

druschkomplexen unterschiedlicher Größe dieser Arbeitsrhythmus herausbildet, fehlen gegenwärtig noch, so daß dazu noch keine wissenschaftlich begründeten Aussagen gemacht werden können.

Daß mit der Methode, nach der die vorgestellten Nomogramme errechnet wurden, ein hinreichender Genauigkeitsgrad der Einzelwerte möglich ist, wurde durch WALTER (LPG Kerspleben, Kr. Erfurt) [5] im praktischen Einsatz bestätigt. Zur Ernte 1969 befanden sich annähernd 120 Nomogrammexemplare für den Dienstgebrauch in den VEB Getreidewirtschaft. Es ist nicht bekannt geworden, daß ihre Verwendung Schwierigkeiten bereitet hätte.

Zur zylographischen Darstellung des Arbeitsablaufs optimierter transportverbundener Fließerbeitsverfahren

— Ein Beitrag zur Verifizierung von Organisationsmodellen —

1. Gegenstand der Problematik

Mit zunehmender Ausrichtung der Produktionsverfahren der Pflanzenproduktion auf den Einsatz ganzer Maschinensysteme wächst die Bedeutung jener Arbeitsverfahren, bei denen Be- und Entladeprozesse in unmittelbare zeitliche und sachliche Nähe zu Transportprozessen treten. Solche Prozeßkopplungen sind heute fast ausnahmslos bei allen hochmechanisierten Ernteverfahren sowie einer Reihe weiterer Aufgaben, namentlich auf dem Gebiet der organischen und mineralischen Düngung, zu beobachten. Eine besondere Rolle spielen dabei die sogenannten transportverbundenen *Fließerbeitsverfahren*. Sie zeichnen sich nicht nur schlechthin durch die enge Verknüpfung und ständig wiederkehrende Aufeinanderfolge der Teilarbeiten Beladen, Fahren und Entladen aus, sondern sind darüber hinaus gekennzeichnet

- durch ihre arbeitsteilige Durchführung und
- durch den hieraus folgenden Abstimmungszwang der einzelnen Teilarbeiten [1] [2] [3].

Möglichkeiten einer Systematisierung dieser Fließerbeitsprozesse haben FLEISCHER [1] und KASTEN [4] vorgelegt. Namentlich der jüngere Typenrahmen von KASTEN ist weit genug angelegt, um die vielfältigsten Arbeitskräfte- und Maschinenkombinationen aufnehmen zu können.

Die Dispositionskunst des praktischen Einsatzleiters besteht darin, die einzelnen Teilarbeiten transportverbundener Fließerbeitsverfahren so aufeinander abzustimmen, daß Leerlauf und Zeitverluste so weit als irgend möglich vermieden werden.

Doch selbst bei richtiger Disposition wird in der Regel mit Verlustzeiten der Kategorie T_{44} (zyklisch wiederkehrende verfahrensbedingte Verlustzeiten) zu rechnen sein, weil es nur ausnahmsweise gelingen dürfte, bei gegebenen Werten für Entfernung, Geschwindigkeit, Nutzlast usw., Beladzeit, Umlaufzeit und Entladezeit zueinander in die Relationen von kleinen ganzen Zahlen zu bringen. Aufgrund der Unteilbarkeit der eingesetzten Produktivkrafteinheiten sind transportverbundene Fließerbeitsverfahren darum stets von mehr oder weniger großen verfahrensbedingten Verlustzeiten begleitet.

Als wesentliche, aus der bisherigen Abstimmungsempirie herausführende Dispositionshilfe wird den Praktikern zur agra 1970 ein umfangreicher Katalog „Optimierte Maschinenkomplexe transportverbundener Fließerbeitsverfahren“ zur Verfügung stehen [3] [5].¹

Sein Fundament sind in erster Linie die von KASTEN [4] [5] entwickelten, auf der gemischt-ganzzahligen linearen

Zusammenfassung

Es werden praktikable Nomogramme für die Planung des Transportraumbedarfs von Mähdrescherbrigaden, deren hinreichende Genauigkeit bestätigt ist, vorgestellt.

Literatur

- [1] THIESSENHUSEN: Persönliche Mitteilung 1968
- [2] —: Richtnormenkatalog für Arbeiten mit Traktoren im VEG
- [3] WEINREICH, H. J.: Richtnormenkatalog für Transportarbeiten in den sozialistischen Landwirtschaftsbetrieben
- [4] KRASCHEWSKI, A.: Rationeller Komplexeinsatz der Maschinen und Geräte in der Getreideernte. *Feldwirtschaft* 8 (1967) II, 6, S. 290 bis 292
- [5] Walter: Persönliche Mitteilung 1968

A 7920

Dr. E. FLEISCHER*

Optimierung aufbauenden Modelle zur optimalen Disposition von Arbeitskräften und Maschinen transportverbundener Fließerbeitsverfahren. Sie knüpfen in ihrem technologischen Ausgangspunkt an die von HÜBNER [6] und FLEISCHER [1] [2] geleisteten Vorarbeiten an, die sie in ein System simultaner Gleichungen und Ungleichungen weiterführen mit dem Ziel, unter der Bedingung unteilbarer Produktivkrafteinheiten die Kosten der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten T_{44} zu minimieren.

Der Zielfunktion „Minimierung der Verlustzeitkosten“ entsprechend verfolgt damit die Optimierung transportverbundener Fließerbeitsverfahren aus der Sicht des Technologen vor allem eine bessere „Ausstattung“ von Fließerbeitsprozessen [7]. Daß darüber hinaus durch die optimale Zuordnung von Transporteinheiten zu unterschiedlich großen Komplexen von Schlüsselmaschinen mittelbar auch in gewissem Maße dem Redundanzprinzip [9] [8] Rechnung getragen wird, sei nur am Rande erwähnt.

