener ALV-Anlagen. FZM Schlieben/Bornim, F/E-Bericht 1977.

A 2051

Berichtigung

Die Autoren des Artikels „Mechanisierungslösungen zur Strohernte“ (Heft 6/1978, Seiten 253 bis 256) möchten richtigstellen, daß der Diemenlader DL 650 nur für den Traktor ZT 300 und nicht für den ZT 303 zugelassen ist.