Im folgenden soll vor allem die Frage interessieren, wie sich der Arbeitsablauf der Maschinen eines optimierten transportverbundenen Fließerbeitsverfahrens zylographisch darstellt. Unter den Zyklen sollen hierbei die Runden bzw. Umläufe der am Fließerbeitsverfahren beteiligten Transporteinheiten verstanden werden. Sie seien so über einer Zeitskala aufzutragen, daß einerseits alle wichtigen Teilarbeiten der Transporteinheiten und andererseits deren zeitliche und sachliche Bezüge zu den beladenden Einheiten (Schlüsselmaschinen) deutlich werden. Ohne Einzelziele vorwegzunehmen, soll auf diese Weise durch unser Zylogramm zweierlei erreicht werden,

- Überprüfung der Frage, inwieweit das den berechneten Komplexoptima zugrunde liegende Modell die Wirklichkeit richtig widerspiegelt und
- Aufhellung einiger praktischer Aspekte des Arbeitsablaufs transportverbundener Fließerbeitsverfahren.

Die größere Bedeutung kommt dabei ohne Zweifel der erstgenannten Aufgabe zu, denn die Verifizierung der verwendeten ökonomisch-mathematischen Modelle ist nach HOWITZ [10] z. Z. eines der schwerwiegendsten methodischen Probleme der Operationsforschung.

* WZ für Landtechnik Schlieben, Bereich Forschung, Außenstelle Halle (Direktor: Dipl.-Ing. K. ALGENSTAEDT)

¹ Der Vertrieb dieses Katalogs erfolgt durch den VEB Ingenieurbüro für Betriebswirtschaft der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg

Tafel 1. Einige optimierte Arbeitskräfte- und Maschinenkomplexe des transportverbundenen Fließarbeitsverfahrens „Mähdrusch“

Fruchtart: Wi.-Gerste		Mähdröschler: E 512		Transportmittel: W 50 LAK + 1 HK 5						
Ertrag: 35 dt/ha		Nutzmasse der Transporteinheit: 8,4 t		Transportentfernung: 4 km						
lfd. Nr.	Inhalt der Aktivität	Dimension	Anzahl gemeinsam (komplex) eingesetzter Mähdröschler							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Anzahl der zugeordneten LKW-Züge	St.	2	2	2	3	3	5	6	6
2.	davon Feld-LKW	St.	1	1	1	1	2	2	2	2
3.	davon Fahrt-LKW	St.	1	1	2	2	3	3	4	4
4.	Anzahl der Arbeitskräfte	AK	4	6	8	10	13	15	18	19
5.	darunter Aufrundungs-AK	AK	0,4	0,8	0,2	0,6	—	0,4	0,8	0,2
6.	Stückzeitfonds der Mähdröschler	h	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
7.	davon produktive Fließarbeitszeit	h	10,0	20,0	30,0	39,5	50,0	60,0	70,0	79,0
8.	davon verfahrensbedingte Verlustzeit	h	—	—	—	0,5	—	—	—	1,0
9.	Stückzeitfonds der LKW-Züge	h	20,0	20,0	30,0	30,0	50,0	50,0	60,0	60,0
10.	davon produktive Fließarbeitszeit, Feld-LKW	h	2,5	5,1	7,6	10,0	12,6	15,2	17,7	20,0
11.	davon produktive Fließarbeitszeit, Fahrt-LKW	h	4,9	9,9	14,8	19,5	24,7	29,6	34,5	38,9
12.	davon verfahrensbedingte Verlustzeit, Feld-LKW	h	7,5	4,9	2,4	—	7,4	4,8	2,3	—
13.	davon verfahrensbedingte Verlustzeit, Fahrt-LKW	h	5,1	0,1	5,2	0,5	5,3	0,4	5,5	1,1
14.	Vorbereitungs-, Abschluß- und Wegezeit der MD	h	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4
15.	Vorbereitungs-, Abschluß- und Wegezeit der LKW	h	2,3	2,3	3,5	3,5	5,8	5,8	7,0	7,0
16.	Runden (Ladungen) je Schicht	t	5,6	11,2	16,8	22,1	28,0	33,6	39,2	44,2
17.	Anzahl der Bunkerfüllungen	t	36	72	109	143	181	217	253	286
18.	Geerntete Fläche je Schicht	ha	13,4	26,9	40,3	53,1	67,1	80,6	94,0	108,1
19.	Transportiertes Getreide je Schicht	t	47	94	141	186	235	282	329	371
20.	Arbeitszeitbedarf	AKh/ha	3,3	2,5	2,2	2,1	2,2	2,1	2,1	2,0
21.	Verfahrenskosten	M/ha	99,80	89,30	87,80	86,40	87,50	86,00	86,50	85,80
22.	darunter Verlustzeitkosten	M/ha	13,70	4,20	2,70	1,50	2,40	1,10	1,60	0,90
23.	darunter Transportkosten	M/ha	27,10	16,50	16,50	14,00	16,50	14,70	15,00	14,00

2. Charakteristik des untersuchten Beispiels

Zur Beantwortung dieser sowie weiterer, mehr ins einzelne gehender Fragen wollen wir von einem Beispiel aus dem Bereich des Mähdrusches ausgehen, vgl. Tafel 1, Spalte „5 MD“. Es handelt sich hierbei um eine aus insgesamt 1820 von KASTEN, FLEISCHER, WEBER und BRÜCKNER mit Unterstützung des Ing.-Büros für Betriebswirtschaft der VVB Saat- und Pflanzgut vorbereiteten, berechneten und ausgewerteten Mähdruschvarianten [5], und zwar um den Mähdrusch von Wi.-Gerste im 5er-Komplex, mit folgenden unterstellten Bedingungen:

- Ertrag 35 dt/ha
- Transportentfernung 4 km
- Transportgeschwindigkeit in T_{05} 21 km/h
- Transporteinheit (TE) LKW W 50 LAK + HK 5 mit einer Nutzmasse von 8,4 t/TE
- Mähdröschler E 512 mit einem Durchsatz in T_{05} von 4,7 t/h
- Fassungsvermögen des Bunkers 1,3 t/B.
- Übergabezeit je Bunkerfüllung einschl. Kontrolle in T_{05} 4,2 min/B.
- Entladezeit in T_{05} 30 min/TE.

Die Ergebnisse der Optimierungsrechnung zu dieser Variante sind in Tafel 1, Sp. „5 MD“ ausgewiesen. Als wichtigstes Ergebnis sei hier lediglich hervorgehoben, daß den 5 vorgegebenen Mähdröschern vom Typ E 512 (5er-Komplex) unter diesen Bedingungen optimal 5 LKW-Züge W 50 LAK + HK 5 zuzuordnen sind und zyklisch wiederkehrende Verlustzeiten nur bei den Transporteinheiten auftreten.

Aus den obengenannten Unterstellungen sind für den Zweck einer graphischen Darstellung des Arbeitsablaufs noch einige weitere Normative abzuleiten:

- a) die Zeit, die notwendig ist, um eine Bunkerfüllung zu erledigen: Es ist $\frac{4,7 \text{ t/h Durchsatz}}{1,3 \text{ t/B.}} = 3,62 \text{ B./h;}$ hieraus folgt als reziproker Wert in T_{05} 16,6 min/B. \approx 17 min/B.
- b) die Last- und Leerfahrzeit je Umlauf in T_{05} $\frac{2 \times 4 \text{ km}}{21 \text{ km/h}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} = 22,8 \text{ min} \approx 23 \text{ min}$

c) die Anzahl der Bunkerfüllungen je TE

$$\frac{8,4 \text{ t/TE}}{1,3 \text{ t/B.}} = 6,46 \text{ B./TE} \approx 6,5 \text{ B./TE.}$$

Die Rundungen auf die numerischen Größen 17, 23 und 6,5 sind aus zeichnungstechnischen Gründen notwendig und aufs ganze gesehen unbedeutend, führen jedoch zu kleineren Differenzen zwischen Zyklusdiagramm und Ergebnissen der Optimierungsrechnung, auf die im einzelnen noch hinzuweisen sein wird.

3. Welche Ziele sollen mit dem Zyklusdiagramm verfolgt werden?

Mit der zyklusgraphischen Darstellung der als Beispiel ausgewählten Fließverfahrensvariante sollen neben einem Einblick in die allgemeine Dynamik des Ablaufs optimierter Fließarbeitsprozesse insbesondere einige der Optimierungsergebnisse bestätigt bzw. praktisch veranschaulicht werden. Darüber hinaus sollen aus dem Zyklusdiagramm Ansatzpunkte für die Formulierung strategischer Verhaltensroutinen der MD- und LKW-Fahrer erarbeitet werden.

Im einzelnen zielt das Zyklusdiagramm auf folgende spezielle Fragen ab:

- a) Bestätigung der für die untersuchte Variante als notwendig errechneten 5 TE, insbesondere Überprüfung der Frage, ob hiervon in der Tat ständig 2 TE für den unmittelbaren Einsatz auf dem Felde benötigt werden.²
- b) Untersuchung des errechneten Umfangs zyklischer verfahrensbedingter Verlustzeiten T_{44} .
- c) Gewinnung eines Einblicks in die zeitliche Verteilung der Verlustzeit T_{44} und Überprüfung der Frage, inwieweit die im Modell notwendige fiktive Trennung in T_{44} (Feld) und T_{44} (Fahrt) zyklusgraphisch nachvollziehbar ist.

² Die MD-Bunker führen zu einer gewissen, den TE-Bedarf vermindern Pufferung. Aus sachlogischen und rechentechnischen Gründen zwingt dieser Umstand dazu, die Transporteinheiten im Modell fiktiv zu trennen in die beiden Gruppen

TE_1 (Fahrt) für Fahren und Entladen sowie TE_2 (Feld) für Beladen, vgl. [4] und [5].

Die Anzahl notwendiger TE_1 errechnet sich (unter der Bedingung der Ganzzahligkeit) hierbei aus der Gesamtzeit für Fahren und Entladen, geteilt durch den Zeitfonds je TE, die Anzahl notwendiger TE_2 in gleicher Weise aus der Gesamtzeit für das Beladen (= Abbunkern), wiederum geteilt durch den Zeitfonds je TE. Aufgabe unseres Zyklusdiagramms ist u. a. nachzuweisen, daß die fiktive Trennung der einzelnen TE-Funktionen nicht im Widerspruch dazu steht, daß die Transportmittel physische Einheiten bilden. Mit anderen Worten geht es also um den Nachweis, daß die errechnete Anzahl an Fahrt-TE und Feld-TE tatsächlich für die einzelnen Teilfunktionen notwendig ist.

- d) Aussage über die Gesamtdauer eines Transportzyklus (Runde) einschließlich und ausschließlich der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeit T_{44} .
- e) Kontrolle der errechneten Runden und Bunkerfüllungen.
- f) Nachweis der durch das An- und Auslaufen von Fließarbeitsprozessen verursachten Verlustzeit.³

4. Unterstellte Grundsätze des Arbeitsablaufs, Beschreibung des Zyklusgrammaufbaues

Ehe die mit dem Zyklusgramm verfolgten Fragen beantwortet werden sollen, sind noch einige Bemerkungen über den Aufbau des Zyklusgramms sowie die dem Fließarbeitsablauf zugrunde gelegten Prinzipien notwendig.

Die formale Struktur des Zyklusgramms ist aus Bild 1 ersichtlich. Über einer die gesamte Fließarbeitszeit der Schicht umspannenden Zeitskala werden für jede Transporteinheit und jeden Mähdrescher auf gesonderten „Spuren“ die einzelnen Teilarbeiten in chronologischer, die bestehenden Wechselbeziehungen berücksichtigende Reihenfolge aufgetragen.

Die inhaltliche Struktur ergibt sich einerseits aus der durch die Optimierungsrechnung ausgewiesenen Forderung, bei unserer Beispielsvariante zum Zwecke der Verlustzeitminimierung die fünf gemeinsam eingesetzten Mähdrescher voll auszunutzen (Verlustzeit T_{44} also ausschließlich bei den Transporteinheiten zuzulassen), andererseits aus folgenden Grundsätzen der Arbeitsablaufordnung:

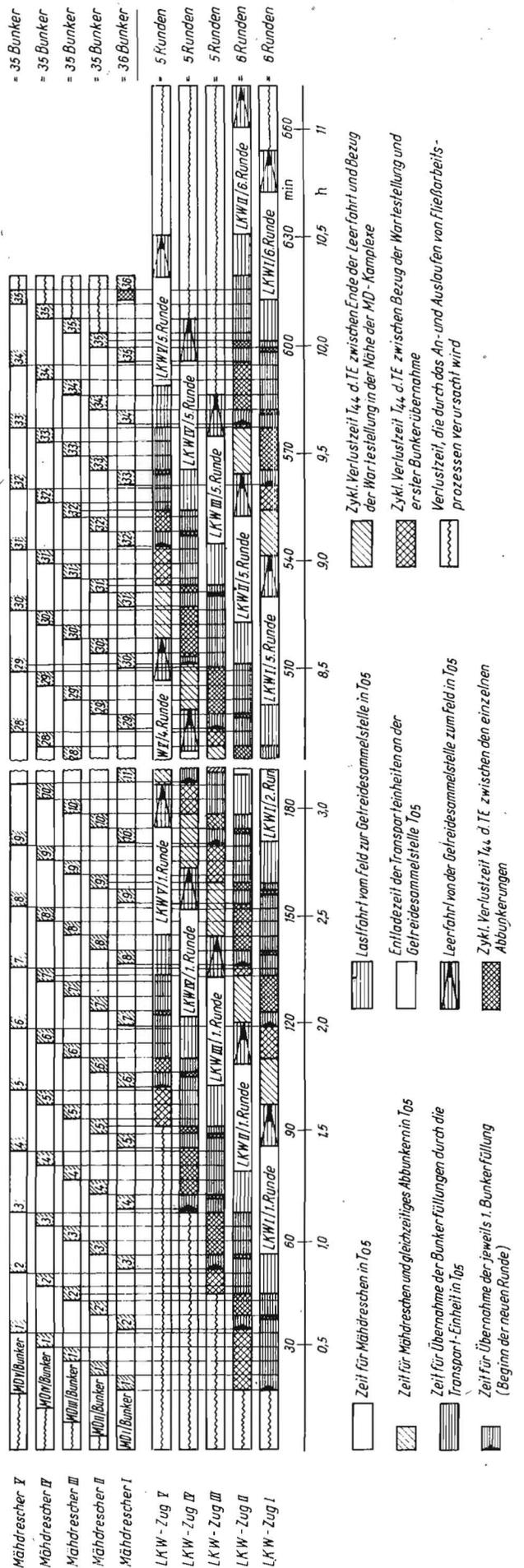
- a) Die Mähdrescher arbeiten in einer Staffel; die Entbunkerung geschieht — bei dem die Staffel anführenden Mähdrescher (MD I) beginnend — stets in der Reihenfolge, in der sich die MD in die Staffel einordnen. Nachdem der abbunkernde LKW mit der Übernahme der Bunkerfüllung von MD I fertig ist, verlangsamt oder unterbricht er seine Fahrt so lange, bis er sich mit MD II in gleicher Höhe befindet, um alsdann den inzwischen gefüllten Bunker von MD II zu übernehmen usw.
- b) Nach einem Umlauf auf das Feld zurückgekehrte Transporteinheiten werden in der Reihenfolge ihres Eintreffens eingesetzt und abgefertigt.
- c) Die aufeinanderfolgende Abbunkerung der fünf in unserer Beispielsvariante gemeinsam eingesetzten MD dauert $4 \text{ min/MD} \times 5 \text{ MD} = 20 \text{ min}$.

Andererseits beträgt die Zeit, nach der jeweils eine neue Bunkerfüllung erdroschen ist, nur 17 min. Wenn die Mähdrescher MD I bis MD V — beim LKW-Zug I beginnend — nacheinander abbunkern und bei den MD keine Verlustzeit T_{44} zugelassen wird, folgt hieraus, daß zur Übernahme der Bunkerfüllung von MD V LKW-Zug II einspringen muß (vgl. Bild 1, LKW I/1. Runde und LKW II/1. Runde), obgleich Zug I noch nicht seine gesamte Nutzmasse zugeladen hat. Ist auf diese Weise der zeitweilige Engpaß überwunden, wird die weitere Beladung des eingesprungenen Zuges so lange ausgesetzt, bis die Beladung des vorausgegangenen Zuges abgeschlossen ist. Im gleichen Sinne werde in allen ähnlich gelagerten Situationen verfahren!

Aus diesen drei bei der Erstellung des Zyklusgramms berücksichtigten Grundsätzen läßt sich für den praktischen Einsatz

³ Wir wollen diese Art von Verlustzeit vorbehaltlich einer bislang noch ausstehenden Konvention einstweilen mit T_{45} bezeichnen.

Bild 1. Zyklusgramm für das transportverbundene Fließarbeitsverfahren: Mähdrusch von Wintergerste (Variante Nr. 1/V); eingesetzte Arbeitsmittel: 5 MD E 512, 5 LKW W 50 LAK + HK 5, Transportentfernung 4 km, Transportgeschwindigkeit 21 km/h T_{05} , Nutzlast 8,4 t/TE, Fassungsvermögen der Bunker 1,3 t, Ertrag 35 dt/ha, Durchsatz der MD 4,7 t/h T_{06} , Übergabezeit je Bunkerfüllung einschl. Heranfahren der TE und Kontrolle 4 min T_{05} , Entladezeit je TE 30 min T_{06}



unschwer eine entsprechende Routinestrategie für das Verhalten der MD- und LKW-Fahrer in Sinne des Optimierungsergebnisses ableiten, vgl. hierzu einerseits Abschn. 5.3 und 5.4, andererseits die von HEIMBÜRGE [11] [12] mit Hilfe von Arbeits- und Zeitstudien beobachteten Unzulänglichkeiten im Zusammenspiel von LKW- und MD-Fahrern!

5. Ergebnisse und ihre Besprechung

Zunächst einige Vorbemerkungen, die Fragen der isomorphen Abbildung der Wirklichkeit bzw. deren mehr oder weniger idealisierte Widerspiegelung betreffen und bei der Diskussion des in Bild 1 dargestellten Zyklusdiagramms zu berücksichtigen sind:

- Wie das Zyklusdiagramm zeigt, basiert die Optimierungsrechnung u. a. auf einem von der Tageszeit unabhängigen Mähdrescherdurchsatz von durchschnittlich $4,7 \text{ t/h } T_{05}$. In Wirklichkeit ist jedoch damit zu rechnen, daß der Durchsatz in den Nachmittagsstunden bis zu 80% über dem am Morgen und am Abend liegt [13]. In Situationen, in denen die auf der Grundlage von Durchschnittswerten errechneten Transporteinheiten bereits relativ gut oder gar restlos ausgenutzt werden, muß dann die praktische Einsatzleitung während der Nachmittagsstunden eine oder mehrere zusätzliche Transporteinheiten einschieben. In der Mehrzahl der Fälle dürften jedoch die auf Seiten der TE ausgewiesenen Verlustzeiten eine hinreichende Anpassungsfähigkeit des Transportraums an tageszeitliche Belastungsspitzen gewährleisten.
- Die gleichmäßigen Intervalle von jeweils 17 min zwischen dem Beginn (oder Ende) zweier beim gleichen Mähdrescher aufeinanderfolgender Abbunkerungen weisen ferner auf die im Rhythmus dieser 17 min fiktiv periodisierten funktionellen und technischen Störzeiten T_{41} und T_{42} der MD hin. Bei gleicher Gesamtleistung wird man aber im praktischen Betrieb mit zeitweiligen, durch T_{41} und/oder T_{42} erzwungenen Unterbrechungen rechnen müssen, die durch einen erhöhten Ausstoß in den operativen Zeiten zu kompensieren sind.

Den beiden (notgedrungen), den Arbeitsablauf etwas idealisierenden Momenten — durchschnittlicher, von der Tageszeit unabhängiger Durchsatz sowie fiktive Periodisierung der funktionellen und technischen Störzeiten — stehen andererseits zwei Dinge gegenüber, bei denen es vom ökonomisch-mathematischen Modell her möglich ist, bewußt einer zu weitgehenden Idealisierung aus dem Wege zu gehen:

- Die Anzahl der Runden ist *kein* ganzzahlig Vielfaches der eingesetzten TE, vgl. Tafel 1, Z. 1 und 16!
- Die Nutzmasse der TE ist *kein* ganzzahlig Vielfaches der Nutzmasse der Bunker ($8,4 \text{ t/TE}$; $1,3 \text{ t/Bunker}$).

Die Konsequenzen dieser beiden Momente stimmen mit den in der Praxis zu beobachtenden Verhältnissen weitgehend überein, nämlich:

- Es ist praktisch nicht zu vermeiden, daß ein Teil der TE, n Runden und der andere Teil $n + 1$ Runden zu fahren hat.
- Im Interesse einer vollen Ausschöpfung der Nutzmasse einerseits und Verzicht auf überladene Fahrzeuge andererseits ist praktisch nicht zu vermeiden, auch Bunkerfüllungen teilweise zu übernehmen. In unserem Beispiel werden zur annähernd vollen Realisation der Nutzmasse ($8,4 \text{ t/TE}$) jeweils $6\frac{1}{2}$ Bunkerfüllungen zugeladen ($6,5 \text{ B.} \times 1,3 \text{ t/B.} = 8,45 \text{ t}$).

Nach diesen Vorbemerkungen nun zu den Ergebnissen selbst. Wir handeln sie ab in der Reihenfolge der oben angeführten Fragen.

5.1. Das Zyklusdiagramm zeigt, daß alle fünf für unsere Beispielsvariante errechneten Transporteinheiten tatsächlich benötigt werden. Dieser Nachweis ist insofern wichtig — auch für das Verständnis der Optimierungsergebnisse aller anderen der 1820 berechneten und in [5] dargelegten

Mähdruschvarianten — als aufgrund der für die Transporteinheiten unseres Beispiels ausgewiesenen $12,7 \text{ h } T_{44}$ (Tafel 1, Z. 12 und 13, Sp. „5 MD“) angenommen werden könnte, daß nur vier Transporteinheiten beansprucht werden ($12,7 \text{ h} = 2,7 \text{ h Rest-}T_{44} + 10 \text{ h}$ der fünften, überflüssigen Transporteinheit). Drei der fünf TE werden — wenn auch in der physischen Einheit wechselnd — für das Abfahren und Entladen des Getreides und die übrigen zwei TE für das Abbunkern der Mähdrescher benötigt.

In der Tat verdeutlicht das Zyklusdiagramm, daß bei dem gewählten Beispiel nahezu die ganze Zeit über zwei TE auf dem Felde beim Mähdrescherkomplex gegenwärtig sein müssen, wenn bei den MD keine Verlustzeit T_{44} auftreten soll. Obwohl das Abbunkern insgesamt nur $12,6 \text{ h}$ benötigt ($181 \text{ Bunker} \times 4,2 \text{ min}$, vgl. auch Tafel 1, Z. 10 und 17, Sp. „5 MD“), werden also volle zwei „Feld“-LKW gebraucht, d. h., es ist kein Einspringen aus dem Verlustzeitfonds der drei „Fahrt“-LKW möglich. Umgekehrt lassen sich aber auch ungenutzte Zeitfondsreste der „Feld“-LKW nicht für die „Fahrt“-LKW nutzbar machen.

5.2. Das Zyklusdiagramm bestätigt die zu insgesamt $12,7 \text{ h}$ errechneten Verlustzeiten T_{44} . Die Differenz zur graphisch ermittelten Summe von $12,3 \text{ h}$ ergibt sich durch zeichentechnisch unumgängliche und einige weitere Rundungsfehler, die zwar auch den Vergleich der weiteren Ergebnisse etwas beeinflussen, aufs Ganze gesehen aber bedeutungslos sind.

Der relative Umfang der für unsere Variante errechneten zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeit beträgt

— bezogen auf die produktive (d. h. T_{44} -freie) Fließarbeitszeit

$$\frac{12,7 \text{ h } T_{44}}{87,3 \text{ h } T_{05}} = 14,6\%$$

— bezogen auf die T_{44} -freie Normzeit

$$\frac{12,7 \text{ h } T_{44}}{99,6 \text{ h } T_{06}} = 12,8\%$$

Selbst bei optimierter Zuordnung von beladenden und transportierenden Einheiten transportverbundener Fließarbeitsverfahren ist also noch mit erheblichen, durch die herkömmlichen Methoden der Zeitvorgabe nicht erfassbaren Verlustzeiten zu rechnen. Sie würden noch weit größere Ausmaße annehmen, wenn zufolge falscher Arbeitsdisposition ($n \pm 1$ anstatt n Transporteinheiten) darüber hinaus arbeitsorganisatorische Verlustzeiten T_{72} entstünden.

5.3. Aus dem Zyklusdiagramm ist zu erkennen, daß die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten T_{44} in verschiedenen Spielarten auftreten, die scheinbar völlig unregelmäßig über die einzelnen Runden hinweg verteilt sind. Eine genauere Untersuchung zeigt indessen, daß die Dauer der einzelnen LKW-Runden (einschließlich T_{44}) ganz regelmäßig zwischen 102 min ($= 6 \times 17$) und 119 min ($= 7 \times 17$) alterniert, wovon stets auf die produktive Fließarbeitszeit entfallen

26 min für Beladen
23 min für Last- und Leerfahrt
30 min für Entladen
79 min.

Die je LKW-Runde auftretenden zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten alternieren mithin — als Summe, wenn auch in wechselnder Zusammensetzung — zwischen 23 min und 40 min . Als T_{44} -Varianten im Zeitstudium durch eindeutige Meßpunkte klar voneinander trennbar sind

— die Verlustzeiten T_{44} , die zwischen Rückkehr der LKW zum Feld und Beginn der ersten Bunkerübernahme liegen (im Zyklusdiagramm rd. $7,5 \text{ h}$), und

— die Verlustzeiten T_{44} , die zwischen den Übernahmen der $6,5 \text{ je}$ Transportzug zuzuladenden Bunkerfüllungen auftreten (im Zyklusdiagramm rd. $4,8 \text{ h}$).

Diese Spielarten sind jedoch nicht identisch mit den Teilzeiten T_{44} (Feld) und T_{44} (Fahrt) im Sinne von Tafel 1, Z. 12 und 13. In Übereinstimmung mit dem Modellansatz [4], [5] sind diese beiden Teilzeitgruppen so zu interpretieren, daß von der ständigen Präsenz zweier LKW-Züge auf dem Felde, genauer gesagt am MD-Komplex, ausgegangen wird, daß also die zwischen Rückkehr der Fahrzeuge und erster Bunkerübernahme auftretende T_{44} zerfällt in eine Untergruppe, die fakultativ am Feldrand oder bei den Mähreschern und eine zweite Untergruppe, die obligatorisch bei den Mähreschern abzuleisten ist. Die zweite Untergruppe umfaßt im Zyklus etwa 3,1 h. Schlägt man sie zu den während der einzelnen Bunkerfüllungen auftretenden 4,8 h hinzu, ergeben sich zyklologisch rd. 7,9 obligatorisch auf dem Felde zu verbringende Verlustzeitstunden. Sie sind — bis auf die erwähnten Rundungsfehler — mit den 7,4 h T_{44} (Feld) in Tafel 1, Z. 12, Sp. „5 MD“ identisch.

Daß bei der untersuchten Variante die Forderung nach ständiger Präsenz zweier LKW-Züge auf dem Felde richtig ist, zeigt sowohl die zeitliche Verteilung der einzelnen Verlustzeitarten als auch das Auftreten einiger Fälle (z. B. LKW IV/Runde 5), wo die vor Übernahme der ersten Bunkerfüllung bei den LKW entstehende „Feld“-Wartezeit Null oder nahezu Null ist.

Die Routinestrategie für das Verhalten der LKW-Fahrer im Sinne der Optimierungsrechnung kann daher nur lauten, daß sich in unmittelbarer Nähe der 5er-MD-Staffel jeweils zwei LKW-Züge aufhalten müssen, wovon der eine, sofern er nicht ebenfalls wie der andere mit Abbunkern beschäftigt ist, Wartestellung zu beziehen hat. Sobald der zuerst abgefertigte LKW-Zug die MD-Staffel verläßt, hat der nächste bislang am Feldrand wartende LKW-Zug nachzurücken.

5.4. Schließlich bestätigt das Zyklusdiagramm die errechneten Runden und Bunkerfüllungen. Es stehen sich gegenüber

	errechnet	Zyklusdiagramm
1. Anzahl Runden	28	27
2. Anzahl der Bunkerfüllungen	181	176.

Bestehende Differenzen gehen wiederum auf Rundungsfehler zurück.

Aufmerksamkeit verdient vor allem die Tatsache, daß die Zahl der insgesamt je Schicht zu fahrenden 27 Runden kein ganzzahliges Vielfaches der LKW-Anzahl ist. Es macht sich deshalb folgende Verteilung erforderlich:

LKW I	6 Runden
LKW II	6 Runden
LKW III	5 Runden
LKW IV	5 Runden
LKW V	5 Runden.

Wenn also der MD-Zeitfonds von $5 \times 10 \text{ h} = 50 \text{ h}$ voll genutzt werden soll, muß LKW I (der morgens am frühesten beginnt) noch die 26. Runde und LKW II (der gegenüber LKW I durchschnittlich 17 min Zeitversatz aufweist) die 27. Runde übernehmen. Die hierbei auftretenden Vergütungsprobleme sind entweder durch einen auf die Runde bezogenen Leistungslohn der LKW-Fahrer oder dadurch zu lösen, daß das Fahrerkollektiv untereinander während der Kampagne einen entsprechenden Ausgleich der von den einzelnen LKW täglich zu fahrenden Runden herbeiführt.

5.5. Das Zyklusdiagramm gibt einen Einblick in Umfang und Verteilung der durch das An- und Auslaufen von Fließarbeitsprozessen verursachten Verlustzeiten T_{43} . Sie sind namentlich bei den Transporteinheiten erheblich. So beträgt in unserer Variante der max. TE-Zeitversatz (Zeitdifferenz zwischen operativem Arbeitsbeginn des MD I und der ersten Bunkerübernahme durch LKW V nicht weniger als 1,7 h. Ein Ausgleich durch Staffelung der individuellen Schichtzeit ist zwar theoretisch möglich, stößt aber

- auf praktische arbeitsorganisatorische Schwierigkeiten und wird
- erschwert durch die differenzierte Anzahl der von den einzelnen LKW zu leistenden Runden.

6. Schlußfolgerungen

Außer den bereits genannten Schlußfolgerungen bezüglich der isomorphen Abbildung von Fließarbeitsprozessen durch das gemischt-ganzzahlige lineare Optimierungsmodell von KASTEN [4] [5], der Formulierung einer Verhaltensroutine der MD- und LKW-Fahrer im Sinne der Verfahrensoptimierung und einigen anderen Schlußfolgerungen ergeben sich technisch-technologische Konsequenzen in Hinsicht auf die Frage, wie groß die Übergabeleistung beim Abbunkern mindestens sein müßte, wenn die Verlustzeitgruppe T_{44} (Feld) = 0 sein soll. Bezeichnet

n die Anzahl gemeinsam eingesetzter MD

t_B die Zeit, die nötig ist, um eine Bunkerfüllung zu erdreschen und

t_0 die Zeit zur Übergabe einer Bunkerfüllung (einschl. Nachziehen der Fahrzeuge und Kontrolle),

so müßte, um T_{44} (Feld) = 0 zu gewährleisten,

$$t_B \geq n \cdot t_0$$

sein. Nimmt man z. B. $t_B = 17 \text{ min}$ und $n = 5$ an, so dürfte t_0 längstens 3,4 min in Anspruch nehmen, bei $n = 10$ sogar nur längstens 1,7 min; umgekehrt dürften für $t_0 = 4 \text{ min}$ und sonst gleiche Bedingungen nur max. 4 MD gemeinsam eingesetzt werden, wenn T_{44} (Feld) = 0 sein soll.

Als weitere, über transportverbundene Fließarbeitsverfahren vom Typ des Mähdrusches hinausgehende Schlußfolgerung ist schließlich die Forderung zu nennen, daß sich die Landmaschinenindustrie soweit als möglich darum bemühen sollte, bei der Entwicklung solcher neuen Maschinensysteme, die nicht nur eine Abstimmung zwischen beladenden und Transporteinheiten, sondern darüber hinaus zwischen be- und entladenden Einheiten notwendig machen, bereits von der konstruktiven Auslegung der Leistungsparameter her eine volle Austaktung der Teilarbeiten Be- und Entladen zu erreichen. Diese Parameter sind durch simulierte, mit Hilfe der Verfahrensoptimierung rechnerisch durchdrungene Prozeßabläufe zu gewinnen, vgl. [5, S. 109]. Als Aufgabe der Komplexoptimierung verbleibt dann im wesentlichen, die Austaktung dieser beiden Teilarbeiten mit der in Abhängigkeit von Entfernung, Geschwindigkeit und Nutzlast auch in Zukunft stets beträchtlich variierenden Teilarbeit fahren zu gewährleisten.

Zusammenfassung

Am Beispiel einer aus 1820 optimierten Mähdruschvarianten [5] willkürlich ausgewählten Variante (Mähdrusch von Wi-Gerste mit 5 MD E 512, Ertrag 35 dt/ha, Kornabfuhr mit LKW W 50 LAK + HK 5 usw.) wird der Arbeitsablauf transportverbundener Fließarbeitsverfahren über eine ganze Schicht hinweg graphisch verfolgt. Neben einem Einblick in die allgemeine Dynamik optimierter Fließarbeitsprozesse dient das hierbei erarbeitete Zyklusdiagramm insbesondere der Veranschaulichung und Überprüfung einiger prinzipieller Aussagen der errechneten Optimierungsergebnisse, dient also vor allem der Verifizierung des von KASTEN [4] [5] entwickelten Modells zur Optimierung transportverbundener Fließarbeitsverfahren. So läßt sich u. a. die Richtigkeit der aus sachlichen und rechentechnischen Gründen notwendigen Trennung des Fahrparkes in „Feld“- und „Fahrt“-LKW bzw. „Feld“- und „Fahrt“-Traktoren bestätigen. Über eine graphische Kontrolle der errechneten Runden, Bunkerfüllungen und des Umfanges der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeit T_{44} hinaus zeigt das Zyklusdiagramm ferner die zeitliche T_{44} -Verteilung, weist die durch das An- und Auslaufen von Fließarbeitsprozessen verursachten Ver-

Optimaler Verkehrswegelängenbedarf als Voraussetzung eines rationellen Einsatzes moderner Landtechnik auf großen Nutzflächen

Dr. habil.
G. LINDEMANN,
KDT, Magdeburg

In den folgenden Ausführungen werden praktische und theoretische Gesichtspunkte zur Verkehrswegelage und -dichte in der sozialistischen Landwirtschaft der DDR dargelegt. Die zu behandelnden Fragen stehen mit der Technisierung und Mechanisierung des landwirtschaftlichen Produktions- und Transportprozesses in enger Wechselbeziehung, da Flächenbewirtschaftung, Verkehrsnetz und Einsatz moderner Landtechnik als organisches Ganzes im Wirkungsmechanismus der Landwirtschaft zu betrachten sind.

Analysen zur Verkehrswegelage und -dichte

Analysen zur Verkehrswegelage und -dichte (Wirtschaftswege und Straßen) vermitteln in sozialistischen Landwirtschaftsbetrieben einen Einblick in die inneren Netzstrukturen. Folgende Elemente lassen sich dabei meßbar über Kennwerte herausstellen:

- Mittlere Verkehrswege- und Luftlinienentfernung in m und ihr prozentuales Verhältnis zueinander
- Anzahl der Wege(Straßen)anschlüsse an den Schlägen
- ein- bis mehrseitige Wege(Straßen)anschlußformen an den Schlägen
- Fahr- und Arbeitsentfernungen Schlagmittelpunkt — Wegeanschluß in m
- Verkehrswege- und Wirtschaftswegelängen sowie ihre Dichte in m/ha LN
- Anteil der Verkehrswegeflächen in ha und Prozent zur LN
- Verkehrsnetzstrukturen und darin enthaltene Entfernungszonen
- Netzgestalten und netzbildende Faktoren

Im Rahmen dieser Abhandlung interessiert besonders die Verkehrswegelage und -dichte, da die Nutzflächengestaltung (Größe, Länge, Form) von dieser wesentlich beeinflusst wird. Zur Zeit liegt auf diesem Gebiet Ausgangsmaterial im Umfang von rd. 200 000 ha LN mit etwa 7 000 km Verkehrsverbindungen (Wirtschaftswege und Straßen mit Nutzflächen-

aufschluß) vor. Die analytischen Untersuchungen zur Verkehrswegelage und -dichte erstrecken sich über das gesamte Territorium der DDR, um die Bedingungen aller Standortverhältnisse zu erfassen. Tafel 1 vermittelt als Beispiel die Kennwerte der Verkehrswegelage und -dichte in den LPG der Kooperationsgemeinschaften eines Landkreises der Nordbezirke [1] [2]. In den einzelnen Kreisen, Kooperationsgemeinschaften und Landwirtschaftsbetrieben ergeben sich infolge örtlicher Besonderheiten und unterschiedlicher natürlicher und ökonomischer Standortbedingungen abweichende Werte. Generell ist aber die Tendenz einer in den Nordbezirken der DDR geringen, dann steigend über den mittleren Raum hin zu den Südbezirken zunehmenden Verkehrswegelage und -dichte unverkennbar. Für den Einsatz moderner Landtechnik bedeutet dies, daß eine geringe Verkehrswegedichte mit größeren Flächeneinheiten verbunden ist und somit optimale Flächenleistungen erzielt werden können. Wie sich die Verkehrswegedichte bei ordnungsgemäßem Planungsprozeß verändert, zeigt Spalte 9 der Tafel 1. Vor der Planung (P_v) ist eine Verkehrswegedichte von 26,41 m/ha LN zu verzeichnen, die nach der Planung (P_n) nur noch bei 12,89 m/ha LN liegt. Der Verkehrsnetzumfang wird demnach über die

Tafel 1. Verkehrswegelängen und -dichten in den LPG der Kooperationsgemeinschaften eines Landkreises der Nordbezirke

Koop. triebe	Be- triebe	Verkehrswegelängen			Verkehrswegedichten			P_n VV- Dichte m/ha
		Stras- ßen km	W- Wege km	Wege ges. km	Stras- ßen m/ha	W- Wege m/ha	Wege ges. m/ha	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	10	20,98	162,78	192,76	4,63	25,14	29,77	14,03
B	4	22,02	79,63	101,65	5,97	21,56	27,53	11,64
C	6	22,78	72,03	94,81	5,77	18,24	24,01	12,55
D	6	32,02	89,07	121,09	5,70	15,88	21,58	13,57
E	3	7,88	48,60	56,48	4,62	28,51	33,13	12,91
F	4	18,16	96,11	114,27	4,45	23,54	27,99	11,75
G	5	25,43	95,53	120,96	5,10	19,10	24,20	13,92
H	5	9,85	81,09	90,94	2,98	24,57	27,55	12,96
E	Kreis	168,12	724,84	892,96	4,97	21,44	26,41	12,89

P_v vor der Planung; P_n nach der Planung

(Fortsetzung von Seite 282)

lustzeiten (T_{45}) nach, verdeutlicht den dem linearen gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodell innewohnenden Isomorphiegrad und erlaubt die Formulierung einer Verhaltensroutine für die Fahrer der Mähdrescher und Transporteinheiten. Schließlich ermöglichen die Untersuchungen einige landtechnische Schlußfolgerungen bezüglich der Ausstattung der Teilarbeiten Be- und Entladen sowie der zwischen

- der Anzahl gemeinsam eingesetzter MD
- der Bunkerfüllzeit und
- der Bunkerentleerzeit

technisch-technologisch anzustrebenden Relationen.

Literatur

[1] FLEISCHER, E.: Ursachen und Wesen zyklischer verfahrensbedingter Verlustzeiten transportverbundener landwirtschaftlicher Fliebarbeitsverfahren sowie Möglichkeiten ihrer Senkung. Kühnarchiv, Bd. 82 (1968) H. 4, S. 413 bis 439

[2] FLEISCHER, E.: Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten transportverbundener Fliebarbeitsverfahren und Möglichkeiten ihrer Senkung. Deutsche Agrartechnik 19 (1969) H. 1, S. 36 bis 40

[3] KASTEN, A., FLEISCHER, E., SCHINKEL, W., u. a.: Zur optimalen Zuordnung von Arbeitskräften und Maschinen transportverbundener Arbeitsverfahren mit Hilfe der gemischt-ganzzahligen Optimierung. Sonderheft des Informationsblattes der VVB Saat- und Pflanzgut; Jan. 1970

[4] KASTEN, A.: Optimierte Komplexgrößen für den Einsatz der Maschinen bei kooperativer Pflanzenproduktion. Deutsche Agrartechnik 19 (1969) H. 11, S. 539 bis 543

[5] KASTEN, A., FLEISCHER, E., WEBER, W. und BRÜCKNER, H.-J.: Teilabschlußbericht zum Thema „Bestimmung optimaler Kombination von Arbeitskräften und Mechanisierungsmitteln für transportverbundene Arbeiten beim kooperativen Maschineneinsatz in der Pflanzenproduktion, Teil Mähdreschfrüchte“. WZ für Landtechnik Schlieben, 1970

[6] HUBNER, B.: Vorschlag einer Planmethode für transportverbundene Arbeiten. Deutsche Agrartechnik 17 (1967) H. 8, S. 378 bis 382

[7] ZIMMERMANN, W.: Technologische Probleme in Wechselfließreihen und Instandsetzung. Deutsche Agrartechnik 19 (1969) H. 9, S. 417 bis 419

[8] SAUER, E.: Untersuchungen zum Prinzip der Erhöhung der Zuverlässigkeit und seiner Strukturierung. Institut für Polytechnische Bildung und Erziehung der Univ. Halle, Staatsexamensarbeit 1968

[9] WOLFGRAMM, H.: Grundpositionen des allgemeintechnischen Unterrichts, in: Zu wissenschaftlichen Grundlagen des polytechnischen Unterrichts. Manuskriptdruck, Institut f. Polytechnische Bildung und Erziehung, Halle 1968

[10] HOWITZ, H.: Aufgaben und Bedeutung der Operationsforschung für Planung und Leitung in Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft. Operationsforschung, Abschn. 1, Berlin 1969

[11] HEIMBURGE, H.: Abschlußbericht zum Teilthema „Körnertransport“. Inst. f. landw. Transporte der LPG-Hochschule Meissen, 1969

[12] HEIMBURGE, H.: Technologische Wechselwirkungen und Transportleistung beim Körnertransport vom Mähdrescherkomplex E 512 zum VEB Kombinat für Getreidewirtschaft. Deutsche Agrartechnik 20 (1970) H. 2, S. 63 bis 69

[13] HERRMANN, K.: Mündliche Mitteilung

A 7908